

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA C.E.I.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

I.E.C. RECOMMENDATION

Publication 60

Deuxième édition — Second edition

1962

Essais à haute tension

High-voltage test techniques



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60060:1962

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA C.E.I.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

I.E.C. RECOMMENDATION

Publication 60

Deuxième édition — Second edition

1962

Essais à haute tension

High-voltage test techniques



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
SECTION UN — GÉNÉRALITÉS	
1.1 Domaine d'application et objet	6
SECTION DEUX — DÉFINITIONS GÉNÉRALES	
2.1 Décharge disruptive et tension de tenue	6
2.2 Isolation externe	8
2.3 Isolation interne	8
SECTION TROIS — PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES RELATIVES AUX MODALITÉS D'ESSAI ET AUX OBJETS ESSAYÉS	
3.1 Disposition générale de l'objet en essai	8
3.2 Essais à sec	10
3.3 Essais sous pluie	10
3.4 Conditions atmosphériques normales — Corrections	12
SECTION QUATRE — TENSION CONTINUE	
4.1 Définitions	16
4.2 Tension d'essai	16
4.3 Modalités d'essai	18
SECTION CINQ — TENSION ALTERNATIVE	
5.1 Définitions	20
5.2 Tension d'essai	20
5.3 Modalités d'essai	24
SECTION SIX — TENSION DE CHOC	
6.1 Définitions	26
6.2 Tension d'essai	30
6.3 Modalités d'essai	32
SECTION SEPT — COURANT DE CHOC	
7.1 Définitions	34
7.2 Courant d'essai	38
7.3 Mesure de la tension durant les essais en courant de choc	38
SECTION HUIT — DISPOSITIFS DE MESURES APPROUVÉS	
8.1 Dispositifs de mesures utilisés dans les essais à haute tension ou dans les essais à forte intensité de courant	40
8.2 Consignation des caractéristiques	42
8.3 Validité d'un dispositif pour un essai particulier (contrôle individuel)	44
8.4 Dispositifs de mesures pour tensions continues	44
8.5 Dispositifs de mesures pour tensions alternatives	46
8.6 Dispositifs de mesures pour tensions de choc	50
8.7 Dispositifs de mesures pour courants de choc	52
ANNEXE	
A 8.1 Définitions générales	56
A 8.2 Caractéristiques de construction et de réponse des diviseurs à résistances	60
A 8.3 Caractéristiques de construction et de réponse des shunts tubulaires	62
A 8.4 Echauffement des résistances de mesure	62
NOTE TECHNIQUE 1 Détermination expérimentale de la réponse	64
NOTE TECHNIQUE 2 Corrélation entre la réponse à l'échelon unité et les erreurs de mesure	66
NOTE TECHNIQUE 3 Temps de réponse calculé à partir de la courbe de réponse en fonction de la fréquence	68
NOTE TECHNIQUE 4 Mesures de tension utilisant des réactions nucléaires	68
Figures 1 à 14	72-90

CONTENTS

Page

FOREWORD	5
PREFACE	5

Clause SECTION ONE—GENERAL

1.1 Scope and object	7
----------------------------	---

SECTION TWO—GENERAL DEFINITIONS

2.1 Disruptive discharge and withstand voltage	7
2.2 External insulation	9
2.3 Internal insulation	9

SECTION THREE—GENERAL REQUIREMENTS CONCERNING TEST PROCEDURE AND TEST OBJECTS

3.1 General arrangement of the test object	9
3.2 Dry tests	11
3.3 Wet tests	11
3.4 Standard atmospheric conditions—Corrections	13

SECTION FOUR—DIRECT VOLTAGE

4.1 Definitions	17
4.2 Test voltage	17
4.3 Test procedure	19

SECTION FIVE—ALTERNATING VOLTAGE

5.1 Definitions	21
5.2 Test voltage	21
5.3 Test procedure	25

SECTION SIX—IMPULSE VOLTAGE

6.1 Definitions	27
6.2 Test voltage	31
6.3 Test procedure	33

SECTION SEVEN—IMPULSE CURRENT

7.1 Definitions	35
7.2 Test current	39
7.3 Measurement of voltage during tests with impulse currents	39

SECTION EIGHT—APPROVED MEASURING DEVICES

8.1 Measuring devices used in tests involving high voltages or high impulse currents	41
8.2 Record of performance	43
8.3 Applicability of a measuring device to a particular test (routine check)	45
8.4 Measuring devices for direct voltages	45
8.5 Measuring devices for alternating voltages	47
8.6 Measuring devices for impulse voltages	51
8.7 Measuring devices for impulse currents	53

APPENDIX

A 8.1 General definitions	57
A 8.2 Design features and response characteristics of resistor dividers	61
A 8.3 The construction and response characteristics of tubular shunts	63
A 8.4 Temperature rise of measuring resistors	63
TECHNICAL NOTE 1 Experimental determination of the response	65
TECHNICAL NOTE 2 Correlation between the unit step response and measuring errors	67
TECHNICAL NOTE 3 Response time calculated from frequency response curve	69
TECHNICAL NOTE 4 Voltage measurements making use of nuclear reactions	69
Figures 1—14	73–91

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS À HAUTE TENSION

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C.E.I. en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager cette unification internationale, la C.E.I. exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C.E.I. dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 42, Technique des essais à haute tension.

La question des essais à haute tension a fait l'objet de discussions au sein de la C.E.I. depuis très longtemps; elle fut abordée pour la première fois en 1922 en relation avec les essais des isolateurs. En 1934, un Sous-Comité fut constitué en vue de traiter les essais en onde de choc; ses travaux aboutirent à la parution en 1938 de la première édition de la Publication 60 de la C.E.I., Spécifications générales pour les essais de choc.

En 1952, les travaux relatifs à la révision de la première édition furent entrepris par un Sous-Comité du Comité d'Etudes N° 36, Isolateurs. Des projets à ce sujet furent établis et discutés lors de réunions tenues à Londres et à Philadelphie en 1954, à Paris et de nouveau à Londres, en 1955.

Au cours de cette même année 1955, les travaux relatifs aux essais à haute tension furent repris par le Comité d'Etudes N° 42, nouvellement constitué: Technique des essais à haute tension. Des projets successifs furent discutés lors de réunions tenues à Munich en 1956, à Stockholm en 1958 et à Oslo en 1959. La réunion d'Oslo eut pour résultat l'établissement d'un projet définitif qui fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en octobre 1960.

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

Allemagne	Pays-Bas
Belgique	Portugal
Danemark	Roumanie
Etats-Unis d'Amérique	Royaume-Uni
Finlande	Suisse
France	Tchécoslovaquie
Hongrie	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Inde	Union Sud-Africaine
Italie	Yougoslavie
Norvège	

Le Comité National Suédois a émis un vote négatif de principe concernant le paragraphe 5.2.1 dont il considère que les exigences ne sont pas suffisamment sévères.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I.E.C. on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote this international unification, the I.E.C. expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I.E.C. recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This recommendation has been prepared by Technical Committee No. 42, High-voltage testing techniques.

The question of high-voltage testing techniques has been discussed within the I.E.C. for a considerable time, since 1922, in connection with insulator testing. In 1934 a Sub-Committee was set up to deal with impulse-voltage testing, the work of which resulted in the issue in 1938 of the first edition of I.E.C. Publication 60, General specifications for impulse-voltage tests.

In 1952 the work of revising the first edition of Publication 60 was undertaken by a Sub-Committee of Technical Committee No. 36, Insulators. Drafts were circulated and discussed in London, 1954, in Philadelphia the same year, in Paris in 1955 and later the same year in London.

Also in 1955, the work of high-voltage testing was taken over by the newly formed Technical Committee No. 42, High-voltage testing techniques. Successive drafts were circulated and discussed in Munich in 1956, in Stockholm in 1958 and in Oslo in 1959. As a result of the Oslo meeting, a draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in October 1960.

The following National Committees voted explicitly in favour of publication:

Belgium	Norway
Czechoslovakia	Portugal
Denmark	Romania
Finland	Switzerland
France	Union of South Africa
Germany	Union of Soviet Socialist Republics
Hungary	United Kingdom
India	United States of America
Italy	Yugoslavia
Netherlands	

The Swedish National Committee cast a negative vote for formal reasons, concerning exclusively Sub-clause 5.2.1., the requirements of which were not considered to be stringent enough.

ESSAIS À HAUTE TENSION

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

1.1 Domaine d'application et objet

Les présentes recommandations sont applicables aux :

- essais diélectriques en tension continue,
- essais diélectriques en tension alternative,
- essais diélectriques en tension de choc,
- essais en courant de choc.

Elles ont pour objet de :

- définir les termes employés,
- décrire les méthodes de production et de mesure des tensions d'essai et des courants d'essai,
- décrire les modalités d'essai,
- recommander des méthodes pour l'étalonnage et le contrôle des dispositifs de mesures.

SECTION DEUX — DÉFINITIONS GÉNÉRALES

2.1 Décharge disruptive et tension de tenue

2.1.1 Décharge disruptive

Le terme *décharge disruptive* est utilisé en général, dans ces recommandations, pour désigner l'ensemble des phénomènes liés à la rupture d'une isolation sous l'effet du champ électrique, comportant une forte chute de la tension et le passage d'un courant; ce terme s'applique à la rupture des diélectriques solides, liquides et gazeux, et de leurs combinaisons.

Le terme *contournement* est utilisé lorsque la décharge disruptive se produit le long de la surface d'un diélectrique solide placé dans un diélectrique gazeux ou liquide.

Le terme *perforation* est utilisé lorsque la décharge disruptive se produit dans un solide.

Dans un diélectrique solide, la décharge disruptive produit une perte permanente de rigidité diélectrique; dans un diélectrique liquide ou gazeux, la perte de rigidité peut être seulement temporaire.

Note. — Le terme «contournement» ne correspond pas exactement aux termes anglais «flashover» ou «sparkover».

2.1.2 Tension de tenue

Une tension de tenue est une tension spécifiée qui doit être appliquée à un objet en essai dans des conditions spécifiées au cours d'un essai de tenue. Au cours de cet essai, aucune décharge disruptive ne doit, en général, se produire (voir toutefois le paragraphe 6.3.1.1).

HIGH-VOLTAGE TEST TECHNIQUES

SECTION ONE — GENERAL

1.1 Scope and object

These recommendations are applicable to:

- dielectric tests with direct voltages,
- dielectric tests with alternating voltages,
- dielectric tests with impulse voltages,
- tests with impulse currents.

The object of these recommendations is to:

- define the terms used,
- describe the methods for the generation and measurement of test voltages and test currents,
- describe the test procedure,
- recommend methods for the calibration and checking of measuring devices.

SECTION TWO — GENERAL DEFINITIONS

2.1 Disruptive discharge and withstand voltage

2.1.1 *Disruptive discharge*

The term *disruptive discharge* is used generally in these recommendations to cover the phenomena associated with the failure of insulation under electric stress which include a collapse of voltage and the passage of current; the term applies to electrical breakdown in solid, liquid and gaseous dielectrics and combinations of these.

The term *flashover*, or alternatively *sparkover*, is used when the disruptive discharge takes place between electrodes in a gas or liquid, or when it takes place over a solid surface.

The term *puncture* is used when the disruptive discharge takes place in a solid.

A disruptive discharge in a solid dielectric produces permanent loss of dielectric strength; in a liquid or gaseous dielectric, the loss may be only temporary.

Note. — The terms “flashover” and “sparkover” are not exactly equivalent to the French term “contournement”.

2.1.2 *Withstand voltage*

A withstand voltage is a specified voltage which is to be applied to a test object in a withstand test under specified conditions. During the test, in general no disruptive discharge should occur, but see Sub-clause 6.3.1.1.

2.1.3 Tension de décharge disruptive (*tension disruptive*)

La tension de décharge disruptive ou tension disruptive est la valeur de la tension d'essai pour laquelle se produit la décharge disruptive (voir paragraphes 4.3.2, 5.3.2, 6.3.1.2 et 6.3.1.3).

La tension disruptive est sujette à des variations aléatoires qui peuvent être exprimées de différentes façons, par exemple par les valeurs moyenne, maximale et minimale d'une série d'observations, ou par la valeur moyenne et l'écart quadratique moyen par rapport à la valeur moyenne, ou encore par une relation entre la tension et la probabilité de décharge disruptive. La façon d'exprimer cette dispersion aléatoire doit en général être indiquée par chaque Comité d'Etudes intéressé.

2.1.4 Tension disruptive à 50 pour cent

La tension disruptive à 50 pour cent est la tension pour laquelle la probabilité de production de décharge disruptive est de 50 pour cent. Cette notion intervient surtout dans les essais de choc et n'a de sens que dans le cas où la perte de rigidité diélectrique résultant d'une décharge disruptive n'est que temporaire.

2.1.5 Tension disruptive à 100 pour cent

Une tension disruptive à 100 pour cent est une tension spécifiée qui doit être appliquée à un objet en essai dans des conditions spécifiées au cours d'un essai de décharge disruptive à 100 pour cent. Cette notion intervient surtout dans les essais de choc et n'a de sens que dans le cas où la perte de rigidité diélectrique résultant d'une décharge disruptive n'est que temporaire. Au cours de cet essai, la décharge disruptive doit en général se produire à chacune des applications de la tension (voir toutefois le paragraphe 6.3.1.3).

2.2 Isolation externe

L'isolation externe d'un appareil comprend les surfaces isolantes externes et l'air environnant. La rigidité diélectrique de l'isolation externe dépend des conditions atmosphériques.

2.3 Isolation interne

L'isolation interne d'un appareil est la partie de son isolation qui n'est pas exposée directement aux conditions atmosphériques.

