

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC STANDARD

Publication 60-3

Première édition — First edition

1976

Techniques des essais à haute tension

Troisième partie: Dispositifs de mesure

High-voltage test techniques

Part 3: Measuring devices



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
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

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

NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC STANDARD

Publication 60-3

Première édition — First edition

1976

Techniques des essais à haute tension

Troisième partie: Dispositifs de mesure

High-voltage test techniques

Part 3: 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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
SECTION UN — GÉNÉRALITÉS	
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Principes généraux	6
3.1 Circuit de mesure	6
3.2 Dispositifs convertisseurs de haute tension ou de courant élevé	8
4. Définitions de termes généraux relatifs aux mesures	8
4.1 Coefficient de conversion d'un circuit de mesure	8
4.2 Rapport d'un diviseur de tension	8
4.3 Réponse G	8
4.4 Réponse à l'échelon $G(t)$	10
4.5 Réponse d'amplitude en fréquence $G(f)$	10
4.6 Temps de réponse T	10
5. Prescriptions générales concernant les circuits de mesure	10
5.1 Caractéristiques des appareils	10
5.2 Détermination des caractéristiques	10
5.3 Fiche des caractéristiques	12
5.4 Contrôle périodique	12
SECTION DEUX — CIRCUITS DE MESURE POUR TENSIONS CONTINUES	
6. Grandeurs à mesurer, précisions demandées et prescriptions concernant les circuits de mesure	12
SECTION TROIS — CIRCUITS DE MESURE POUR TENSIONS ALTERNATIVES	
7. Grandeurs à mesurer, précisions demandées et prescriptions concernant les circuits de mesure	14
SECTION QUATRE — CIRCUITS DE MESURE POUR TENSIONS DE CHOC	
8. Grandeurs à mesurer et précisions demandées	14
8.1 Classification des circuits de mesure de choc	16
8.2 Prescriptions concernant les circuits de mesure	16
8.3 Fréquence maximale à enregistrer $f_{\max}$	18
SECTION CINQ — CIRCUITS DE MESURE POUR COURANTS DE CHOC	
9. Grandeurs à mesurer, précisions demandées et prescriptions concernant les circuits de mesure	20

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
SECTION ONE — GENERAL	
Clause	
1. Scope	7
2. Object	7
3. General principles	7
3.1 Measuring system	7
3.2 High-voltage or high-current converting devices	9
4. Definitions of general terms related to measurements	9
4.1 Scale factor of a measuring system	9
4.2 Voltage ratio of a voltage divider	9
4.3 Response G	9
4.4 Step response $G(t)$	11
4.5 Amplitude frequency response $G(f)$	11
4.6 Response time T	11
5. General requirements on measuring systems	11
5.1 Instrument characteristics	11
5.2 Performance tests	11
5.3 Record of performance	13
5.4 Routine check	13
SECTION TWO — MEASURING SYSTEMS FOR DIRECT VOLTAGES	
6. Quantities to be measured, accuracies required and requirements of the measuring system	13
SECTION THREE — MEASURING SYSTEMS FOR ALTERNATING VOLTAGES	
7. Quantities to be measured, accuracies required and requirements of the measuring system	15
SECTION FOUR — MEASURING SYSTEMS FOR IMPULSE VOLTAGES	
8. Quantities to be measured and accuracies required	15
8.1 Classification of impulse measuring systems	17
8.2 Requirements of measuring systems	17
8.3 Maximum frequency to be recorded $f_{\max}$	19
SECTION FIVE — MEASURING SYSTEMS FOR IMPULSE CURRENTS	
9. Quantities to be measured, accuracies required and requirements of the measuring system	21

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION

Troisième partie: 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 publication 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, 1962, qui traite des dispositifs de mesure utilisés pendant les essais à haute tension et en courants de choc, plus précisément de la section huit de la Publication 60 de la CEI, 1962. La Publication 60-4 de la CEI est en préparation; elle constituera un guide d'application des dispositifs de mesure concernant l'utilisation des dispositifs de mesure avec une description des procédures de calibrage nécessaires afin de satisfaire aux prescriptions requises.

A 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 et à Leningrad en 1971. A la suite de cette dernière réunion, un projet, document 42(Bureau Central)24, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en novembre 1974.

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

Afrique du Sud (République d')	Italie
Allemagne	Japon
Australie	Norvège
Autriche	Pays-Bas
Belgique	Pologne
Canada	Portugal
Chine	Roumanie
Danemark	Royaume-Uni
Espagne	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
Finlande	Turquie
France	Union des Républiques
Israël	Socialistes Soviétiques

Autres publications de la CEI citées dans la présente publication:

- Publications n°s 51: Recommandations pour les appareils de mesure électriques indicateurs à action directe et leurs accessoires.
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.
60-4: Techniques des essais à haute tension, Quatrième partie: Guide d'application (en préparation).

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES

Part 3: 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 publication has been prepared by IEC Technical Committee No. 42, High-voltage Testing Techniques.

It constitutes a revision of that part of IEC Publication 60, 1962, which deals with measuring devices used in tests involving high voltages or high-impulse currents, more specifically Section Eight of IEC Publication 60, 1962. IEC Publication 60-4 is in preparation; it will form an Application Guide covering the use of measuring devices together with a description of calibration procedures to satisfy the specified requirements for accuracy.