SECTION TROIS — PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES RELATIVES AUX MODALITÉS D'ESSAI ET AUX OBJETS ESSAYÉS

3.1 Disposition générale de l'objet en essai

La distance aux objets voisins et la disposition générale de l'objet essayé, par exemple sa hauteur au-dessus du niveau du sol, l'agencement des connexions à haute tension, etc., peuvent avoir une importance en raison de leur influence sur les caractéristiques de contournement de l'objet en essai. Des prescriptions particulières doivent être spécifiées par le Comité d'Etudes intéressé.

2.1.3 *Disruptive discharge voltage*

The disruptive discharge voltage is the value of the test voltage for which disruptive discharge takes place, see Sub-clauses 4.3.2, 5.3.2, 6.3.1.2 and 6.3.1.3.

The disruptive discharge voltage is subject to statistical variation which can be expressed in different ways as, for example, by the mean, the maximum, and the minimum values of series of observations, or by the mean and standard deviation from the mean, or by a relation between voltage and probability of a disruptive discharge. The method of dealing with the statistical variability should in general be laid down by the relevant Technical Committee.

2.1.4 *50 per cent disruptive discharge voltage*

The 50 per cent disruptive discharge voltage is the voltage which has a 50 per cent probability of producing a disruptive discharge. The term applies mostly to impulse tests and has significance only in cases when the loss of electric strength resulting from a disruptive discharge is temporary.

2.1.5 *100 per cent disruptive discharge voltage*

The 100 per cent disruptive discharge voltage is a specified voltage which is to be applied to a test object in a 100 per cent disruptive discharge test under specified conditions. The term applies mostly to impulse tests and has significance only in cases when the loss of electric strength resulting from a disruptive discharge is temporary. During the test in general all voltage applications should cause disruptive discharge, but see Sub-clause 6.3.1.3.

2.2 **External insulation**

The external insulation of apparatus comprises the external insulating surfaces and the surrounding air. The dielectric strength of external insulation is dependent on atmospheric conditions.

2.3 **Internal insulation**

The internal insulation of apparatus is that part which is not directly exposed to atmospheric conditions.

SECTION THREE — GENERAL REQUIREMENTS CONCERNING TEST PROCEDURE AND TEST OBJECTS

3.1 **General arrangement of the test object**

Clearance to extraneous structures and the general disposition of the test object, for example its height above ground level, arrangements of high-voltage leads, etc., may be of importance in their effect on the flashover characteristics of the test object. Special requirements should be specified by the relevant Technical Committee.

Lorsque ces objets voisins sont distants d'au moins 1,5 s (s étant la distance de contournement entre les électrodes de l'objet en essai), leur influence sur la tension disruptive de l'objet essayé sera en général faible. La distance peut être réduite dans le cas d'objets en essai à répartition de tension suffisamment indépendante de l'influence des objets voisins. Toutefois, pour éviter des décharges disruptives par rapport à ces objets voisins, il peut être nécessaire de porter cette distance à une valeur supérieure à celle indiquée ci-dessus.

3.2 Essais à sec

L'objet essayé doit, avant l'essai, subir les opérations de conditionnement spécifiées dans les recommandations appropriées (traitement sous vide, traitement thermique, etc.). Il doit être essayé à la température prescrite. Sauf indication contraire, l'essai doit être exécuté à la température ambiante et l'objet essayé doit être sec et propre.

3.3 Essais sous pluie

Il est en général reconnu que les essais sous pluie n'ont pas pour but de reproduire les conditions réelles d'emploi, mais de procurer un critère de fonctionnement satisfaisant en service, basé sur une longue expérience. Ils doivent donner des résultats reproductibles, dans un même laboratoire et dans des laboratoires différents. La dispersion de la tension disruptive est plus grande dans les essais sous pluie que dans les essais à sec, de sorte qu'un plus grand nombre d'observations est nécessaire pour obtenir des valeurs significatives.

3.3.1 Modalités d'essai

L'objet en essai doit être exposé à une aspersion d'eau de résistivité prescrite, produite par un ou plusieurs gicleurs placés de façon à répondre à la prescription de l'article 3.1, Disposition générale de l'objet en essai. Le jet, formé de fines gouttelettes, doit tomber sur l'objet essayé avec une inclinaison d'environ 45° , telle qu'on peut la déterminer par observation visuelle ou par la mesure des composantes verticale et horizontale du débit d'aspersion.

La composante verticale de l'aspersion doit être mesurée avec un récipient collecteur présentant une ouverture horizontale d'une surface de 100 à 750 cm²; lorsque la composante verticale et la composante horizontale sont exigées simultanément, la composante horizontale doit être mesurée avec un récipient présentant une ouverture verticale analogue, orientée vers les gicleurs. Le récipient collecteur doit être placé à côté de l'objet essayé en face des gicleurs et aussi près de l'objet qu'il est possible sans recueillir les éclaboussures qui en rejaillissent.

Lorsque la hauteur de l'objet en essai dépasse 50 cm, le débit d'aspersion doit être mesuré près des extrémités et du milieu, et les valeurs obtenues pour l'une quelconque des positions ne doivent pas différer de plus de 25 pour cent de la valeur moyenne relative aux trois positions; pour des objets d'une hauteur égale ou inférieure à 50 cm, la mesure doit être faite près du milieu seulement.

L'objet en essai doit être aspergé pendant au moins une minute avant l'application de la tension. (D'autre part, des résultats plus concordants peuvent être obtenus si l'objet essayé est entièrement mouillé avant l'application de la tension, avec une eau ayant la résistivité et la température prescrites). Les caractéristiques de l'aspersion sont données dans le tableau suivant; deux catégories y sont données, l'une correspondant à la pratique en usage dans la majorité des laboratoires européens, l'autre à la pratique en usage aux Etats-Unis. La possibilité de spécifier des prescriptions universellement acceptables est à l'étude.

If the clearance to extraneous structures is at least $1.5 s$ (s being the flashover distance between the electrodes of the test object) the effect of such structures on the disruptive discharge voltage of the test object will usually be small. For test objects of which the voltage distribution is sufficiently independent of the effect of neighbouring objects, the clearance may be reduced. In order to prevent flashover to these structures, however, it may be necessary to make this clearance greater than the minimum value given above.

3.2 Dry tests

The test object shall, before the test, undergo the conditioning process specified in the appropriate recommendations (treatment in vacuum, thermal treatment, etc.) and shall be tested at the prescribed temperature. If not otherwise stated, the test shall be made at ambient temperature and the test object shall be dry and clean.

3.3 Wet tests

It is generally recognized that wet tests are not intended to reproduce actual operating conditions but to provide a criterion based on accumulated experience that satisfactory service operation will be obtained.

The test should give reproducible results in the same and in different laboratories. The dispersion of the disruptive discharge voltage in wet tests is greater than in dry so that more observations are required to obtain reliable values.

3.3.1 Test procedure

The test object shall be subjected to a spray of water of prescribed resistivity provided by a nozzle or nozzles so located as to comply with Clause 3.1, General arrangement of the test object. The spray consisting of small drops shall fall on the test object at an angle approximately 45° to the vertical as determined by visual observation or by measurements of the vertical and horizontal components of the precipitation rate.

The vertical component of the spray shall be measured with a collecting vessel having a horizontal opening of area 100 to 750 cm²; when both vertical and horizontal components are required, the horizontal component shall be measured with a collecting vessel having a similar vertical opening directed towards the nozzles. The collecting vessel should be located on the side of the test object facing the nozzles and as close to the test object as is possible without collecting splashes from it.

For test objects of height greater than 50 cm, measurements of the rate of precipitation shall be made near the ends and the middle and values obtained for any one position shall not differ by more than 25 per cent from the average for the three positions; for tests objects of 50 cm height or less, the measurement shall be made near the middle only.

The test object should be sprayed for at least one minute before the application of voltage. (Alternatively, more consistent results may be obtained if the test object is thoroughly wetted with water of the prescribed resistivity and temperature before the application of voltage). The characteristics of the spray are given in the following table; two sets are given, one in general accordance with European practice in a majority of laboratories, the other with practice in the U.S.A. The possibility of prescribing a wet test procedure which will be generally acceptable, is under consideration.

	Caractéristique	Pratique	
		Europe	Etats-Unis
1.	Débit d'aspersion (mm/min) composante verticale	$3 \pm 10\%$	$5 \pm 10\%$
2.	Direction du jet	voir ci-dessus	voir ci-dessus
3.	Résistivité de l'eau (Ω cm)	$10\,000 \pm 10\%$	$17\,800 \pm 15\%$
4.	Température de l'eau ($^{\circ}\text{C}$)	Température ambiante ± 15	Température ambiante ± 15
5.	Type de gicleur	voir figure 1.a—b (page 72)	voir figure 2 (page 74)
6.	Pression d'eau	voir figure 1.a—b (page 72)	voir figure 2 (page 74)
7.	Durée de l'essai de tenue sous pluie	1 min	10 s

Note. — Ces deux catégories de prescriptions sur les caractéristiques d'aspersion peuvent conduire à des valeurs différentes pour la tension disruptive sous pluie; généralement les prescriptions de la pratique européenne ont tendance à donner des tensions disruptives plus faibles.

3.4 Conditions atmosphériques normales — Corrections

3.4.1 Conditions atmosphériques normales

Les conditions atmosphériques normales sont les suivantes:

	Pratique en Europe	Pratique aux Etats-Unis et au Canada
Température ambiante, t_o	20°C	25°C
Pression atmosphérique, b_o	1 013 millibars	1 013 millibars
Humidité, h_o	11 g/m ³	15 g/m ³ (cette valeur équivaut à une pression partielle de 0,6085 in de mercure à 25°C)

Note. — Une pression de 1 013 millibars est équivalente à la pression de 760 mm de mercure à 0°C . Lorsque la hauteur de la colonne barométrique est H mm de mercure et la température t $^{\circ}\text{C}$, la pression atmosphérique en millibars est:

$$\frac{1\,013}{760} H (1 - 1,8 \cdot 10^{-4} t)$$

3.4.2 Facteurs de correction

La tension disruptive d'une isolation externe dépend des conditions atmosphériques.

Si la tension disruptive est $U_{(t, b, h)}$ dans les conditions réelles de l'essai (température t , pression b et humidité h), la tension disruptive $U_{(t_o, b_o, h_o)}$ pour les conditions normales est donnée par la relation:

$$U_{(t_o, b_o, h_o)} = U_{(t, b, h)} \cdot \frac{1}{d} \cdot k$$

	Characteristic	Practice	
		Europe	U.S.A.
1.	Precipitation rate (mm/min) Vertical component	$3 \pm 10\%$	$5 \pm 10\%$
2.	Direction of spray	See above	See above
3.	Resistivity of water (Ω cm)	$10\,000 \pm 10\%$	$17\,800 \pm 15\%$
4.	Temperature of water ($^{\circ}\text{C}$)	Ambient temperature ± 15	Ambient temperature ± 15
5.	Type of nozzle	See Figure 1.a—b (page 73)	See Figure 2 (page 75)
6.	Water pressure	See Figure 1.a—b (page 73)	See Figure 2 (page 75)
7.	Duration of wet withstand test	1 min	10 s

Note. — The alternative requirements for the characteristics of the spray can lead to different values for the wet disruptive discharge voltage; generally the European requirements tend to lower voltages.

3.4 Standard atmospheric conditions—Corrections

3.4.1 Standard atmospheric conditions

The following standard atmospheric conditions are applicable:

	Practice in Europe	Practice in U.S.A. and Canada
Ambient temperature, t_o	20°C	25°C
Atmospheric pressure, b_o	1 013 millibars	1 013 millibars
Humidity, h_o	11 g/m^3	15 g/m^3 (This is equivalent to a partial pressure of 0.6085 inch of mercury at 25°C)

Note. — A pressure of 1 013 millibars corresponds to a height of 760 mm in a mercury barometer at 0°C . If the height of the barometer is H mm of mercury and the temperature is $t^{\circ}\text{C}$, the atmospheric pressure in millibars is:

$$\frac{1\,013\,H}{760} (1 - 1.8 \cdot 10^{-4} t)$$

3.4.2 Correction factors

The disruptive discharge voltage of external insulation depends on atmospheric conditions.

If the disruptive discharge voltage is $U_{(t, b, h)}$ under actual test conditions (temperature t , pressure b and humidity h) the disruptive discharge voltage under standard conditions $U_{(t_o, b_o, h_o)}$ is given by the relation:

$$U_{(t_o, b_o, h_o)} = U_{(t, b, h)} \cdot \frac{1}{d} \cdot k$$

Le facteur $\frac{1}{d}$ est relatif à la densité de l'air; il est donné au paragraphe 3.4.3. Le facteur k est relatif à l'humidité; son usage et ses possibilités d'application sont données au paragraphe 3.4.4.

Sauf spécification contraire, la tension à appliquer au cours d'un essai de tenue concernant une isolation externe doit être déterminée en multipliant la tension de tenue spécifiée par $\frac{d}{k}$.

Il appartient au Comité d'Etudes intéressé de décider si des corrections sont à appliquer aux tensions ou non, dans un essai de tenue, lorsque celui-ci concerne à la fois l'isolation externe et l'isolation interne.

3.4.3 Facteur de correction de densité d'air

Pour une pression atmosphérique b exprimée en millibars et une température t exprimée en degrés Celsius, on obtient:

par rapport à:

$$t_0 = 20^\circ\text{C} \quad d = 0,289 \frac{b}{273 + t}$$

$$t_0 = 25^\circ\text{C} \quad d = 0,294 \frac{b}{273 + t}$$

Si la pression atmosphérique est donnée en millimètres de mercure à 0°C , les formules deviennent:

par rapport à:

$$t_0 = 20^\circ\text{C} \quad d = 0,386 \frac{H}{273 + t}$$

$$t_0 = 25^\circ\text{C} \quad d = 0,393 \frac{H}{273 + t}$$

3.4.4 Facteur de correction d'humidité

Les renseignements concernant la correction d'humidité sont incomplets et parfois contradictoires. Les figures 3 et 4 (pages 76 et 78) résument les pratiques actuelles relatives aux corrections d'humidité respectivement par rapport à la valeur normale en usage en Europe et par rapport à celle en usage aux Etats-Unis et au Canada.

Note. — On considère que ces corrections donnent des résultats sensiblement exacts pour les éclateurs à tiges. Pour les isolateurs, leur exactitude est moindre, particulièrement dans le cas où le trajet de contournement épouse la surface de l'isolateur. Une diminution de tension disruptive a parfois été observée à humidité croissante. Pour les traversées également, les courbes de correction sont incertaines.

Lorsque le facteur de correction est jugé trop incertain, aucune correction d'humidité ne doit être faite.

La question de l'obtention de facteurs de correction d'humidité plus sûrs est à l'étude.

The factor $\frac{1}{d}$ is an air density factor which is given in Sub-clause 3.4.3. The factor k is a humidity factor, the use and applicability of which are given in Sub-clause 3.4.4.

If not otherwise specified, the voltage to be applied during a withstand test on external insulation is determined by multiplying the specified withstand voltage by $\frac{d}{k}$.

It is left to the relevant Technical Committee to decide whether or not corrections have to be applied to the voltage values in a withstand test in those cases where both external and internal insulation are involved.

3.4.3 Air density correction factor

With the atmospheric pressure b expressed in millibars and the temperature t expressed in degrees Celsius, the following apply:

Correction to

$$t_0 = 20^\circ\text{C} \quad d = 0.289 \frac{b}{273 + t}$$

$$t_0 = 25^\circ\text{C} \quad d = 0.294 \frac{b}{273 + t}$$

If the atmospheric pressure is given in millimetres of mercury at 0°C the formulae are to be replaced by:

Correction to

$$t_0 = 20^\circ\text{C} \quad d = 0.386 \frac{H}{273 + t}$$

$$t_0 = 25^\circ\text{C} \quad d = 0.393 \frac{H}{273 + t}$$

3.4.4 Humidity correction factor

The information regarding the humidity correction is incomplete and sometimes conflicting. Figures 3 and 4 (pages 77 and 79) give the present practices regarding corrections to the European standard value and to the standard value for U.S.A. and Canada respectively.

Note. — It is believed that the corrections above give reasonably correct results for rod-gaps. For insulators the curves are less accurate, especially in cases where the flashover path follows the surface of the insulator. Sometimes decrease of voltage with increasing humidity has been observed. Also for bushings the correction curves are rather unreliable.

In case the correction factor is considered to be too uncertain no humidity correction should be made.

The question of obtaining more reliable humidity correction factors is under consideration.

SECTION QUATRE — TENSION CONTINUE

Les caractéristiques qui définissent une tension continue utilisée dans un essai à haute tension sont :

- a) la polarité,
- b) la valeur moyenne arithmétique,
- c) la valeur de crête,
- d) l'ondulation.

4.1 Définitions

4.1.1 Ondulation

L'ondulation est l'écart périodique par rapport à la valeur moyenne arithmétique. La grandeur de l'ondulation est définie comme la moitié de la différence entre les valeurs maximale et minimale. Le *facteur d'ondulation* est le rapport de la grandeur de l'ondulation à la valeur moyenne arithmétique de la tension.

4.1.2 Valeur de la tension d'essai

La valeur de la tension d'essai est définie par sa valeur moyenne arithmétique.

Note. — La valeur de crête de la tension d'essai peut être prise approximativement égale à la somme de la valeur moyenne arithmétique et de la grandeur de l'ondulation.

4.1.3 Valeur du courant traversant l'objet en essai

La valeur du courant traversant l'objet en essai est définie par sa valeur moyenne arithmétique.

4.2 Tension d'essai

4.2.1 Prescriptions relatives à la tension d'essai

La tension d'essai doit être une tension continue ayant un facteur d'ondulation inférieur à 5 pour cent, sauf stipulation contraire du Comité d'Etudes intéressé.

4.2.2 Production de la tension d'essai

La tension d'essai est généralement produite au moyen de redresseurs ou par des générateurs électrostatiques. L'expérience pratique dont on dispose est insuffisante pour permettre de spécifier avec précision les prescriptions relatives à la source de tension; quelques directives sont données ci-après :

- a) Le débit de la source à haute tension doit être suffisant pour assurer, à la tension spécifiée, l'alimentation du courant de fuite moyen de l'objet essayé et de l'équipement de mesure associé.
- b) Etant donné que les courants de décharge de durée courte par rapport à la durée de recharge de la source à haute tension sont presque entièrement fournis par la capacité du condensateur d'appoint et de l'objet essayé, la capacité totale doit être suffisante pour que la chute de tension engendrée par de telles décharges n'entraîne pas des résultats d'essais douteux. La recharge de cette capacité dépend des caractéristiques de la source à haute tension.

SECTION FOUR — DIRECT VOLTAGE

A direct voltage used in high voltage testing is characterized by:

- a) polarity,
- b) arithmetic mean value,
- c) maximum value,
- d) ripple.

4.1 Definitions

4.1.1 *Ripple*

Ripple is the periodic deviation from the arithmetic mean value. The magnitude of the ripple is defined as half the difference between the maximum and minimum values. The *ripple factor* is the ratio of the ripple magnitude to the arithmetic mean value of the voltage.

4.1.2 *Value of test voltage*

The value of the test voltage is defined by its arithmetic mean value.

Note. — The maximum value of the test voltage may be taken approximately as the sum of the arithmetic mean value plus the ripple magnitude.

4.1.3 *Value of current through test object*

The value of the current through the test object is defined by its arithmetic mean value.

4.2 Test voltage

4.2.1 *Requirements concerning the test voltage*

The test voltage should be a direct voltage with less than a 5 per cent ripple factor, unless otherwise specified by the relevant Technical Committee.

4.2.2 *Generation of test voltage*

The test voltage is generally produced by means of rectifiers or by electrostatic generators. Insufficient practical experience is available to permit precise specification of the requirements of the voltage source; some guidance is given in the following:

- a) The current from the high-voltage source should be sufficient to supply the average leakage current of the test object and associated measuring equipment at the specified voltage.
- b) Since discharge currents of durations short compared with the recharge time of the high-voltage source are almost entirely drawn from the storage and load capacitance, the total capacitance of these should be sufficient to ensure that the voltage drop caused by such discharges does not cause doubtful test results. The recharging of this capacitance is dependent on the characteristics of the high-voltage source.

4.2.3 *Mesure de la tension d'essai*

4.2.3.1 *Mesure au moyen de dispositifs approuvés*

La valeur moyenne arithmétique, la valeur de crête ou le facteur d'ondulation de la tension d'essai doivent être mesurés au moyen d'un dispositif qui a subi la procédure d'approbation indiquée à la Section Huit.

4.2.3.2 *Mesure au moyen d'un éclateur à sphères*

La valeur de crête de la tension d'essai peut être mesurée au moyen d'un éclateur à sphères.

Le mode opératoire consiste usuellement à établir une relation entre l'écartement auquel la décharge disruptive se produit et une autre variable du circuit liée à la tension d'essai (la relation entre la tension d'alimentation et la tension de sortie n'est pas toujours suffisamment constante pour pouvoir servir à des mesures). Pour établir cette relation, on suivra le mode opératoire indiqué au paragraphe 4.2.1 de la Publication 52, 1960, de la C.E.I.

Si cette relation dépend de la présence de l'objet essayé, de l'éclateur à sphères, de l'aspersion dans le cas d'essais sous pluie, etc., il importe que les conditions soient les mêmes pendant l'étalonnage et pendant l'essai.

Cet étalonnage sera fait de préférence à une tension égale à la tension d'essai, mais si nécessaire, une extrapolation peut être faite à partir d'une tension au moins égale à 80 pour cent de la tension d'essai.

Note. — Au sujet des précautions à prendre lors de la mesure des tensions continues au moyen d'éclateurs à sphères, on se reportera au paragraphe 5.2.2 de la Publication 52, 1960, de la C.E.I.

4.3 **Modalités d'essai**

La tension doit être appliquée à l'objet en essai à partir d'une valeur suffisamment basse pour éviter des surtensions dues aux phénomènes transitoires d'enclenchement. Elle doit croître assez lentement pour permettre une lecture précise de l'appareil de mesure, mais sans qu'il en résulte pour autant une prolongation inutile de la contrainte de l'objet essayé au voisinage de la tension d'essai. Ces conditions sont en général remplies lorsque la rapidité de montée en tension, au-dessus de 75 pour cent de la valeur finale estimée de la tension d'essai, est d'environ 2 pour cent de cette valeur par seconde.

Le Comité d'Etudes intéressé doit spécifier la polarité de la tension ou l'ordre dans lequel sont appliquées les tensions de chaque polarité, ainsi que la rapidité de montée en tension dans le cas où les spécifications ci-dessus énoncées ne peuvent pas être respectées.

4.3.1 *Essai de tenue*

La tension doit être portée jusqu'à la valeur spécifiée de la façon indiquée à l'article 4.3. Elle doit y être maintenue pendant la durée spécifiée, puis rapidement diminuée par la décharge du condensateur de filtrage à travers une résistance convenable. L'essai est en général satisfaisant s'il ne se produit aucune décharge disruptive sur l'objet essayé.

4.3.2 *Essai de décharge disruptive*

La tension d'essai doit être augmentée de la façon indiquée à l'article 4.3 jusqu'à ce qu'il se produise une décharge disruptive sur l'objet en essai. La tension atteinte au moment de la décharge disruptive doit être consignée.

4.2.3 *Measurement of test voltage*

4.2.3.1 *Measurement with approved devices*

The arithmetic mean value, the maximum value or the ripple factor of the test voltage should be measured by a device which has passed the approval procedure referred to in Section Eight.

4.2.3.2 *Measurement with sphere-gap*

The measurement of the maximum value of the test voltage can be made with a sphere-gap.

The procedure usually consists in establishing a relation between the spacing at which disruptive discharge occurs and some other circuit variable related to the test voltage. (The relation between the supply voltage and the output voltage may not be sufficiently stable for measuring purposes). In establishing this relationship, the procedure referred to in Sub-clause 4.2.1 of I.E.C. Publication 52 (1960), should be followed.

If this relation is dependent on the presence of the test object, the sphere-gap, the precipitation in wet test, etc., it is important that the conditions be the same during the calibration and the actual test.

The calibration is preferably made at 100 per cent of the test voltage but, if necessary, extrapolation may be made from a voltage not lower than 80 per cent of the test voltage.

Note. — For the precautions when measuring direct voltage with sphere-gaps see Sub-clause 5.2.2 of I.E.C. Publication 52 (1960).

4.3 **Test procedure**

The voltage should be applied to the test object starting with a value sufficiently low to prevent over-voltage due to switching transients. It should be raised sufficiently slowly to permit accurate reading of the instrument, but not so slowly as to cause unnecessary prolongation of the stressing of the test object near the test voltage. These requirements are in general met if the rate-of-rise above 75 per cent of the estimated final test voltage is about 2 per cent per second of the voltage.

The polarity of the voltage or the order in which the voltage of each polarity is applied and also the rate-of-rise in case the specifications above cannot be complied with, should be specified by the relevant Technical Committee.

4.3.1 *Withstand test*

The test voltage should be raised to the specified value in the manner described in Clause 4.3. It should be maintained for the specified time and then rapidly reduced by discharge of the storage capacitor through a suitable resistor. The requirements of the test have generally been satisfied if no disruptive discharge on the test object occurs.

4.3.2 *Disruptive discharge test*

The test voltage should be raised in the manner described in Clause 4.3 until a disruptive discharge occurs on the test object. The voltage reached at the instant of disruptive discharge should be recorded.

SECTION CINQ — TENSION ALTERNATIVE

Les caractéristiques qui définissent une tension alternative utilisée dans un essai à haute tension sont :

- a) la fréquence,
- b) la valeur de crête,
- c) la valeur efficace,
- d) la forme de la tension.

5.1 Définitions

5.1.1 Valeur de crête

La valeur de crête est la plus grande valeur instantanée, étant exclues toutefois les petites oscillations à haute fréquence, comme celles engendrées par des décharges partielles se produisant dans le circuit.

5.1.2 Valeur efficace

La valeur efficace d'une tension alternative est la racine carrée de la moyenne des carrés des valeurs que prend la tension pendant une période entière.

5.1.3 Valeur de la tension d'essai

La valeur de la tension d'essai est définie par sa valeur de crête (voir paragraphe 5.1.1) divisé par $\sqrt{2}$.

5.2 Tension d'essai

5.2.1 Prescriptions relatives à la tension d'essai

La tension d'essai doit être une tension alternative de fréquence comprise entre 40 et 62 Hz ou de fréquence agréée. Sa forme doit être voisine d'une sinusoïde et ses deux alternances doivent être sensiblement pareilles. Les données quantitatives relatives à l'écart par rapport à une sinusoïde sont encore à l'étude; provisoirement toutefois, cet écart est considéré comme acceptable si l'une des conditions suivantes a à d est remplie. Pour chacun des modes d'évaluation deux valeurs sont données; les plus grandes peuvent être considérées comme acceptables, les plus petites étant toutefois souhaitables et devant être prises en considération pour la spécification de nouvelles installations d'essai.