During a meeting held in Bucharest in 1962, a general discussion was held concerning what modifications and addenda were foreseen for IEC Publication 60, then under printing. Subsequent draft were circulated and discussed in Aix-les-Bains in 1964, in Tokyo in 1965, in London in 1968 and in Leningrad in 1971. As a result of this latter meeting, a draft, Document 42(Central Office)24, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in November 1974.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Norway
Austria	Poland
Belgium	Portugal
Canada	Romania
China	South Africa (Republic of)
Denmark	Spain
Finland	Sweden
France	Switzerland
Germany	Turkey
Israel	Union of Soviet
Italy	Socialist Republics
Japan	United Kingdom
Netherlands	United States of America

Other IEC publications quoted in this publication:

- Publications Nos. 51: Recommendations for Direct Acting Indicating Electrical Measuring Instruments and their Accessories.
52: Recommendations for Voltage Measurement by Means of Sphere-gaps (One Sphere Earthed).
60-2: High-voltage Test Techniques, Part 2: Test Procedures.
60-4: High-voltage Test Techniques, Part 4: Application Guide (in preparation).

TECHNIQUES DES ESSAIS À HAUTE TENSION

Troisième partie: Dispositifs de mesure

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application

La présente norme est applicable aux dispositifs et aux circuits complets autres que les éclateurs à sphères, utilisés pour la mesure des tensions et courants pendant les essais diélectriques en tension continue, tension alternative, tensions de choc de foudre et de manœuvre et pendant les essais en courants de choc élevés. Les mesures des tensions avec les éclateurs à sphères sont traitées dans la Publication 52 de la CEI: Recommandations pour la mesure des tensions au moyen d'éclateurs à sphères (une sphère à la terre).

2. Objet

L'objet de la présente norme est de:

- définir les termes utilisés;
- présenter les conditions que de tels circuits de mesure doivent remplir;
- décrire quelques dispositifs utilisés.

Un circuit de mesure, qui a été soumis aux essais de fonctionnement et contrôles de maintenance spécifiés ci-dessous et qui a donc été reconnu conforme aux prescriptions spécifiées pour une mesure particulière de courant de choc ou de tension, peut être désigné comme « circuit de mesure approuvé ».

Des directives spécifiques concernant les circuits de mesure définis ci-dessus et les procédés propres à vérifier leurs résultats et leur précision seront données dans la future Publication 60-4 de la CEI: Techniques des essais à haute tension, Quatrième partie: Guide d'application (en préparation).

3. Principes généraux

Il n'est généralement pas possible de mesurer directement les hautes tensions ou les courants de choc élevés, et le procédé usuel consiste à transformer la grandeur à mesurer en une basse tension ou un courant faible qui peut être traité par des appareils de mesure ou des oscillographes classiques.

La plupart des mesures envisagées dans la présente norme ne peuvent être faites avec un haut degré de précision, et des erreurs de l'ordre de 3% et plus sont tolérées comme il est indiqué dans les sections appropriées. Quelques directives pour évaluer l'erreur lors d'une mesure seront données dans le guide d'application.

3.1 Circuit de mesure

Un circuit destiné à mesurer une haute tension ou un courant de choc élevé comprend généralement:

- un dispositif convertisseur, par exemple un diviseur de tension, une impédance de mesure haute tension ou un shunt;
- les conducteurs nécessaires pour connecter ce dispositif à l'objet en essai ou au circuit de courant de choc;
- un câble de mesure avec des réseaux ou des impédances d'affaiblissement, de terminaison et d'adaptation;
- l'appareil ou les appareils indicateurs ou enregistreurs.

Des circuits de mesure comprenant seulement certains des constituants ci-dessus ou étant basés sur des principes différents sont aussi acceptables à condition qu'ils respectent les critères exposés ci-après.

HIGH VOLTAGE TEST TECHNIQUES

Part 3: Measuring devices

SECTION ONE — GENERAL

1. Scope

This standard is applicable to devices and to complete systems other than sphere-gaps, used for the measurement of voltages and currents during dielectric tests with direct voltage, alternating voltage, lightning and switching impulse voltages and for tests with high-impulse currents. Voltage measurements with sphere-gaps are dealt with in IEC Publication 52, Recommendations for Voltage Measurement by Means of Sphere-gaps (One Sphere Earthed).

2. Object

The object of this standard is:

- to define the terms used;
- to state the requirements which the measuring systems shall meet;
- to describe some of the devices which are used.

A measuring system, which has been subjected to the performance tests and routine checks specified herein and has thus been shown to meet the requirements specified for a particular voltage or impulse current measurement, may be designated "an approved measuring system".

Specific guidance on measuring systems suitable for the above-mentioned measurements, and on methods for verifying their performance and accuracy will be given in the future IEC Publication 60-4, High-voltage Test Techniques, Part 4: Application Guide (in preparation).

3. General principles

It is generally not practicable to measure high voltages or high-impulse currents directly, and the usual procedure is to convert the quantity to be measured to a low voltage or current which can be handled with conventional measuring instruments or oscilloscopes.

Most of the measurements considered in this standard cannot be made with a high degree of accuracy, and errors of the order of 3% and more shall be tolerated as indicated in the appropriate sections. Some guidance for evaluating measuring errors will be given in the application guide.

3.1 Measuring system

A high voltage or high-impulse current measuring system generally comprises:

- a converting device, for example a voltage divider, a high-voltage measuring impedance or a shunt;
- the leads required for connecting this device to the test object or into the impulse current circuit;
- a measuring cable, together with any attenuating, terminating and adapting impedances or networks;
- the indicating or recording instrumentation.