- a) Le rapport de la valeur de crête à la valeur efficace reste égal à $\sqrt{2}$ avec une tolérance de ± 7 pour cent, ou de ± 4 pour cent.
- b) La valeur de crête du résidu n'excède pas 10 pour cent, ou 5 pour cent, de la valeur de crête de la tension considérée.
- c) La valeur efficace du résidu n'excède pas 10 pour cent, ou 5 pour cent, de la valeur efficace de la tension considérée.
- d) Le plus grand écart entre la courbe représentant la tension considérée et une sinusoïde de même fréquence et de même valeur de crête est inférieur à 10 pour cent, ou 5 pour cent, de cette valeur de crête lorsque les deux courbes sont superposées de telle façon que cet écart soit aussi petit que possible.

SECTION FIVE — ALTERNATING VOLTAGE

An alternating voltage used in high voltage testing is characterized by:

- a) frequency,
- b) peak value,
- c) r.m.s. value,
- d) shape of the voltage.

5.1 Definitions

5.1.1 Peak value

The peak value is the maximum value but excludes small high-frequency oscillations arising for instance from partial discharges in the circuit.

5.1.2 R.M.S. value

The r.m.s. value of an alternating voltage is the square root of the mean of the square of the voltage during a complete cycle.

5.1.3 Value of test voltage

The value of the test voltage is defined by its peak value (see Sub-clause 5.1.1) divided by $\sqrt{2}$.

5.2 Test voltage

5.2.1 Requirements concerning the test voltage

The test voltage should be an alternating voltage having a frequency in the range 40–62 Hz (c/s) or of an agreed value. Its form shall approximate to a sine curve and have both half cycles reasonably alike. The extent of the deviation from a sine curve, while under consideration, is provisionally considered acceptable if one of the following conditions *a* to *d* is satisfied. For each procedure two values are given; the higher values may be considered acceptable but the lower values are desirable and should be aimed at in specifying new test equipment.

- a) The ratio peak/r.m.s. is equal to $\sqrt{2}$ within ± 7 per cent, alternatively 4 per cent.
- b) The peak value of the residual is not more than 10 per cent, alternatively 5 per cent, of the peak value of the actual wave.
- c) The r.m.s. value of the residual is not more than 10 per cent, alternatively 5 per cent, of the r.m.s. value of the actual wave.
- d) The maximum difference between the actual wave form and a sinusoidal curve of the same frequency and peak value is less than 10 per cent, alternatively 5 per cent, of this peak value when the two curves are superimposed in such a way as to make this difference as small as possible.

5.2.2 *Production de la tension d'essai*

La tension d'essai est généralement fournie par un transformateur élévateur. La tension d'essai peut également être fournie par un circuit résonant en série.

Note. — Pour la réduction de la contrainte du transformateur — due aux décharges disruptives sur l'objet en essai — une résistance de quelques milliers d'ohms est parfois introduite entre les deux.

5.2.2.1 *Prescriptions relatives au circuit dans le cas d'un transformateur*

Le courant fourni par le transformateur, lorsque l'objet essayé est mis en court-circuit à la tension d'essai, ne doit pas être inférieur à une valeur minimale spécifiée; celle-ci est choisie d'après l'expérience en sorte que des décharges partielles n'entraînent pas une chute de tension telle que la valeur de la tension disruptive puisse en être affectée.

L'intensité minimale de ce courant est estimée à 1 A pour la majorité des cas. Pour certains objets, tels que des échantillons d'isolants liquides ou des combinaisons d'isolants liquides et solides, un courant beaucoup plus faible, de l'ordre de 0,1 A, peut suffire. Pour des objets fortement pollués, un courant bien supérieur à 1 A peut être nécessaire pour obtenir une tension stable sur l'objet en essai.

5.2.2.2 *Circuit résonant en série*

Le circuit résonant consiste principalement en un objet ou une charge capacitive branché en série avec une inductance variable et une source de courant. En faisant varier l'inductance, on peut accorder la résonance de ce circuit sur la fréquence requise; dans ces conditions, la tension appliquée à l'objet a une forme très voisine d'une sinusoïde, même pour de grandes charges capacitatives telles que des câbles et des condensateurs.

La stabilité de la condition de résonance, et par suite la constance de la tension d'essai, dépendent de la constance de l'impédance et particulièrement des pertes de l'objet en essai. C'est pourquoi ce circuit ne convient pas pour les essais où la condition de résonance est perturbée par des courants de fuite variables ou par des décharges partielles, tels que, par exemple, les essais d'isolation externe à sec, sous pluie ou dans des conditions de pollution. Au contraire, cette méthode convient bien aux objets comprenant des condensateurs ou des échantillons de câbles, pour lesquels l'influence de l'isolation externe est amortie par la capacité de la charge.

5.2.3 *Mesure de la tension d'essai*

5.2.3.1 *Mesure au moyen de dispositifs approuvés*

La tension d'essai et l'écart de sa courbe représentative par rapport à une sinusoïde doivent être mesurés au moyen d'un dispositif qui a subi la procédure d'approbation indiquée à la Section Huit.

5.2.3.2 *Mesure au moyen d'un éclateur à sphères*

La valeur de crête de la tension d'essai peut être mesurée au moyen d'un éclateur à sphères. Le mode opératoire consiste usuellement à établir une relation entre l'écartement auquel la décharge disruptive se produit et une autre variable du circuit liée à la tension d'essai. Pour établir cette relation, on suivra le mode opératoire indiqué au paragraphe 4.2.1 de la Publication 52, 1960, de la C.E.I.

5.2.2 *Generation of test voltage*

The test voltage is generally supplied from a step-up transformer. The test voltage can also be supplied from a series resonant circuit.

Note. — To reduce the stress on the transformer caused by chopping at the test object, a resistor of a few kilohms is sometimes inserted between these two.

5.2.2.1 *Requirements of the transformer circuit*

The current delivered by the transformer, when the test object is short-circuited at the test voltage, should not be less than a minimum specified value selected on the basis of experience to ensure that partial discharges will not lead to such a lowering of the voltage that the value of the disruptive discharge voltage of the test object could be affected.

This current is deemed to be not less than 1 A for the majority of cases. For some test objects such as samples of insulating liquids or combinations of liquid and solid dielectrics, a much lower current of the order 0.1 A may suffice. For heavily polluted test objects, a much higher current than 1 A may be required to obtain a steady voltage on the test object.

5.2.2.2 *The series resonant circuit*

The series resonant circuit consists essentially of a capacitive test object or load connected in series with a variable inductor and a power supply. By varying the inductance, the circuit can be tuned to resonance at the required frequency under which condition a voltage of a shape approximating very closely to a sine curve is applied to the test object, even for large capacitance load such as cables and capacitors.

The stability of the resonance conditions and consequently the constancy of the test voltage depends on the constancy of the impedance and especially of the losses of the test object. The circuit is unsuitable therefore for tests in which the resonant condition is disturbed by variable leakage currents or partial discharges, for example tests on external insulation under dry or wet or polluted conditions. The method is readily applicable to test objects comprising capacitors or cable samples, where the external insulation effects are swamped by the capacitance of the load.

5.2.3 *Measurement of test voltage*

5.2.3.1 *Measurement with approved devices*

The test voltage and the deviation from a sinusoid should be measured with a device which has passed the approval procedure referred to in Section Eight.

5.2.3.2 *Measurement with sphere-gap*

The measurement of the peak value of the test voltage may be made with a sphere-gap. The procedure usually consists in establishing a relation between the spacing at which disruptive discharge occurs and some other circuit variable related to the test voltage. In establishing this relationship, the procedure referred to in Sub-clause 4.2.1 of I.E.C. Publication 52 (1960) should be followed.

Si cette relation dépend de la présence de l'objet essayé, de l'éclateur à sphères, de l'aspersion dans le cas d'essai sous pluie, etc., il importe que les conditions soient les mêmes pendant l'étalonnage et pendant l'essai.

Cet étalonnage se fera de préférence à une tension égale à la tension d'essai, mais une extrapolation peut être faite à partir d'une tension au moins égale à 80 pour cent de la tension d'essai. Cette extrapolation peut ne pas être satisfaisante si le courant dans le circuit d'essai n'est pas proportionnel à la tension, ou si la forme de la tension, ou la fréquence, se trouve modifiée à la pleine tension d'essai.

5.3 Modalités d'essai

La tension doit être appliquée à l'objet en essai à partir d'une valeur suffisamment basse pour éviter des surtensions dues aux phénomènes transitoires d'enclenchement. Elle doit croître assez lentement pour permettre une lecture précise de l'appareil de mesure, mais sans qu'il en résulte pour autant une prolongation inutile de la contrainte de l'objet essayé au voisinage de la tension d'essai. Ces conditions sont en général remplies lorsque la rapidité de la montée en tension, au-dessus d'environ 75 pour cent de la valeur finale estimée de la tension d'essai, est d'environ 2 pour cent de cette valeur par seconde.

5.3.1 Essai de tenue

La tension d'essai doit être portée jusqu'à la valeur spécifiée de la façon indiquée à l'article 5.3. Elle doit y être maintenue pendant la durée spécifiée, puis rapidement diminuée mais non brusquement interrompue de façon à empêcher l'apparition de phénomènes transitoires de manœuvre pouvant affecter le résultat de l'essai. L'essai est en général satisfaisant s'il ne se produit aucune décharge disruptive sur l'objet essayé.

5.3.2 Essai de décharge disruptive

La tension d'essai doit être augmentée de la façon indiquée à l'article 5.3 jusqu'à ce qu'il se produise une décharge disruptive sur l'objet en essai. La tension atteinte au moment de la décharge disruptive doit être consignée.

SECTION SIX — TENSION DE CHOC

Les caractéristiques qui définissent une tension de choc utilisée dans un essai à haute tension sont:

- a) la polarité,
- b) la valeur de crête, le cas échéant la valeur de crête conventionnelle,
- c) la durée conventionnelle du front, T_1 ,
- d) la durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur, T_2 ,
- e) la durée conventionnelle jusqu'à la coupure, T_c ,
- f) la durée conventionnelle de la chute de tension pendant la coupure.

If this relation is dependent on the presence of the test object, the sphere-gap, the precipitation in wet tests etc., it is important that the conditions be the same during the calibration and the actual test.

The calibration is preferably made at 100 per cent of the test voltage, but extrapolation may be made from a voltage not lower than 80 per cent of the test voltage. Extrapolation may be unsatisfactory if the current of the test circuit is not proportional to voltage or if modifications have occurred in the voltage shape or frequency at 100 per cent test voltage.

5.3 Test procedure

The voltage should be applied to the test object starting at a value low enough to prevent overvoltages due to switching transients. It should be raised sufficiently slowly to permit accurate reading of the measuring instrument, but not so slowly as to cause unnecessary prolongation of the stress of the test object near the test voltage. These requirements are in general met if the rate-of-rise above 75 per cent of the estimated final test voltage is about 2 per cent per second of this voltage.

5.3.1 Withstand test

The test voltage should be raised to the specified value in the manner described in Clause 5.3. It should be maintained for the specified time and then rapidly decreased, but not suddenly interrupted, so as to avoid the possibility of switching transients which may affect the test result. The test is generally satisfactory if no disruptive discharge occurs on the test object.

5.3.2 Disruptive discharge test

The test voltage should be raised in the manner described in Clause 5.3 until a disruptive discharge occurs on the test object. The voltage reached at the instant of disruptive discharge should be recorded.

SECTION SIX.—IMPULSE VOLTAGE

An impulse voltage used in high-voltage testing technique is characterized by:

- a) polarity,
- b) peak value, alternatively virtual peak value,
- c) virtual front time, T_1 ,
- d) virtual time to half value, T_2 ,
- e) virtual time to chopping, T_c ,
- f) virtual time of voltage collapse during chopping.

6.1 Définitions

6.1.1 Tension de choc pleine

Une tension de choc pleine est, en principe, une tension transitoire apériodique qui croît rapidement jusqu'à une valeur maximale, puis décroît en général moins rapidement jusqu'à zéro, voir figure 5 (page 80).

6.1.2 Tension de choc coupée

Une tension de choc coupée est une tension transitoire obtenue à partir d'une tension de choc pleine qui est interrompue par une décharge disruptive provoquant une brusque chute de la tension jusqu'à une valeur pratiquement nulle. La chute peut se produire sur le front (figure 6, page 80), sur la crête ou sur la queue (figure 7, page 80).

6.1.3 Valeur de crête, le cas échéant valeur de crête conventionnelle

La valeur de crête est normalement la valeur maximale. Pour certains circuits d'essai la tension peut présenter des oscillations ou un lancé. Si l'amplitude des oscillations ne dépasse pas 5 pour cent de la valeur de crête et que sa fréquence est au moins égale à 0,5 MHz, ou encore si l'amplitude du lancé ne dépasse pas 5 pour cent de la valeur de crête et que sa durée n'est pas supérieure à 1 μ s, on peut, pour les besoins de la mesure, tracer une courbe moyenne dont la valeur maximale est définie comme étant la valeur de crête conventionnelle (voir figure 8a, page 82). Dans les autres cas (voir par exemple, figure 8b, page 82) le Comité d'Etudes intéressé doit définir la valeur de crête conventionnelle, en tenant compte du type d'essai et du type d'objet essayé.

Note. — Dans ce qui suit, le terme «valeur de crête» doit s'entendre, sauf indication contraire, comme englobant le terme «valeur de crête conventionnelle».

6.1.4 Durée conventionnelle du front T_1

La durée conventionnelle du front, T_1 , est définie comme étant égale à 1,67 fois l'intervalle de temps T compris entre les instants où la tension est égale à 30 pour cent et à 90 pour cent de la valeur de crête (points A et B des figures 5 à 7). Dans le cas d'oscillations sur le front, les points A et B doivent être pris sur la courbe moyenne tracée au milieu des oscillations.

6.1.5 Origine conventionnelle O_1 d'une tension de choc

Par définition, on choisit pour origine conventionnelle O_1 d'une tension de choc, l'instant qui précède d'une durée de $0,3 T_1$ celui correspondant au point A (figure 5 à 7). Pour des oscillogrammes à balayage linéaire, elle est à l'intersection avec l'axe des abscisses de la droite passant par les points de référence A et B du front.

6.1.6 Raideur conventionnelle S du front

La raideur conventionnelle S du front est le quotient de la valeur de crête par la durée conventionnelle du front.

6.1.7 Durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur T_2

La durée conventionnelle T_2 jusqu'à la mi-valeur d'une tension de choc est l'intervalle compris entre l'origine conventionnelle et l'instant du point de la queue où la tension est tombée à la moitié de la valeur de crête.

6.1 Definitions

6.1.1 Full impulse voltage

A full impulse voltage is ideally an aperiodic transient voltage which rises rapidly to a maximum value and falls usually less rapidly to zero, see Figure 5 (page 81).

6.1.2 Chopped impulse voltage

A chopped impulse voltage is a transient voltage derived from a full impulse voltage which is interrupted by a disruptive discharge causing a sudden collapse in the voltage, practically to zero value. The collapse can occur on the front (Figure 6, page 81), at the peak or on the back (tail). (Figure 7, page 81).

6.1.3 Peak value, alternatively virtual peak value

The peak value is normally the maximum value. With some test circuits oscillations or overshoot may be present on the voltage. If the amplitude of the oscillations is not greater than 5 per cent of the peak value and the frequency is at least 0.5 MHz (Mc/s), or alternatively, if the amplitude of the overshoot is not greater than 5 per cent of the peak value and the duration not longer than 1 μ s, then for the purpose of measurement a mean curve may be drawn, the maximum amplitude of which is defined as the virtual peak value. (See Figure 8a, page 83). For other cases (see for instance Figure 8b, page 83), the relevant Technical Committee should define the virtual peak value taking into account the type of test and test object.

Note. — In what follows, the term 'peak value' is to be understood as including the term 'virtual peak value' unless otherwise stated.

6.1.4 Virtual front time T_1

The virtual front time, T_1 , is defined as 1.67 times the time interval T between the instants when the impulse is 30 per cent and 90 per cent of the peak value, (points A, B, Figures 5 to 7). If oscillations are present on the front, the points A and B should be taken on the mean curve drawn through these oscillations.

6.1.5 Virtual origin O_1 of an impulse

The virtual origin O_1 of an impulse is defined as the instant preceding that corresponding to point A (Figures 5–7) by a time $0.3 T_1$. For oscillograms having linear time sweeps, this is the intersection with the abscissa of a straight line drawn through the reference points A and B on the front.

6.1.6 Virtual steepness S of the front

The virtual steepness S of the front is the quotient of the peak value and the virtual front time.

6.1.7 Virtual time to half value T_2

The virtual time to half value T_2 of an impulse is the time interval between the virtual origin and the instant on the back (tail), when the voltage has decreased to half the peak value.

6.1.8 Définitions propres aux tensions de choc coupées

Les caractéristiques de la brusque chute de tension sont définies à partir de deux points C et D de la courbe de la tension en fonction du temps. Pour les tensions de choc coupées sur le front, les points C et D sont situés à 70 pour cent et à 10 pour cent de la valeur de crête (figure 6). Pour les tensions coupées sur la queue, les points C et D sont situés à 70 pour cent et à 10 pour cent de la valeur estimée au moment de la coupure (figure 7).

6.1.8.1 Durée conventionnelle de la chute de tension pendant la coupure

La durée conventionnelle de la chute de tension pendant la coupure est 1,67 fois l'intervalle de temps compris entre les points C et D (figures 6 et 7).

6.1.8.2 Moment conventionnel de la coupure

Le moment conventionnel de la coupure est l'instant qui précède celui correspondant au point C (figures 6 et 7) d'une durée égale à 0,3 fois la durée conventionnelle estimée de la chute de tension pendant la coupure.

6.1.8.3 Durée conventionnelle T_c jusqu'à la coupure

La durée conventionnelle T_c jusqu'à la coupure est l'intervalle de temps compris entre l'origine conventionnelle O_1 et le moment conventionnel de la coupure.

6.1.8.4 Raideur conventionnelle de la tension pendant la coupure

La raideur conventionnelle de la tension pendant la coupure est le quotient de la valeur estimée de la tension au moment de la coupure par la durée conventionnelle de la chute de tension pendant la coupure.

6.1.9 Valeur de la tension d'essai

La valeur de la tension d'essai est définie par sa valeur de crête (voir paragraphe 6.1.3).

6.1.10 Courbes tension disruptive/durée jusqu'à la décharge disruptive (courbes tension/durée).

6.1.10.1 Courbe tension/durée pour tensions de choc à front linéaire

La courbe tension/durée pour tensions de choc à front linéaire est la courbe reliant la tension disruptive d'un objet en essai à la durée conventionnelle jusqu'à la coupure. Cette courbe est obtenue par application de tensions qui croissent avec différentes raideurs d'une façon approximativement linéaire (voir figure 9, page 84).

6.1.10.2 Courbe tension/durée pour tensions de choc normales

La courbe tension/durée pour tensions de choc normales est la courbe reliant la valeur de crête de la tension de choc provoquant une décharge disruptive sur l'objet en essai à la durée conventionnelle jusqu'à la coupure. Cette courbe est obtenue par application de tensions de choc normales de différentes valeurs de crête (voir figure 10, page 84).

6.1.8 Definitions applicable only to chopped impulses

The characteristics of the sudden collapse of voltage are defined in terms of two points C and D on the curve of voltage as a function of time. For impulses chopped on the front, points C and D are at 70 per cent and 10 per cent of the peak voltage (Figure 6). For impulses chopped on the back (tail), the points C and D are at 70 per cent and 10 per cent of the estimated voltage at the instant of chopping (Figure 7).

6.1.8.1 Virtual time of voltage collapse during chopping

The virtual time of voltage collapse during chopping is 1.67 times the time interval between points C and D (Figures 6 and 7).

6.1.8.2 Virtual instant of chopping

The virtual instant of chopping is the instant preceding that corresponding to point C (Figures 6 and 7) by 0.3 times the (estimated) virtual time at voltage collapse during chopping.

6.1.8.3 Virtual time T_c to chopping

The virtual time T_c to chopping is the time interval between the virtual origin O_1 , and the virtual instant of chopping.

6.1.8.4 Virtual steepness of voltage during chopping

The virtual steepness of voltage during chopping is the quotient of the estimated voltage at the instant of chopping and the virtual time of voltage collapse.

6.1.9 Value of test voltage

The value of the test voltage is defined by the peak value (see Sub-clause 6.1.3).

6.1.10 Disruptive discharge voltage/time to disruptive discharge curves (Volt/time curves)

6.1.10.1 Volt/time curve for impulses with fronts rising linearly

The volt/time curve for impulses with fronts rising linearly is the curve relating the disruptive discharge voltage of a test object to the virtual time to chopping. The curve is obtained by applying voltages which increase at different rates in an approximately linear manner (see Figure 9, page 85).

6.1.10.2 Volt/time curve for standard impulses

The volt/time curve for standard impulses is a curve relating the peak value of the impulse causing disruptive discharge of a test object to the virtual time to chopping. The curve is obtained by applying standard impulse voltages of different peak values (see Figure 10, page 85).

6.2 Tension d'essai

6.2.1 Caractéristiques de la tension d'essai

6.2.1.1 Tension de choc normale (choc normal)

La tension de choc normale (ou choc normal) est une tension de choc pleine ayant une durée conventionnelle du front de $1,2 \mu\text{s}$ et une durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur de $50 \mu\text{s}$. Elle est désignée dans l'écriture sous la forme de tension de choc $1,2/50$.

6.2.1.2 Tension de choc coupée sur la queue

Une tension de choc coupée sur la queue généralement utilisée est une tension de choc normale, coupée après une durée de 2 à $5 \mu\text{s}$. En raison de l'insuffisance des renseignements techniques, la durée conventionnelle de la chute de tension n'a pas encore été normalisée. Cette caractéristique n'a d'importance que pour certains cas spéciaux.

6.2.1.3 Tensions de choc spéciales

Pour des recherches spéciales, il peut être nécessaire d'utiliser des chocs ayant des durées jusqu'à la mi-valeur sensiblement plus courtes ou plus longues que le choc normal. Dans de tels cas, les formes de tension $1,2/5$ et $1,2/200$ sont recommandées.

6.2.2 Tolérances

Valeur de crête	± 3 pour cent
Durée du front	± 30 pour cent
Durée jusqu'à la mi-valeur	± 20 pour cent

De petites oscillations sont tolérées sur la tension de choc pourvu que leur amplitude dans la région voisine de la crête de la tension de choc soit inférieure à 5 pour cent de la valeur de crête. Au début du front (en dessous de la mi-valeur), les oscillations peuvent atteindre une amplitude de 10 pour cent.

Note. — Lorsque l'objet en essai a une forte capacité par rapport à la terre ou se comporte comme une faible inductance, il est parfois difficile d'ajuster la forme des tensions de choc dans les limites des tolérances recommandées, ou d'empêcher un passage en polarité opposée. Dans ces cas, le Comité d'Etudes intéressé peut avoir à spécifier des limites de tolérance différentes des précédentes, ou l'importance admissible des inversions de polarité.

6.2.3 Production de la tension d'essai

La tension de choc est généralement produite par un montage dans lequel un certain nombre de condensateurs sont chargés en parallèle par une source de tension continue, puis déchargés en série dans un circuit incluant l'objet en essai. Pour les essais en tension de choc normale, les impédances des éléments du circuit doivent être telles que le choc à appliquer dans un essai donné conserve une forme invariable à toutes les tensions. Pour des essais spéciaux tels que ceux en tension de choc coupée sur le front, aucune directive générale ne peut être donnée. Cette question est à l'étude.

6.2.4 Détermination de la forme de la tension de choc

La forme de la tension de choc doit être ajustée, l'objet en essai étant inclus dans le circuit. A cet effet on doit utiliser un diviseur et un oscillographe approuvés (voir paragraphe 8.6.2).

6.2 Test voltage

6.2.1 Characteristics of test voltage

6.2.1.1 Standard impulse

The standard impulse is a full impulse having a front time of $1.2\text{ }\mu\text{s}$ and a time to half value of $50\text{ }\mu\text{s}$. It is described as a 1.2/50 impulse.

6.2.1.2 Impulse, chopped on the back (tail)

An impulse chopped on the back (tail) generally used is a standard impulse which is chopped after 2 to $5\text{ }\mu\text{s}$. Because of incomplete technical information the virtual time of voltage collapse has not yet been standardized. This characteristic is of importance only for some specific tests.

6.2.1.3 Special impulses

For special investigations, it may be necessary to use impulses having times to half value appreciably shorter or appreciably longer than the standard impulse. In such cases, impulse shapes 1.2/5 and 1.2/200 are recommended.

6.2.2 Tolerances

Peak value	± 3 per cent
Front time	± 30 per cent
Time to half value	± 20 per cent

Small oscillations on the impulse are tolerated provided that their amplitude in the neighbourhood of the peak of the impulse is less than 5 per cent of the peak value. Oscillations on the first part of the front (below 50 per cent) may reach 10 per cent amplitude.

Note. — For tests on objects having high capacitance to earth or low inductance, it may be difficult to adjust the shape of the impulses within the tolerances recommended, or to avoid polarity reversal. In such cases, the relevant Technical Committee may have to specify different tolerance limits or permissible polarity reversal.

6.2.3 Generation of test voltage

The impulse is usually generated by a circuit arrangement in which a number of capacitors are charged in parallel from a direct voltage source and then discharged in series through a circuit which includes the test object. For tests with standard impulses, the impedance of the circuit elements should be such that the impulse to be applied in a certain test maintains its shape at all voltages. For special tests such as those in which impulses are chopped on the front, no general guidance can be given. This question is under consideration.

6.2.4 Determination of impulse shape

The impulse shape should be adjusted with the test object in circuit. For this purpose an approved divider and oscillograph should be used (see Sub-clause 8.6.2).

En général, la forme de la tension de choc doit être vérifiée pour chaque objet. Lorsqu'un certain nombre d'objets de même type et de mêmes dimensions sont essayés dans des conditions analogues, la forme du choc n'a besoin d'être vérifiée qu'une seule fois.

Note. — La détermination de la forme du choc par le calcul n'est en général pas satisfaisante.

6.2.5 *Mesure de la tension d'essai*

6.2.5.1 *Mesure au moyen de dispositifs approuvés*

La tension d'essai doit être mesurée au moyen d'un dispositif qui a subi la procédure d'approbation indiquée à la Section Huit.

6.2.5.2 *Mesure au moyen d'un éclateur à sphères*

La valeur de crête de la tension d'essai peut être mesurée au moyen d'un éclateur à sphères. Le mode opératoire consiste usuellement à établir une relation entre l'écartement auquel la décharge disruptive se produit et une autre variable du circuit liée à la tension d'essai, par exemple la tension maximale de charge du premier étage du générateur de chocs. Pour établir cette relation, on suivra le mode opératoire indiqué au paragraphe 4.2.2 de la Publication 52, 1960, de la C.E.I. Si cette relation dépend de la présence de l'objet essayé, de l'éclateur, etc., il importe que les conditions soient les mêmes pendant l'étalonnage et pendant l'essai.

Lorsque l'isolation essayée n'est pas susceptible d'être endommagée par l'application répétée des tensions ou par les décharges disruptives répétées, cet étalonnage se fera jusqu'à la pleine tension d'essai.

Pour les essais sur d'autres objets, une extrapolation est peut être inévitable, mais elle doit être faite à partir d'une tension au moins égale à 60 pour cent de la tension d'essai. L'extrapolation n'est autorisée que s'il peut être prouvé que la tension est proportionnelle à la variable qui lui est liée.