Measuring systems which comprise only some of the above components or which are based on different principles are also acceptable provided they meet the requirements stated below.

3.2 Dispositifs convertisseurs de haute tension ou de courant élevé

L'un des dispositifs convertisseurs suivants est généralement utilisé selon le type de tension ou de courant à mesurer.

a) Diviseur de tension

Un diviseur de tension est un élément prévu pour fournir une fraction de la tension d'essai permettant la mesure. Il se compose habituellement de deux impédances branchées en série aux bornes desquelles la tension est appliquée. L'une d'elles, le bras haute tension, supporte la plus grande fraction de la tension. La tension aux bornes de l'autre, le bras basse tension, est utilisée pour la mesure. Les constituants des deux bras sont habituellement des résistances ou des condensateurs ou leurs combinaisons et l'appareil est défini par le type et l'arrangement des constituants.

b) Transformateur de tension

Un transformateur de tension est un transformateur abaissant la tension pour permettre la mesure des amplitudes et des formes des tensions alternatives élevées.

c) Impédance de mesure haute tension

Une impédance de mesure haute tension est un élément prévu pour être traversé par un courant proportionnel à la tension d'essai. Elle est branchée en série avec un appareil mesurant le courant. Elle est constituée de résistances ou de condensateurs ou de leurs combinaisons mais ne devra pas être assimilée à un diviseur de tension bien que les constituants soient semblables.

d) Transformateur de courant

Un transformateur de courant est un élément prévu pour produire un courant proportionnel au courant d'essai. Il comprend habituellement deux enroulements ou plus couplés magnétiquement. Il est utilisé pour mesurer les amplitudes et les formes de courants alternatifs élevés.

Un transformateur de courant à large bande passante peut être utilisé pour la mesure des courants de choc.

Un comparateur de courant est un transformateur de courant spécial dans lequel le zéro du flux magnétique est détecté au moyen d'un troisième enroulement relié à un détecteur de zéro. Le comparateur de courant peut être prévu pour la mesure des courants alternatifs ou continus et possède l'avantage d'avoir une haute précision et une bonne stabilité.

e) Shunt

Un shunt est une résistance prévue pour fournir une tension proportionnelle, à chaque instant, au courant à mesurer. Il comprend habituellement deux paires de bornes, une paire servant à conduire le courant à mesurer, tandis que l'autre sert à déterminer la tension développée aux bornes du shunt.

4. Définitions de termes généraux relatifs aux mesures

4.1 Coefficient de conversion d'un circuit de mesure

Le coefficient de conversion d'un circuit de mesure est le facteur par lequel l'indication de sortie doit être multipliée pour obtenir la grandeur ou la fonction d'entrée. C'est en principe une constante mais sa validité peut être restreinte à un certain intervalle de temps ou une certaine gamme de fréquences et cette restriction sera spécifiée.

4.2 Rapport d'un diviseur de tension

Le rapport d'un diviseur de tension est le facteur par lequel la tension de sortie doit être multipliée pour obtenir la valeur mesurée de la tension d'entrée. Il dépend de la charge raccordée à la sortie du diviseur, charge dont l'impédance doit être précisée. En principe, le rapport est une constante mais sa validité peut être restreinte à un certain intervalle de temps ou une certaine gamme de fréquences et cette restriction sera spécifiée.

4.3 Réponse G

La réponse G d'un circuit de mesure est la grandeur de sortie, en fonction du temps ou de la fréquence, lorsqu'une tension ou un courant est appliqué à l'entrée du circuit.

3.2 High-voltage or high-current converting devices

One of the following converting devices is generally used, depending on the type of voltage or current to be measured.

a) Voltage divider

A voltage divider is a device which is intended to produce a suitable fraction of the test voltage for measurement. It usually has two impedances connected in series across which the voltage is applied. One of them, the high-voltage arm, takes the major fraction of the voltage. The voltage across the other, the low-voltage arm, is used for the measurement. The components of the two arms are usually resistors or capacitors or combinations of these and the device is described by the type and arrangement of the components.

b) Voltage transformer

A voltage transformer is a step-down transformer designed for the measurement of the amplitudes and shapes of high alternating voltages.

c) High-voltage measuring impedance

A high-voltage measuring impedance is a device which is intended to pass a current which is proportional to the test voltage. It is connected in series with a current measuring instrument. It is made of resistors or capacitors, or combinations of these, but it should not be referred to as a voltage divider although the elements are similar.

d) Current transformer

A current transformer is a device which is intended to produce a current proportional to the test current. It usually consists of two or more magnetically coupled windings. It is used for the measurement of the amplitudes and shapes of high alternating currents.

A wide-band current transformer can be used for the measurement of impulse currents.

A current comparator is a specialized current transformer in which a zero magnetic flux condition is detected by means of a third winding in conjunction with a null detector. The current comparator can be designed for the measurement of alternating or direct currents and has the advantage of high ratio accuracy and stability.

e) Shunt

A shunt is a resistor which is intended to provide a voltage proportional at any instant to the current to be measured. It is usually provided with two pairs of terminals, one pair being used to carry the current to be measured while the other is used for determining the voltage developed across the shunt.

4. Definitions of general terms related to measurements

4.1 Scale factor of a measuring system

The scale factor of a measuring system is the factor by which the output indication is multiplied to determine the measured value of the input quantity or function. It is in principle a constant, but its validity may be restricted to a specific duration or frequency range and this restriction shall be stated.

4.2 Voltage ratio of a voltage divider

The voltage ratio of a voltage divider is the factor by which the output voltage is multiplied to determine the measured value of the input voltage. It is dependent on the load of the output terminal of the divider and the impedance of this shall be stated. In principle, the ratio is a constant but its validity may be restricted to a specific duration or frequency range and this restriction shall be stated.

4.3 Response G

The response G of a measuring system is the output, as a function of time or frequency, when an input voltage or current is applied to the system.

4.4 Réponse à l'échelon $G(t)$

La réponse à l'échelon $G(t)$ d'un circuit de mesure est la réponse en fonction du temps t lorsque l'entrée est un échelon de tension ou de courant. Une forme commode est la « réponse à l'échelon unité $g(t)$ », dans laquelle la valeur constante de la grandeur de sortie est prise comme unité lorsque, multipliée par le coefficient de conversion correspondant, elle est égale à l'échelon d'entrée.

4.5 Réponse d'amplitude en fréquence $G(f)$

La réponse d'amplitude en fréquence $G(f)$ d'un circuit de mesure est le rapport, en fonction de la fréquence f entre la sortie et l'entrée du système, lorsqu'une variable sinusoïdale est appliquée à l'entrée. Une forme commode est la « réponse en fréquence normalisée $g(f)$ », dans laquelle la valeur constante de l'amplitude de sortie est prise comme unité lorsque, multipliée par le coefficient de conversion correspondant, elle est égale à l'amplitude d'entrée.

4.6 Temps de réponse T

Le temps de réponse T d'un circuit de mesure est indicatif des erreurs rencontrées quand on mesure des tensions ou des courants changeant rapidement:

$$T \approx \frac{a_i - a_m}{da_m/dt}$$

où:

a_i = valeur de la fonction d'entrée à un temps donné

a_m = valeur mesurée de cette grandeur, à condition que les dérivées de la fonction d'entrée et de la valeur mesurée soient constantes et égales

Note. — Pour plus de détails concernant le temps de réponse et les paramètres qui y sont liés, voir la Publication 60-4 de la CEI (en préparation).

5. Prescriptions générales concernant les circuits de mesure

La précision de mesure et les autres caractéristiques d'un système de mesure doivent être conformes aux prescriptions données dans les sections deux, trois, quatre ou cinq selon le type de tension ou de courant à mesurer.

5.1 Caractéristiques des appareils

Lorsque des appareils de type courant sont utilisés, ils devraient être conformes à la Publication 51 de la CEI: Recommandations pour les appareils de mesure électriques indicateurs à action directe et leurs accessoires, si elle est applicable, et être de la classe 0,5 ou mieux. Les autres appareils tels qu'oscillographes ou voltmètres de crête doivent être conformes aux conditions générales concernant les circuits de mesure données dans la présente norme.

Note. — Des directives générales pour les oscillographes et voltmètres de crête destinés aux mesures à haute tension seront données dans le guide d'application. Des directives plus spécifiques sont à l'étude.

5.2 Détermination des caractéristiques

La conformité aux règles de la présente norme doit être vérifiée par des mesures de caractéristiques telles que celles qui sont décrites dans les sections appropriées du guide d'application. Les résultats de ces mesures et la précision avec laquelle elles ont été établies seront consignés dans la « fiche des caractéristiques » (voir le paragraphe 5.3). Cette fiche devra être conservée par l'utilisateur.

Habituellement, il suffit de faire cette détermination une seule fois, mais si le circuit est modifié de façon notable (ou si ses caractéristiques sont douteuses), elle devra être répétée en partie ou en totalité. Pour certaines caractéristiques, il suffit que la détermination soit faite sur un dispositif prototype unique.

Les mesures devront déterminer en particulier:

- a) le coefficient de conversion et son domaine de validité;
- b) les caractéristiques de réponse (correspondant au type de tension ou de courant à mesurer);
- c) l'influence des objets voisins mis soit à la terre, soit à la haute tension, soit parcourus par un courant élevé, sur le coefficient de conversion et sur la réponse. La distance de garde minimale acceptable vis-à-vis de tels objets sera ainsi déterminée;

4.4 Step response $G(t)$

The step response $G(t)$ of a measuring system is the response as a function of time t when the input is a voltage or current step. A convenient form is the “unit step response $g(t)$ ”, in which the constant value of the output magnitude is denoted as unity when that magnitude, multiplied by the corresponding scale factor, equals the input step.

4.5 Amplitude frequency response $G(f)$

The amplitude frequency response $G(f)$ of a measuring system is the ratio as a function of the frequency f of the output to the input of the system when the input is a sinusoid. A convenient form is the “normalized frequency response $g(f)$ ”, in which the constant value of the output amplitude is denoted as unity when that amplitude, multiplied by the corresponding scale factor, equals the input.

4.6 Response time T

The response time T of a measuring system is indicative of the errors encountered when measuring rapidly changing voltages or currents:

$$T \simeq \frac{a_i - a_m}{da_m/dt}$$

where:

a_i = value of the input function at some specific time

a_m = measured value of that quantity, with the proviso that the rates of change of both the input function and the measured value of that function are constant and equal

Note. — For particulars concerning the response time and related response parameters, see IEC Publication 60-4 (in preparation).

5. General requirements on measuring systems

The measuring accuracy and other characteristics of a measuring system shall comply with the requirements given in Sections Two, Three, Four or Five according to the type of voltage or current to be measured.