6.3 **Modalités d'essai**

Les modalités applicables à chaque catégorie particulière d'équipement, par exemple la polarité, l'ordre préférentiel lorsque les deux polarités sont à utiliser, le nombre des applications et l'intervalle de temps entre elles, doivent être indiquées par le Comité d'Etudes intéressé, qui prendra en considération des facteurs tels que:

- a) la précision requise,
- b) la dispersion des observations individuelles et l'influence de la polarité sur la caractéristique mesurée,
- c) l'éventualité d'une dégradation progressive par les applications répétées de la tension.

6.3.1 *Modalités applicables à des objets non susceptibles de dégradation progressive*

Sauf spécification contraire, les modalités ci-après sont applicables à des objets qui ne sont pas susceptibles d'être progressivement détériorés par les applications répétées de la tension, tels par exemple les objets dont l'isolation se compose uniquement d'air, de porcelaine ou de verre.

In general, the impulse shape should be checked for each test object. When a number of test objects of the same design and size are tested under similar conditions, the shape need only be verified once.

Note. — A determination of the impulse shape by calculation is generally not satisfactory.

6.2.5 *Measurement of test voltage*

6.2.5.1 *Measurement with approved devices*

The test voltage should be measured by a device which has passed the approval procedure referred to in Section Eight.

6.2.5.2 *Measurement with sphere-gap*

The measurement of the peak value of the test voltage may be made with a sphere-gap. The procedure usually consists in establishing a relation between the spacing at which disruptive discharge occurs and some other variable in the circuit related to the test voltage, for instance the maximum charging voltage of the first stage of the impulse generator. In establishing this relationship the procedure referred to in Sub-clause 4.2.2 of I.E.C. Publication 52 (1960) should be followed. If this relation is dependent on the presence of the test object, the sphere-gap, etc., it is important that the conditions be the same during the calibration and the actual test.

For tests on insulation which is not likely to be damaged by repeated voltage applications or flashovers, the calibration is made up to 100 per cent test voltage.

For tests on other objects, extrapolation may be unavoidable, but such extrapolation should not be greater than from 60 per cent of the test voltage. The extrapolation is only permissible if it can be shown that the test voltage is proportional to the related quantity.

6.3 **Test procedure**

The test procedure applicable to particular items of equipment, for example the polarity to be used, the preferred order if both polarities are to be used, the number of applications, and the interval between applications should be laid down by the relevant Technical Committee having regard to such factors as:

- a) the accuracy required,
- b) the dispersion of individual observations and the polarity dependence of the measured characteristic,
- c) the possibility of progressive deterioration with repeated voltage applications.

6.3.1 *Procedure for objects not subject to progressive deterioration*

If not otherwise specified, the test procedures recommended below are applicable to test objects not subject to progressive deterioration by repeated voltage applications, for example objects with only air, porcelain or glass insulation.

6.3.1.1 *Essai de tenue*

On applique cinq chocs ayant la valeur de crête spécifiée. S'il ne se produit aucune décharge disruptive, l'essai est satisfaisant. S'il se produit plus d'une décharge disruptive, l'appareil est réputé mauvais. S'il ne se produit qu'une seule décharge disruptive, on doit appliquer dix chocs supplémentaires. L'appareil est considéré avoir subi l'essai avec succès s'il ne se produit aucune décharge disruptive au cours de ces dix applications supplémentaires.

6.3.1.2 *Essai de décharge disruptive à 50 pour cent*

Une méthode pour déterminer la tension disruptive à 50 pour cent est la suivante. La tension du générateur de chocs est réglée par échelons de 2 à 5 pour cent de la tension disruptive présumée. Dix chocs sont appliqués à chaque échelon. La valeur donnant une probabilité de 50 pour cent est déduite de la courbe qui représente en fonction de la tension le pourcentage de décharge disruptive. Dans certains cas pratiques, il peut suffire de déduire cette valeur d'une interpolation portant sur un groupe d'échelons dont l'un au moins provoque moins de 5 décharges disruptives et dont un autre au moins provoque plus de 5 décharges disruptives dans une série de 10 applications successives.

Une méthode moins précise consiste à régler le générateur de chocs jusqu'à l'obtention de 4 à 6 décharges disruptives dans une série de 10 applications successives.

6.3.1.3 *Essai de décharge disruptive à 100 pour cent*

On applique cinq chocs ayant l'amplitude spécifiée. Si chacun d'eux provoque une décharge disruptive, l'essai est satisfaisant. Si plus d'un ne provoque pas de décharge disruptive, l'essai n'est pas satisfaisant. Si un seul choc ne provoque pas de décharge disruptive, on applique dix chocs supplémentaires. Si chacun de ceux-ci provoque une décharge disruptive, l'essai est satisfaisant.

SECTION SEPT — COURANT DE CHOC

Les caractéristiques qui définissent un courant de choc sont :

- a) la polarité,
- b) la valeur de crête, le cas échéant la valeur de crête conventionnelle,
- c) la durée conventionnelle du front T_1 ,
- d) la durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur T_2 ,
- e) la durée conventionnelle (dans le cas des courants de choc rectangulaires).

7.1 Définitions

7.1.1 *Courants de choc*

Un courant de choc est, en principe, un courant transitoire apériodique qui croît rapidement jusqu'à une valeur maximale, puis décroît généralement moins rapidement jusqu'à zéro.

6.3.1.1 *Withstand test*

Five impulses of the specified peak value are applied. If no disruptive discharge takes place, the requirements of the test have been satisfied. If more than one disruptive discharge takes place, the apparatus is considered to have failed the test. If only one disruptive discharge occurs, ten additional impulses shall be applied. The apparatus is considered to have passed the test if during these additional applications no disruptive discharge occurs.

6.3.1.2 *50 per cent disruptive discharge test*

A method of determining the 50 per cent disruptive discharge voltage is the following. The voltage of the impulse generator is adjusted in steps of 2–5 per cent of the expected disruptive discharge voltage. Ten applications of the impulse are made at each step. The value giving 50 per cent probability is derived from a curve relating the percentage disruptive discharge to voltage. For some practical cases it may be sufficient to derive the value from interpolation covering a range of steps where at least one gives less than 5 disruptive discharges and at least one gives more than 5 disruptive discharges in a series of 10 successive applications.

A less accurate method is to adjust the impulse generator until 4 to 6 disruptive discharges are obtained in a series of 10 successive applications.

6.3.1.3 *100 per cent disruptive discharge test*

Five impulses of the specified amplitude are applied. If each impulse causes a disruptive discharge, the requirements of the test have been satisfied. If more than one impulse fails to cause a disruptive discharge, the requirements of the test have not been satisfied. If one impulse fails to cause disruptive discharge, ten additional impulses are applied. If each of these additional impulses causes a disruptive discharge, the requirements of the test have been satisfied.

SECTION SEVEN — IMPULSE CURRENT

An impulse current is characterized by:

- a) polarity,
- b) peak value, alternatively virtual peak value,
- c) virtual front time, T_1 ,
- d) virtual time to half value, T_2 ,
- e) virtual duration (for rectangular impulses).

7.1 Definitions

7.1.1 *Impulse currents*

An impulse current is ideally an aperiodic transient current which rises rapidly to a maximum value and falls usually less rapidly to zero.

Un courant de choc rectangulaire croît rapidement jusqu'à une valeur maximale, se maintient sensiblement constant pendant une durée spécifiée, puis décroît rapidement jusqu'à zéro.

7.1.2 Valeur de crête, le cas échéant valeur de crête conventionnelle

La valeur de crête est normalement la valeur maximale. Pour certains circuits d'essai, le courant peut présenter un lancé ou des oscillations. La valeur maximale de la courbe moyenne tracée sur les oscillations est définie comme étant la valeur de crête conventionnelle. Le choix de la définition de la valeur du courant d'essai (voir paragraphe 7.1.7) par la valeur de crête réelle ou par la valeur de crête conventionnelle dépend du type d'essai et de la décision du Comité d'Etudes intéressé.

Note. — Dans ce qui suit, le terme «valeur de crête» doit s'entendre, sauf indication contraire, comme englobant le terme «valeur de crête conventionnelle».

7.1.3 Durée conventionnelle du front T_1

La durée conventionnelle du front T_1 est définie comme étant égale à 1,25 fois l'intervalle de temps compris entre les instants où l'intensité du courant est égal à 10 pour cent et à 90 pour cent de la valeur de crête.

Dans le cas d'oscillations sur le front, les valeurs de 10 pour cent et 90 pour cent doivent être prises sur la courbe moyenne tracée au milieu des oscillations.

Note. — La différence entre les durées du front mesurées respectivement selon cette définition et selon celle du paragraphe 6.1.4 est généralement inférieure à 10 pour cent.

7.1.4 Origine conventionnelle O_1

L'origine conventionnelle, O_1 , d'un courant de choc est prise par définition à l'instant qui précède d'une durée de $0,1 T_1$ celui pour lequel l'intensité du courant est égal à 10 pour cent de la valeur de crête.

Pour des oscillogrammes à balayage linéaire, elle est à l'intersection avec l'axe des abscisses de la droite passant par les points de référence du front où l'intensité du courant est égale à 10 pour cent et à 90 pour cent de la valeur de crête.

7.1.5 Durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur T_2

La durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur, T_2 , est l'intervalle compris entre l'origine conventionnelle et l'instant du point de la queue où l'intensité du courant est tombée à la moitié de la valeur de crête.

7.1.6 Durée conventionnelle d'un courant de choc rectangulaire

La durée conventionnelle d'un courant de choc rectangulaire est définie par la durée pendant laquelle son intensité est supérieure à 90 pour cent de la valeur de crête.

7.1.7 Valeur du courant d'essai

La valeur du courant d'essai est définie par sa valeur de crête (voir paragraphe 7.1.2).

A rectangular impulse current rises rapidly to a maximum value, remains substantially constant for a specified time and then falls rapidly to zero.

7.1.2 *Peak value, alternatively virtual peak value*

The peak value is normally the maximum value. With some test circuits, overshoot or oscillations may be present on the current. The maximum value of the smooth curve drawn through the oscillations is defined as the virtual peak value. It will depend on the type of test and on the decision of the appropriate Technical Committee whether the value of the test current (see Sub-clause 7.1.7) shall be defined by the actual peak or a virtual peak value.

Note. — In what follows, the term 'peak value' is to be understood as including the term 'virtual peak value' unless otherwise stated.

7.1.3 *Virtual front time T_1*

The virtual front time T_1 is defined as 1.25 times the interval between the instants when the impulse current is 10 per cent and 90 per cent of the peak value.

If oscillations are present on the front, the 10 per cent and 90 per cent values should be derived from the mean curve drawn through these oscillations.

Note. — The difference between front times measured, according to this definition and the one in Sub-clause 6.1.4, is generally less than 10 per cent.

7.1.4 *Virtual origin O_1*

The virtual origin, O_1 , of an impulse is defined as the instant preceding that corresponding to the time at which the current is 10 per cent of the peak value by $0.1 T_1$.

For oscillograms having linear time sweeps, this is the intersection with the abscissa of a straight line drawn through the 10 per cent and 90 per cent reference points on the front.

7.1.5 *Virtual time to half value T_2*

The virtual time to half value, T_2 , is the time interval between the virtual origin and the instant on the back (tail), where the current has decreased to half the peak value.

7.1.6 *Virtual duration of a rectangular impulse current*

The virtual duration of a rectangular impulse current is defined by the time during which the current is greater than 90 per cent of the peak value.

7.1.7 *Value of test current*

The value of the test current is defined by the peak value (see Sub-clause 7.1.2).

7.2 Courant d'essai

7.2.1 Courants de choc normaux

Deux courants de choc normaux sont utilisés. L'un a une durée du front de $8\text{ }\mu\text{s}$ et une durée jusqu'à la mi-valeur de $20\text{ }\mu\text{s}$; il est désigné par courant de choc 8/20. L'autre a une durée du front de $4\text{ }\mu\text{s}$ et une durée jusqu'à la mi-valeur de $10\text{ }\mu\text{s}$; il est désigné par courant de choc 4/10.

Les courants de choc rectangulaires ont habituellement des durées de 2 000, 1 000 ou 500 μs .

7.2.2 Tolérances

Pour les courants de choc 8/20 et 4/10

Valeur de crête	± 10 pour cent
Durée conventionnelle du front T_1	± 10 pour cent
Durée conventionnelle jusqu'à la mi-valeur T_2	± 10 pour cent
Oscillations au voisinage de la crête	± 5 pour cent de la valeur de crête

Pour les courants de choc rectangulaires

Valeur de crête	$+20$ pour cent $- 0$ pour cent
Durée conventionnelle	$+20$ pour cent $- 0$ pour cent

7.2.3 Mesure du courant d'essai

Le courant d'essai doit être mesuré par un appareil ayant subi la procédure d'approbation indiquée à la Section Huit.

7.3 Mesure de la tension durant les essais en courant de choc

Il est parfois demandé de mesurer la tension développée aux bornes de l'objet essayé durant les essais de choc à forte intensité de courant. A cet effet, on peut utiliser l'un des dispositifs approuvés énumérés au paragraphe 8.6.2.

Le courant de choc peut induire des tensions élevées dans le circuit de mesure de la tension de choc, entraînant ainsi des erreurs de mesure. Pour procéder à une vérification à ce sujet, il est recommandé de déconnecter de la borne sous tension de l'objet essayé le conducteur qui y relie normalement le diviseur de tension, et de le brancher sur la borne de terre de l'objet tout en lui donnant approximativement le même trajet. En variante, l'objet en essai est mis en court-circuit ou remplacé par un conducteur métallique. La tension mesurée dans ces conditions en déchargeant le générateur doit rester pratiquement nulle, tout au moins dans la région du choc qui est d'importance pour l'appréciation des résultats.