5.1 Instrument characteristics

When instruments of standard types are employed, they should, where applicable, comply with IEC Publication 51, Recommendations for Direct Acting Indicating Electrical Measuring Instruments and their Accessories, and should be of class 0.5 or better. Other instruments such as oscilloscopes and peak voltmeters should comply with the general requirements on measuring systems given in this standard.

Note. — General guidance on oscilloscopes and peak voltmeters to be used for high-voltage measurements will be given in the application guide. More specific guidance is under consideration.

5.2 Performance tests

Compliance with the requirements in this standard shall be verified by performance tests such as those which will be described in the appropriate sections of the application guide. The results and the inherent accuracy of these tests shall be stated in a “record of performance” (see Sub-clause 5.3). This record should be retained by the user.

The performance tests usually need to be made once only, but if the system is modified in any significant respect (or if its performance is in doubt), they should be repeated in part or in full. For some of the tests, it is sufficient for the test to be made on a single prototype device.

The tests should determine in particular:

- a) the scale factor and its range of validity;
- b) the response characteristics (relevant to the types of voltage or current to be measured);
- c) the influence of neighbouring objects, either earthed, at high voltage or carrying a high current on the scale factor and the response. The minimum acceptable clearances to such objects shall thus be determined;

- d) l'influence de l'amplitude et de la durée de la tension ou du courant appliqué, des conditions atmosphériques et de la pollution superficielle, s'il y en a, sur les caractéristiques mesurées;
- e) l'aptitude du circuit de mesure à fonctionner à sa tension ou à son courant maximal nominal.

Les caractéristiques *a)*, *b)* et *c)* peuvent être déterminées par des essais à basse tension, à condition que des effets non linéaires, dus par exemple à l'effet de couronne, ne soient pas impliqués lorsque la pleine tension ou le courant est appliqué.

En principe, les caractéristiques spécifiées au paragraphe 5.2 devront être déterminées pour le circuit de mesure complet. Cependant, elles peuvent être déduites d'essais séparés faits sur les composants individuels. Lorsqu'il en est ainsi, les procédés par lesquels elles sont déterminées et les résultats de chaque mesure individuelle doivent être consignés dans la fiche des caractéristiques.

En variante, les caractéristiques d'un système de mesure pour un circuit d'essai donné peuvent être vérifiées par comparaison directe avec un système de mesure approuvé.

Note. — Il faut remarquer que le fait de réaliser des mesures à basse tension ou sur des constituants individuels peut exclure certaines interactions qui pourraient exister dans le circuit d'essai réel. De tels effets peuvent avoir pour origine la source haute tension ou d'autres éléments du circuit agissant autrement que par leurs bornes (couplages mutuels, capacités parasites, etc.). De plus, la comparaison avec un dispositif de mesure approuvé ne peut que montrer que le système est acceptable pour le circuit particulier et la forme de choc.

5.3 Fiche des caractéristiques

En plus des résultats des contrôles spécifiés au paragraphe 5.2, la fiche des caractéristiques doit comprendre une description générale du circuit, de ses constituants, de ses dimensions essentielles et des autres paramètres utiles. Plus précisément, des informations sur les points suivants devront être données, s'il y a lieu :

- a) détails sur le type de retour à la terre et sur ses connexions utilisées durant les essais de contrôle des caractéristiques;
- b) les longueur, diamètre et position de la connexion haute tension;
- c) les type, longueur et position du câble de mesure ainsi que les impédances dans lesquelles il est raccordé;
- d) les caractéristiques des instruments utilisés durant les essais de contrôle des caractéristiques;
- e) la réponse à des oscillations transitoires haute fréquence en fonction de la fréquence et (pour circuits de mesure de tension de choc) la plus haute fréquence $f_{\max}$ pour laquelle le circuit est approprié.

De plus, la fiche des caractéristiques devra établir les variations admissibles des éléments énumérés ci-dessus pour l'application à une mesure spécifique.

5.4 Contrôle périodique

Il est recommandé d'effectuer des contrôles périodiquement ou à la demande en cas d'essais particuliers, de façon à s'assurer :

- a) que le coefficient de conversion du circuit de mesure n'a pas changé par rapport à la valeur déterminée en accord avec le paragraphe 5.2;
- b) que le niveau de perturbations est suffisamment bas.

SECTION DEUX — CIRCUITS DE MESURE POUR TENSIONS CONTINUES

6. Grandeurs à mesurer, précisions demandées et prescriptions concernant les circuits de mesure

Les prescriptions générales pour la mesure des tensions continues sont :

- mesurer la moyenne arithmétique de la tension avec une erreur ne dépassant pas 3%;
- mesurer l'amplitude des ondulations avec une erreur ne dépassant pas la plus grande des deux valeurs suivantes : 10% de l'amplitude réelle des ondulations ou 1% de la moyenne arithmétique de la tension continue.

Note. — Dans certains cas, il peut être nécessaire de déceler et mesurer les composantes transitoires. Il n'est pas donné ici de prescriptions pour ce cas, mais on pourra trouver des directives dans la section du guide d'application traitant des mesures de tensions de choc.

- d) the influence of the applied voltage or current amplitude and duration, and of atmospheric conditions and surface pollution, if any, on the measured characteristics;
- e) the ability of the measuring system to operate at its rated maximum voltage or current.

Characteristics *a)*, *b)* and *c)* may be determined by tests at low voltage provided that non-linear effects, due for example to corona, are not involved when the full voltage or current is applied.

In principle, the characteristics specified in Sub-clause 5.2 should be determined for the complete measuring system. They may however be deduced from separate tests made on its individual components; when this is done, the methods by which they are determined and the results of each of the individual measurements shall be stated in the record of performance.

Alternatively, the performance of a measuring system for a particular test arrangement may be checked by direct comparison against an approved measuring system.

Note. — Attention should be drawn to the fact that measurements performed at low voltage or on individual components may not include various interaction effects which may exist in the real test circuit. Such effects may originate from the high-voltage source or from different components in the circuit other than by their terminals (mutual coupling, stray capacitances, etc.). In addition, comparison with an approved measuring device only demonstrates that the system is acceptable for the particular test arrangement and impulse shape being used.

5.3 Record of performance

In addition to the results of the tests specified in Sub-clause 5.2, the record of performance shall include a general description of the system, its components, its principal dimensions and other relevant parameters. More specifically, information on the following items should be given, when applicable:

- a) details of the type of ground return system and of the connections to it used during the performance tests;
- b) the length, diameter and position of the high-voltage lead;
- c) the type, length and position of the measuring cable and also its terminating impedances;
- d) the characteristics of the instruments used while carrying out the performance tests;
- e) the response to high-frequency transient oscillations as a function of frequency and (for impulse measuring systems) the highest frequency $f_{\max}$ for which the system is suitable.

Furthermore, the record of performance should state the allowable variations of the above listed elements for the application to a specific measurement.

5.4 Routine check

It is recommended that tests should be made periodically, or on request in connection with a particular test, to ensure:

- a) that the scale factor of the measuring system has not changed from the value determined in accordance with Sub-clause 5.2;
- b) that the disturbance level is sufficiently low.

SECTION TWO — MEASURING SYSTEMS FOR DIRECT VOLTAGES

6. Quantities to be measured, accuracies required and requirements of the measuring system

The general requirements for direct voltage measurement are:

- to measure the arithmetic mean value of the voltage with an error of not more than 3%;
- to measure the ripple amplitude with an error not more than 10% of the actual ripple amplitude or not more than 1% of the arithmetic mean value of the direct voltage, whichever is the larger.

Note. — In certain cases, it may be necessary to detect and measure transient components. No requirements for this are given here, but some guidance may be obtained from the section of the application guide dealing with impulse voltage measurements.

Ces prescriptions seront satisfaites si le circuit de mesure est conforme aux prescriptions générales de l'article 5 et si les contrôles de caractéristiques spécifiés montrent que:

- a) le rapport du diviseur de tension ou la valeur de l'impédance de mesure haute tension est stable et connu avec une erreur de pas plus que 1% (mais voir la note ci-dessous).
- b) le courant provenant de la source haute tension n'est pas inférieur à 0,5 mA,
- c) la réponse en fréquence du circuit utilisé pour mesurer la tension d'ondulation est appropriée et connue dans les limites de 10% pour la gamme de fréquences comprise entre la fréquence fondamentale de l'ondulation et cinq fois cette fréquence.

Note. — Dans le cas de circuits à haute impédance comprenant soit un diviseur de tension, soit une impédance de mesure haute tension, il peut être impossible de se conformer au point a). Dans ce cas, une erreur allant jusqu'à 3% est autorisée si un appareil normalisé, conformément au paragraphe 5.1, est utilisé pour la mesure de la moyenne arithmétique, mais il peut en résulter une erreur d'ensemble dépassant légèrement 3%, ce qui est encore acceptable. Mention en sera faite dans le compte rendu d'essai.

SECTION TROIS — CIRCUITS DE MESURE POUR TENSIONS ALTERNATIVES

7. Grandeurs à mesurer, précisions demandées et prescriptions concernant les circuits de mesure

Les prescriptions générales pour la mesure des tensions alternatives sont:

- mesurer la valeur efficace ou de crête de la tension avec une erreur ne dépassant pas 3%;
- mesurer l'amplitude des harmoniques avec une erreur ne dépassant pas la plus grande des deux valeurs suivantes: 10% de l'amplitude des harmoniques ou 1% de la fondamentale.

Note. — Dans certains cas, il peut être nécessaire de mesurer les tensions transitoires superposées à une tension alternative. On ne donne pas ici de prescriptions pour ces cas, mais on pourra trouver des directives dans la section du guide d'application traitant des mesures de tensions de choc.

Ces prescriptions seront satisfaites si le circuit de mesure est conforme aux prescriptions générales de l'article 5 et si les contrôles de caractéristiques spécifiés montrent que:

- a) le rapport du diviseur de tension ou du transformateur de tension ou de la valeur de l'impédance de mesure haute tension est stable et connu avec une erreur inférieure à 1% (mais voir la note 2 ci-dessous);
- b) la réponse en fréquence du circuit utilisé pour mesurer les harmoniques est appropriée et connue dans les limites de 5% pour la gamme de fréquences allant de la fondamentale au n-ième harmonique. Pour la plupart des circuits, n peut être pris égal à 7. Toutefois, pour des circuits basés sur la mesure du courant de charge d'un condensateur, on peut envisager des valeurs plus élevées (par exemple $n \simeq 20$).

Notes 1. — Quand un analyseur d'harmoniques est utilisé pour mesurer l'erreur de l'appareil, ses erreurs de mesure ne devraient pas dépasser 5% pour les harmoniques jusqu'au septième et ne devraient pas dépasser 10% pour les harmoniques jusqu'au vingt-septième.