Note. — Cette vérification en court-circuit peut être faite à un niveau de courant réduit.

7.2 Test current

7.2.1 Standard impulse currents

Two standard impulse currents are used. One has a front time of $8\text{ }\mu\text{s}$ and a time to half value of $20\text{ }\mu\text{s}$; it is described as an 8/20 impulse. The other has a front time of $4\text{ }\mu\text{s}$ and a time to half value of $10\text{ }\mu\text{s}$; it is described as a 4/10 impulse.

Rectangular impulse currents usually have durations of 2 000, 1 000 or 500 μs .

7.2.2 Tolerances

For 8/20 and 4/10 impulses

Peak value	± 10 per cent
Virtual front time T_1	± 10 per cent
Virtual time to half value T_2	± 10 per cent
Oscillations near peak	± 5 per cent of the peak value

For rectangular impulses

Peak value	$+20$ per cent -0 per cent
Virtual duration	$+20$ per cent -0 per cent

7.2.3 Measurement of test current

The test current should be measured by a device which has passed the approval procedure referred to in Section Eight.

7.3 Measurement of voltage during tests with impulse currents

It is sometimes desired to measure the voltage developed across the test object during tests with high impulse currents. Any one of the approved devices listed in Sub-clause 8.6.2 can be used for the purpose.

The impulse current may induce high voltages in the impulse voltage measuring circuit, thereby giving measuring errors. To check this, it is recommended that the conductor which normally joins the voltage divider to the live end of the test object should be disconnected from the live end and connected to the earthed end of the test object, but maintained in approximately the same loop. Alternatively, the test object is short-circuited or replaced by a metal conductor. The voltage measured under this condition when the generator is discharged should be substantially zero, at least during the part of the impulse which is of importance for evaluating results.

Note. — This short circuit check may be made at a reduced current.

SECTION HUIT — DISPOSITIFS DE MESURES APPROUVÉS

Introduction

Pour édicter des recommandations sur les dispositifs de mesure des hautes tensions, on peut employer l'une ou l'autre des deux méthodes suivantes :

1. Recommander des méthodes de mesure, en même temps que des méthodes pour vérifier la précision,
2. Recommander des méthodes de construction détaillées de dispositifs de mesures, sur la précision desquels on puisse alors compter. S'il y a lieu, on peut également indiquer des méthodes pour leur étalonnage.

Dans le présent document, c'est la première méthode qui a été adoptée, car on dispose de méthodes relativement simples et suffisamment précises pour le contrôle de dispositifs de mesure des hautes tensions. La deuxième méthode a été adoptée pour la mesure des hautes tensions au moyen d'éclateurs à sphères qui fait l'objet d'un document séparé (Publication 52, 1960, de la C.E.I.).

Note. — L'attention est attirée sur la possibilité d'étalonner avec précision, au moyen de réactions nucléaires, tout appareil de mesure des tensions continues à faible facteur d'ondulation (voir Note technique 4, page 68).

8.1 Dispositifs de mesures utilisés dans les essais à haute tension ou dans les essais à forte intensité de courant

8.1.1 *Domaine d'application et objet*

Les recommandations de la Section Huit s'appliquent aux dispositifs de mesures utilisés dans les essais à haute tension et dans les essais à forte intensité de courant. Leur objet est de classer les dispositifs, d'énoncer les prescriptions auxquelles ils doivent satisfaire et d'indiquer les méthodes pour vérifier la conformité à ces prescriptions. Les dispositifs de mesures qui satisfont à ces prescriptions sont appelés *dispositifs de mesures approuvés*.

8.1.2 *Prescriptions générales*

Un dispositif de mesures approuvé doit avoir subi les essais mentionnés dans le présent document. Un rapport de ces essais, qui n'ont à être exécutés généralement qu'une seule fois, doit être conservé par l'utilisateur.

Les limites de précision résultant de ce rapport doivent satisfaire aux prescriptions des paragraphes 8.4.1, 8.5.1, 8.6.1 et 8.7.1. La conformité à ces prescriptions doit être respectée indépendamment de l'influence de facteurs extérieurs tels que les conditions atmosphériques ou la proximité d'objets environnants, de la valeur de la tension ou du courant, ou de la variation, dans les limites d'emploi du dispositif, de la caractéristique de la tension ou du courant en fonction du temps.

Ces essais doivent être effectués soit sur le dispositif complet, soit sur les éléments qui le composent, en tenant compte de l'influence réciproque des différentes parties lorsqu'elles sont reliées.

Les appareils de mesure qui entrent dans la composition d'un dispositif de mesures doivent être essayés conformément au paragraphe 8.2.2.

Tous les dispositifs de mesures doivent être soumis périodiquement à un contrôle ou à un examen courant, conformément à l'article 8.3. Si le résultat de ce contrôle n'est pas satisfaisant, ou si le dispositif a été modifié à quelque égard d'une façon significative, les essais initiaux doivent être répétés en partie ou en totalité.

SECTION EIGHT — APPROVED MEASURING DEVICES

Introduction

Recommendations on high-voltage measuring devices could be made by either of two methods:

1. By recommending methods of measurement, together with methods of checking accuracy,
2. By recommending detailed designs of measuring devices the accuracy of which could be relied upon. Where appropriate, methods for their calibration could also be indicated.

In the present document, the first method has been adopted since relatively simple and sufficiently accurate methods are available for the checking of high-voltage measuring apparatus. Method 2 has been adopted for the measurement of high voltages with sphere-gaps which is covered in a separate document (I.E.C. Publication 52, 1960).

Note. — Attention is drawn to the possibility of calibrating accurately any apparatus for measuring direct voltage with low ripple factor by means of nuclear reactions (see Technical Note 4, page 69).

8.1 Measuring devices used in tests involving high voltages or high impulse currents

8.1.1 *Scope and object*

The recommendations in Section Eight apply to measuring devices used in high-voltage and high impulse current testing. The object is to classify the devices, to indicate the requirements which they should meet and to describe methods of verifying compliance with these requirements. Measuring devices which satisfy these requirements are described as *approved measuring devices*.

8.1.2 *General requirements*

An approved measuring device should have been subjected to the tests outlined in this document. A record of these tests, which usually need to be made only once, should be retained by the user.

The limits of accuracy resulting from this record should comply with Sub-clauses 8.4.1, 8.5.1, 8.6.1 and 8.7.1. Compliance with these requirements should be independent of external factors such as atmospheric conditions or the proximity of neighbouring objects, of the voltage or current magnitude or of variation of voltage or current time characteristic in the range over which the device is to be used.

This test should be made either on the complete device or on its components, taking into account the influence of different parts when connected together.

The instruments which are part of a measuring device should be tested in accordance with Sub-clause 8.2.2.

All measuring devices should periodically be subjected to a routine check or inspection, in accordance with Clause 8.3. If the result is unsatisfactory, or if the device has been modified in any significant respect, the original tests should be repeated either in part or in full.

Un dispositif de mesures de tension approuvé doit être connecté directement aux bornes de l'objet en essai. Un dispositif de mesures de courant approuvé doit être connecté en série avec l'objet en essai.

8.2 Consignation des caractéristiques

8.2.1 Dispositif complet

La consignation des caractéristiques doit généralement indiquer:

- a) Le type de dispositif et ses principales caractéristiques de construction.
- b) La plage de tension ou de courant à laquelle le dispositif est adapté.
Celle-ci doit être vérifiée par un essai de tenue approprié.
- c) La constante du dispositif, c'est-à-dire le facteur par lequel la valeur indiquée par le dispositif doit être multipliée pour obtenir la valeur de la grandeur à mesurer.

La constante peut être obtenue par des méthodes à basse tension, telle, par exemple, la mesure par un pont à courant continu du rapport d'un diviseur à résistances, complétée par l'étalonnage de la sensibilité de déviation de l'appareil de mesure associé.

- d) La précision du dispositif dans toute la plage des valeurs de tension ou de courant.

Cette vérification peut être faite par comparaison avec un dispositif de mesures de l'un des deux types mentionnés dans l'introduction de la Section Huit, ou par comparaison avec un dispositif certifié par un organisme national d'étalonnage.

- e) La gamme de formes de tension ou de courant à laquelle le dispositif est adapté. Celle-ci peut être déterminée par différentes méthodes, telles par exemple:
 - la détermination de la réponse en fonction de la fréquence ou à l'échelon unité par des méthodes électroniques,
 - la détermination de la réponse à une grandeur ayant la même caractéristique en fonction du temps que la grandeur à mesurer dans un essai considéré.

Note. — Mention est faite des diviseurs à résistances et des shunts tubulaires pour lesquels cette question peut être traitée par le calcul (voir articles A 8.2 et A 8.3).

- f) L'influence sur la précision du dispositif des conditions atmosphériques, de la proximité des objets voisins, de la durée ou du nombre des applications de tension ou de courant, etc.

8.2.2 Appareils de mesure

Les appareils de mesure utilisés avec les transformateurs de tension, diviseurs ou shunts, sont classés dans les deux catégories suivantes.

- a) Appareils d'usage courant pour lesquels il existe des normes.

Ces appareils devront être conformes à ces normes et correspondre à la classe 0,5 ou à une classe meilleure de la Publication 51 de la C.E.I.

- b) Appareils spécialement établis pour l'usage dans les circuits d'essai à haute tension (voltmètres de crête, oscillographes, etc.).

Ces appareils doivent avoir été vérifiés conformément au paragraphe 8.2.1.

An approved voltage measuring device shall be connected directly to the terminals of the test object. An approved current measuring device shall be connected in series with the test object.

8.2 Record of performance

8.2.1 *The complete device*

The record of the performance should generally indicate:

- a) The type of the device and its main design features.
- b) The range of voltage or current for which the device is suitable.

This should be verified by a suitable withstand test.

- c) The scale factor of the device, that is the factor by which the value indicated by the device shall be multiplied to obtain the value of the required quantity.

This may be obtained by low voltage methods, for instance by a d.c. bridge measurement of the voltage ratio of a resistor divider together with a calibration of the deflection sensitivity of the associated instrument.

- d) The accuracy of the device over the full range of voltage or current values.

This could be checked by comparison with a measuring device of type 1 or 2, referred to in the introduction to Section Eight, or by comparison with a device which is approved by a National Calibration Authority.

- e) The range of voltage or current shapes for which the device is suitable.

This can be determined by various methods. Examples are:

- the determination of the frequency or unit step response by electronic methods,
- the determination of the response to a quantity having the same variation with time as the quantity to be measured in the actual test.

Note. — Reference is made to the resistor divider and the tubular shunt for which this question may be dealt with by calculation (see Clauses A 8.2 and A 8.3).

- f) The effect on the accuracy of the device of atmospheric conditions, proximity of neighbouring structures, duration of voltage or current or number of applications, etc.

8.2.2 *The instruments*

The instruments used with voltage transformers, dividers or shunts are divided into two classes:

- a) Instruments of designs in general use, for which standards exist.

These instruments should comply with such standards, and be of Class 0.5 or better of I.E.C. Publication 51.

- b) Instruments specially designed for use in high-voltage testing circuits (peak voltmeter, oscillographs, etc.).

These instruments should have been checked in accordance with Sub-clause 8.2.1.

8.3 Validité d'un dispositif pour un essai particulier (contrôle individuel)

Afin de prouver qu'un dispositif de mesures approuvé est valable pour un essai particulier, il suffit en général:

- a) De comparer le résultat d'une mesure à celui d'une méthode indépendante.

Généralement cette comparaison doit être faite par rapport à un dispositif indépendant à une valeur de préférence égale à 100 pour cent et non inférieure à 60 pour cent de celle qui doit être utilisée au cours de l'essai considéré. L'objet en essai peut être mis hors circuit durant cette opération.

- b) De déterminer la valeur du niveau de perturbation.

Les indications des appareils de mesure et des oscillographes peuvent être affectées par des courants circulant dans le système de mise à la terre (en particulier dans les gaines des câbles de mesure) et par des champs parasites extérieurs. Pour étudier ces influences, il est recommandé de mettre le câble de mesure en court-circuit du côté du diviseur ou du shunt, sans rien modifier aux conditions de mise à la terre.

Lorsqu'il s'agit d'étudier l'influence de champs parasites extérieurs sur l'appareil de mesure seul, il suffit de déconnecter l'appareil de mesure du circuit d'essai et de mettre ses bornes en court-circuit.

Dans ces conditions, et pour un niveau de tension ou de courant non inférieur à 60 pour cent du niveau de l'essai réel, la déviation de l'appareil de mesure doit être négligeable par rapport à la valeur à mesurer.

8.4 Dispositifs de mesures pour tensions continues

8.4.1 Précision de mesure

Pour la mesure de la valeur moyenne arithmétique (ou de la valeur de crête) d'une tension continue, l'erreur de mesure d'un dispositif approuvé ne doit pas dépasser 3 pour cent. L'erreur absolue sur la mesure de la grandeur de l'ondulation ne doit pas dépasser 1 pour cent de la valeur moyenne de la tension.

Pour la mesure de la valeur moyenne d'une tension continue dans ces limites de précision, la constante du dispositif doit être connue à mieux que 3 pour cent, mais aucune condition n'est imposée sur sa réponse en fonction de la fréquence. Pour la mesure de la valeur de crête ou de la tension d'ondulation, la réponse en fonction de la fréquence doit être constante à mieux que 10 pour cent à partir de la fréquence fondamentale et au moins jusqu'au rang le plus élevé d'harmonique important de l'ondulation.

8.4.2 Dispositifs pour la mesure de la valeur moyenne arithmétique ou de la valeur de crête d'une tension continue

Des dispositifs couramment utilisés sont:

- a) Appareil de mesure utilisé avec un diviseur de tension.