2. — Dans le cas des circuits à haute impédance comprenant un diviseur de tension ou une impédance de mesure haute tension, il peut être impossible de se conformer au point a). Dans ce cas, une erreur allant jusqu'à 3% est autorisée si un appareil normalisé, conformément au paragraphe 5.1, est utilisé pour la mesure de la valeur efficace ou de crête de la tension, mais il peut en résulter une erreur d'ensemble dépassant légèrement 3%, ce qui est encore acceptable. Mention en sera faite dans le compte rendu d'essai.

SECTION QUATRE — CIRCUITS DE MESURE POUR TENSIONS DE CHOC

8. Grandeurs à mesurer et précisions demandées

Des difficultés d'ordre pratique interdisent d'obtenir le même degré de précision de mesure pour tous les types de tensions de choc. Par conséquent, les prescriptions concernant la précision d'un circuit de mesure sont spécifiées en fonction du type de choc à mesurer.

Les prescriptions générales pour la mesure des tensions de choc sont:

- mesurer la valeur de crête des chocs pleins et des chocs coupés au voisinage de la crête ou sur la queue avec une erreur ne dépassant pas 3%;

These requirements will be met if the system meets the general requirements of Clause 5 and the performance tests specified show that:

- a) the voltage ratio of the voltage divider or the value of the high-voltage measuring impedance is stable and known with an error of not more than 1% (but see note below).
- b) the current drawn from the high-voltage source at full voltage is not less than 0.5 mA.
- c) the frequency response of the system used for measuring ripple voltage is adequate and known to within 10% for frequencies from the fundamental of the ripple frequency up to five times this frequency.

Note. — In the case of high-impedance systems involving either a voltage divider or high-voltage measuring impedance, it may not be possible to comply with Item a). In this case, an error of up to 3% is permitted if a standard instrument, according to Sub-clause 5.1, is used for the measurement of the arithmetic mean value, but this may result in the overall error slightly exceeding 3%, which is still acceptable. This should be noted in the test report.

SECTION THREE — MEASURING SYSTEMS FOR ALTERNATING VOLTAGES

7. Quantities to be measured, accuracies required and requirements of the measuring system

The general requirements for alternating voltage measurement are:

- to measure the peak or r.m.s. value of the voltage with an error of not more than 3%;
- to measure the amplitude of harmonics with an error not more than 10% of the harmonic amplitude or not more than 1% of the fundamental, whichever is the larger.

Note. — In certain cases, it may be necessary to measure voltage transients superimposed on an alternating voltage. No requirements for this are given here, but some guidance may be obtained from the section of the application guide dealing with impulse voltage measurements.

These requirements will be met if the system meets the general requirements of Clause 5 and the performance tests specified show that:

- a) the voltage ratio of the voltage divider or voltage transformer, or the value of the high-voltage measuring impedance is stable and known with an error of less than 1% (but see Note 2 below);
- b) the frequency response of the system used for measuring harmonics is adequate and known to within 5% for frequencies from the fundamental to the n -th harmonic. For most systems, n may be taken as 7. However, for systems depending on measurement of the charging current of a capacitor, higher values (for example $n \simeq 20$) may have to be considered.

Notes 1. — When a wave analyser is used for the measurement of individual harmonics, its measuring error should not be more than 5% for harmonics up to the seventh and not more than 10% for those up to the twenty-seventh.

- 2. — In the case of high-impedance systems involving a voltage divider or a high-voltage measuring impedance, it may not be possible to comply with Item a). In this case, an error of up to 3% is permitted if a standard instrument, according to Sub-clause 5.1, is used for the measurement of the r.m.s. or peak value of the voltage, but this may result in the overall error slightly exceeding 3%, which is still acceptable. This should be noted in the test report.

SECTION FOUR — MEASURING SYSTEMS FOR IMPULSE VOLTAGES

8. Quantities to be measured and accuracies required

Practical difficulties prevent the attainment of the same degree of accuracy of measurement for all types of impulse voltages. Consequently, the accuracy requirements for a measuring system are specified in terms of the type of impulse to be measured.

The general requirements for impulse voltage measurement are:

- to measure the peak value of full impulses and impulses chopped in the vicinity of the peak or on the tail with an error not exceeding 3%;

- mesurer la valeur de crête des chocs coupés sur le front avec une erreur Δ qui dépend du temps de coupure T_c de la façon suivante:

$$\text{si } T_c > 2 \mu\text{s}, \Delta \leq 3\%$$

$$\text{si } 0,5 \mu\text{s} \leq T_c \leq 2 \mu\text{s}, \Delta \leq 5\%$$

Pour les temps de coupure inférieurs à $0,5 \mu\text{s}$, des erreurs supérieures à 5% seront autorisées, mais il ne peut être donné de directive générale.

- mesurer les paramètres de temps qui définissent la forme de choc avec une erreur ne dépassant pas 10%, à l'exception de ceux qui définissent la durée virtuelle de la chute de tension pendant une coupure. Aucune spécification de précision n'est donnée pour ces derniers paramètres de temps, en raison de l'extrême difficulté de mesure de ce phénomène;
- mesurer les oscillations d'un choc avec une précision suffisante pour garantir qu'elles ne dépassent pas les niveaux autorisés donnés dans la Publication 60-2 de la CEI: Techniques des essais à haute tension, Deuxième partie: Modalités d'essais.

8.1 Classification des circuits de mesure de choc

Les circuits de mesure pour les tensions de choc sont classés selon le nombre de constituants de la partie haute tension du circuit de mesure. Des circuits à un, deux et trois constituants sont utilisés, mais le circuit à deux constituants est le plus courant. Les constituants correspondants sont:

- a) le diviseur de tension;
- b) le conducteur haute tension;
- c) la résistance d'amortissement à l'extrémité d'entrée du conducteur haute tension. (Si la résistance d'amortissement est utilisée à l'extrémité côté diviseur du conducteur haute tension, elle est traitée comme faisant partie du diviseur et le circuit est alors un circuit à deux constituants.)

La fiche des caractéristiques devra préciser spécifiquement le type de circuit, la longueur du conducteur haute tension et la valeur de la résistance d'amortissement (s'il y en a une) utilisés pour la détermination des caractéristiques de réponse.

Les constituants additionnels suivants complètent normalement le circuit de mesure.

- un câble coaxial pour transmettre la basse tension du circuit de mesure à un appareil de mesure (ce câble constitue habituellement une partie du bras basse tension du diviseur);
- un oscillographe ou un voltmètre de crête ou les deux (mais voir la note ci-dessous);
- un circuit de mise à la terre.

Note. — Lorsque l'essai est exécuté avec des ondes pleines de foudre ou de manœuvre de forme normalisée, si l'expérience acquise sur l'équipement d'essai particulier et l'objet en essai indique que la forme d'onde est satisfaisante, un appareil indiquant la valeur de crête, prévu spécialement pour les mesures de choc, peut être utilisé à la place de l'oscillographe pour mesurer la valeur de crête. De tels appareils devront être fréquemment réétalonnés. En variante, de tels chocs peuvent être mesurés avec un éclateur à sphères (voir la Publication 52 de la CEI).

8.2 Prescriptions concernant les circuits de mesure

Les prescriptions particulières spécifiées à l'article 8 seront satisfaites si le circuit de mesure est conforme aux prescriptions générales de l'article 5 et si les contrôles de caractéristiques montrent qu'il satisfait aux prescriptions des paragraphes 8.2.1 et 8.2.2.

8.2.1 Précision du coefficient de conversion

- a) Le rapport du diviseur de tension devra être stable et connu avec une erreur ne dépassant pas 1%,

Note. — En général, quand des diviseurs du type capacitif sont reliés à un oscillographe ou à un voltmètre de crête, le rapport de tension ne sera pas constant pendant toute la durée du choc si cette durée est très longue. Il suffit que le rapport soit constant à mieux que 1% pendant le temps nécessaire pour que le choc mesuré atteigne sa valeur de crête, à condition qu'il soit également constant à mieux que 5% jusqu'au temps de la mi-valeur du choc le plus long à mesurer.

- to measure the peak value of impulses chopped on the front with an error Δ which is dependent on the time to chopping T_c as follows:

$$\text{if } T_c > 2 \mu\text{s}, \Delta \leq 3\%$$

$$\text{if } 0.5 \mu\text{s} \leq T_c \leq 2 \mu\text{s}, \Delta \leq 5\%$$

For times to chopping shorter than $0.5 \mu\text{s}$, errors larger than 5% shall be permitted, but no general guidance can be given.

- to measure the time parameters which define the impulse shape with an error not exceeding 10%, with the exception of those which define the virtual time of voltage collapse during chopping in a chopped impulse. For these latter time parameters, no specifications for accuracy are given because of the extreme difficulty of making accurate measurements of this phenomenon;
- to measure oscillations on an impulse with sufficient accuracy to ensure that they do not exceed the permitted levels given in IEC Publication 60-2, High-voltage Test Techniques, Part 2: Test Procedures.

8.1 Classification of impulse measuring systems

Measuring systems for impulse voltages are classified according to the number of components in the high-voltage part of the system. One-, two- and three-component systems are in use but the two-component system is the most common. The relevant components are:

- a) the voltage divider;
- b) the high-voltage lead;
- c) any damping resistor at the *input end* of the high-voltage lead. (If the damping resistor is used at the divider end of the high-voltage lead, it is treated as part of the divider and the system is then a two-component system.)

The record of performance should state specifically the type of system, the length of the high-voltage lead and the value of the damping resistor (if any) used in determining the response characteristics.

The following additional components normally complete the measuring system:

- a coaxial cable for transmitting the low-voltage output to a measuring instrument (this cable usually forms a part of the low-voltage arm of the divider);
- an oscilloscope or a peak voltmeter or both (but see note below);
- a ground return system.

Note. — When testing with full standard lightning or switching impulses, if previous experience with the particular test equipment and test object has indicated that the shape of the impulse is satisfactory, a peak reading instrument designed specifically for impulse measurements may be used instead of the oscilloscope to measure the peak value. Such instruments should be recalibrated frequently. Alternatively, such impulses may be measured with a sphere-gap (see IEC Publication 52).

8.2 Requirements of measuring systems

The requirements of Clause 8 will be met if the system meets the general requirements of Clause 5 and the performance tests specified show that the requirements of Sub-clauses 8.2.1 and 8.2.2 are satisfied.

8.2.1 The accuracy of the scale factor

- a) The voltage ratio of the voltage divider should be stable and known with an error not exceeding 1%,

Note. — In general, when dividers of the capacitive type are connected to an oscilloscope or peak voltmeter, the voltage ratio will not be constant for the whole duration of the impulse if that duration is very long. It is sufficient for the ratio to be constant to within 1% for the time required for the impulse being measured to reach its peak value, provided that it is also constant to within 5% up to the time to half the value of the longest impulse to be measured.