Un voltmètre à faible consommation est branché sur le bras à basse tension d'un diviseur, qui doit être du type à résistances, à résistances avec écrans ou mixte, voir annexe A 8.1.1.

Ce montage mesure la valeur moyenne arithmétique ou la valeur de crête de la tension, selon le type de l'appareil de mesure utilisé et la réponse du diviseur.

8.3 Applicability of a measuring device to a particular test (routine check)

In order to demonstrate that an approved measuring device is suitable for a particular test, it is generally sufficient to:

- a) Compare a measurement with one obtained by an independent method.

Generally this comparison should be made against another independent measuring device at a value preferably of 100 per cent and not less than 60 per cent of the value which is to be used during the particular test. The test object may be disconnected from the circuit during this check.

- b) Determine the magnitude of the disturbance level.

The indications of instruments and oscillographs may be affected by currents circulating in the earthing system (especially the sheaths of measuring cables) and by external stray fields. To examine these effects, it is recommended that the measuring cable at the divider or shunt end be short-circuited, leaving unchanged the earthing arrangements.

To examine the effect of external stray fields on the measuring apparatus only, it is sufficient to disconnect the instrument from the test circuit, short-circuiting the input terminals.

Under these conditions and for the application of not less than 60 per cent of the actual test level voltage or current, the deflection obtained on the instrument should be a negligible fraction of the quantity to be measured.

8.4 Measuring devices for direct voltages

8.4.1 *Measuring accuracy*

Approved devices for direct voltages should measure the arithmetic mean value (or the maximum value) with an error not exceeding 3 per cent. The amplitude of the ripple should be measured with an absolute error not exceeding 1 per cent of the mean value of the voltage.

For the measurement of the mean value of a direct voltage within this accuracy, the scale factor of the device must be known within 3 per cent, but no limitations are imposed on the frequency response. For the measurement of the peak value or the ripple voltage, the frequency response must be constant within 10 per cent from the fundamental up to at least the highest important harmonic frequency of the ripple voltage.

8.4.2 *Devices for measuring the arithmetic mean value or the maximum value of a direct voltage*

Commonly used devices are:

- a) *Instrument together with voltage divider.*

A voltmeter with low power consumption is connected to the low-voltage arm of a divider which should be of the resistive, shielded or mixed type, see appendix A 8.1.1.

The arrangement gives a measure of the arithmetic mean value or the maximum value of the voltage, depending upon the type of instrument, used and the response of the divider.

b) *Appareil de mesure en série avec une résistance.*

Un ampèremètre est connecté en série avec une résistance de valeur élevée.

Lorsque l'ampèremètre est du type magnétoélectrique, ce dispositif mesure la valeur moyenne arithmétique de la tension.

c) *Voltmètre à armature tournante.*

Un voltmètre à armature tournante est essentiellement un condensateur variable dont la capacité oscille périodiquement entre deux valeurs déterminées. Ce condensateur est connecté entre les points où la tension est à mesurer. Au moyen d'un commutateur approprié, un appareil de mesure est connecté de façon à mesurer la variation de charge du condensateur.

Selon les dispositions particulières adoptées, un voltmètre à armature tournante mesure la valeur de crête, la valeur moyenne ou toute valeur instantanée.

d) *Voltmètre électrostatique*

Un voltmètre électrostatique est connecté entre les points où la tension est à mesurer, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un diviseur de tension. Il indique la valeur efficace de la tension; pour les besoins des présentes recommandations, celle-ci est équivalente à la valeur moyenne pourvu que le facteur d'ondulation soit inférieur à 20 pour cent.

8.4.3 *Mesure de la tension d'ondulation*

Des dispositifs couramment utilisés sont:

a) *Oscillographe utilisé avec un diviseur de tension.*

L'oscillographe est généralement branché sur le bras à basse tension d'un diviseur (à résistances, à résistances avec écrans ou mixte).

b) *Dispositif de mesures avec filtre.*

Un tel dispositif consiste généralement en un appareil branché dans un circuit qui élimine la composante continue. Un montage typique consiste en un condensateur en série avec une résistance aux bornes de laquelle est branché l'appareil de mesure.

c) *Appareil mesurant le courant redressé traversant un condensateur.*

Le courant traversant un condensateur branché entre les points où la tension est à mesurer est redressé et lu sur un ampèremètre mesurant la valeur moyenne du courant redressé. Cette valeur est égale au produit de la fréquence, de la capacité et de la grandeur de l'ondulation par une constante égale à 2 ou 4 selon que l'ampèremètre est traversé par une seule ou par les deux alternances du courant redressé. Cette méthode est en défaut si l'ondulation comporte plus d'un maximum par alternance.

8.5 **Dispositifs de mesures pour tensions alternatives**

8.5.1 *Précision de mesure*

Pour la mesure de la valeur de crête (ou de la valeur efficace) d'une tension alternative, l'erreur de mesure d'un dispositif approuvé ne doit pas dépasser 3 pour cent. L'erreur absolue sur la mesure faite pour déterminer l'écart par rapport à une sinusoïde (paragraphe 5.2.1 a à d) ne doit pas dépasser 1 pour cent de la valeur de la tension alternative.

b) *Instrument together with series resistor.*

An ammeter is connected in series with a high ohmic resistor.

With a moving-coil ammeter this device measures the arithmetic mean value of the voltage.

c) *Generating voltmeter.*

The generating voltmeter is essentially a variable capacitor the capacitance of which is cyclically changed between two fixed values. The capacitor is connected to the points between which the voltage is to be measured. By means of a suitable switching arrangement a measuring instrument is connected to measure the charge variation of the capacitor.

Depending upon the circuit arrangement the generating voltmeter measures the peak value, the mean value, or any instantaneous value.

d) *Electrostatic voltmeter.*

The electrostatic voltmeter is connected between the points where the voltage is to be measured either directly or through a voltage divider. It indicates the r.m.s. value of the voltage which for the purpose of these recommendations is equivalent to the mean value provided the ripple factor is less than 20 per cent.

8.4.3 *Measurement of ripple voltage*

Commonly used devices for measuring ripple voltages are:

a) *Oscillograph with voltage divider.*

The oscillograph is generally connected to the low-voltage arm of a divider (resistor, shielded or mixed).

b) *Measuring device 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 capacitor in series with a resistor across which the instrument is connected.

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

The current through a capacitor connected across the voltage to be measured is rectified and indicated by an ammeter measuring rectified mean current. The current is the product of frequency, capacitance, and ripple magnitude, multiplied by a constant the value of which is 2 or 4 according to whether one or both half-cycles of the rectified current flow through the ammeter. This method will fail if the ripple has more than one maximum per half-cycle.

8.5 *Measuring devices for alternating voltages*

8.5.1 *Measuring accuracy*

Approved devices for alternating voltage should measure the peak value (or the r.m.s. value) with an error not exceeding 3 per cent. The measurement to determine the deviation from a sinusoid (Sub-clause 5.2.1 a to d) should be made with an absolute error not exceeding 1 per cent of the value of the alternating voltage.

Pour obtenir ces précisions, la constante du dispositif doit être connue à mieux que 3 pour cent pour la fréquence fondamentale. En outre, la réponse pour des fréquences supérieures doit satisfaire à certaines conditions. Etant donné la diversité des teneurs en harmoniques de différents rangs des tensions délivrées par différentes sources, aucune règle précise ne peut être donnée. En général, toutefois, les prescriptions seront satisfaites pour la mesure de la valeur de crête si la réponse en fonction de la fréquence est constante à mieux que 10 pour cent jusqu'au septième harmonique.

Lorsqu'il s'agit seulement de mesurer la valeur efficace de la tension, les exigences sont moindres.

Il est à noter que des résonances à des fréquences supérieures peuvent introduire des erreurs.

8.5.2 Dispositifs pour la mesure de la valeur de crête ou de la valeur efficace d'une tension alternative

Des dispositifs couramment utilisés sont:

a) *Appareil de mesure utilisé avec un transformateur.*

L'enroulement à haute tension d'un transformateur de tension est branché entre les points où la tension est à mesurer; un voltmètre est branché aux bornes de l'enroulement à basse tension.

b) *Appareil de mesure utilisé avec un diviseur de tension.*

Un voltmètre est branché sur le bras à basse tension d'un diviseur qui est généralement du type à capacités.

c) *Appareil en série avec une résistance.*

Un ampèremètre est branché en série avec une résistance.

Note. — Les dispositifs des types a) à c) ci-dessus cités mesurent la valeur de crête ou la valeur efficace selon le type d'appareil utilisé.

d) *Appareil mesurant le courant redressé traversant un condensateur.*

Le courant traversant un condensateur branché entre les points où la tension est à mesurer est redressé et lu sur un ampèremètre mesurant la valeur moyenne du courant redressé. Cette valeur est égale au produit de la fréquence, de la capacité et de la valeur de crête de la tension par une constante égale à 2 ou à 4 selon que l'ampèremètre est traversé par une seule ou par les deux alternances du courant redressé. Cette méthode est en défaut si la tension comporte plus d'un maximum par alternance. Si les amplitudes des deux alternances ne sont pas égales, elle en donne la moyenne.

e) *Voltmètre électrostatique.*

Un voltmètre électrostatique est connecté entre les points où la tension est à mesurer, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un diviseur de tension. Il indique la valeur efficace de la tension.

8.5.3 Dispositifs pour la mesure de l'écart par rapport à une sinusoïde

Des dispositifs couramment utilisés sont:

a) *Oscillographe utilisé avec un transformateur de tension ou un diviseur de tension, ou en série avec une résistance.*

b) *Appareil comprenant des filtres passe-bande ou passe-haut, utilisé avec un transformateur de tension ou un diviseur de tension ou en série avec une résistance.*

To fulfil these requirements, the scale factor of the device should be known for the fundamental frequency with an error less than 3 per cent. In addition there are requirements relating to the response to higher frequencies. As different voltage sources have very different amount of harmonics of different frequencies no precise rules can be given. In general, however, requirements will be met in the measurement of peak voltage if the frequency response is constant within 10 per cent up to the seventh harmonic.

If only the r.m.s. value of the voltage is to be measured, the requirements are less stringent.

It should be noted that resonances at higher frequencies may cause errors.

8.5.2 *Devices for measuring the peak value or the r.m.s. value of an alternating voltage*

Commonly used devices are:

a) *Instrument with voltage transformer.*

The high-voltage winding of a voltage transformer is connected to the points between which the voltage is to be measured and a voltmeter is connected across the low-voltage winding.

b) *Instrument with voltage divider.*

A voltmeter is connected to the low-voltage arm of a divider which usually is of the capacitor type.

c) *Instrument with series resistance.*

An ammeter is connected in series with a resistor.

Note. — Any of the above three devices a) to c) will give a measurement of peak or r.m.s. value according to the type of instrument used.

d) *Instrument measuring the rectified current through a capacitor.*

The current through a capacitor connected across the voltage to be measured is rectified and indicated by an ammeter measuring rectified mean current. This current is the product of frequency, capacitance and peak voltage multiplied by a constant, the value of which is 2 or 4 according to whether one or both half-cycles of the rectified current flow through the ammeter. This method will fail if the alternating voltage has more than one maximum per half-cycle. If the amplitudes in the two half-cycles differ, the method will give the mean.

e) *Electrostatic voltmeter.*

An electrostatic voltmeter is connected to the voltage to be measured either directly or via a voltage divider. It indicates the r.m.s. value of the voltage.

8.5.3 *Devices for measuring the deviation from a sine curve*

Commonly used devices are:

a) Oscillograph in conjunction with a voltage transformer, a voltage divider or in series with a resistor.

b) Apparatus incorporating band-pass or high-pass filters which are used in conjunction with a voltage transformer, a voltage divider or in series with a resistor.

8.6 Dispositifs de mesures pour tensions de choc

8.6.1 Précision de mesure

Pour la mesure de la valeur de crête d'une tension de choc, l'erreur de mesure d'un dispositif approuvé ne doit pas dépasser 3 pour cent. Pour la mesure de tensions de choc coupées sur le front à des temps inférieurs à une microseconde, l'erreur peut atteindre 5 pour cent. Les caractéristiques de durée qui définissent la forme d'une tension de choc doivent être mesurées à mieux que 10 pour cent à l'exception de la durée de la chute de tension pendant la coupure, pour laquelle aucune valeur de précision ne peut être spécifiée actuellement.

Ces conditions seront en général remplies si la constante du dispositif de mesures est connue à mieux que 3 pour cent et si la réponse à un échelon unité de tension remplit certaines conditions. On peut distinguer deux types de réponses, *a*) et *b*):

- a*) Réponse qui atteint la valeur de régime soit apériodiquement (figure 11a, page 86), soit par une oscillation fortement amortie (figure 11b, page 86).

Pour ces types de réponse les prescriptions sont:

1. le temps auquel la réponse atteint approximativement sa valeur de régime doit être inférieur au temps auquel la tension à mesurer atteint sa valeur de crête;
2. le temps de réponse T , tel que défini au paragraphe A 8.1.4.1, doit satisfaire aux prescriptions du tableau ci-dessous.

- b*) Réponse qui oscille autour de sa valeur de régime avec un faible amortissement (figure 11c, page 86).

Pour ce type de réponse la fréquence de l'oscillation f_r doit satisfaire aux prescriptions du tableau ci-dessous.

TABEAU

Forme de la tension de choc à mesurer	Réponse du circuit	
	Forme quelconque de la réponse	Prescriptions particulières pour réponse à oscillations régulières
	Temps de réponse T non supérieur à	Fréquence d'oscillation f_r d'au moins
Tension de choc normale pleine ou coupée sur la queue	0,2 μ s	3 MHz
Tension de choc coupée sur le front Durée jusqu'à la coupure T_c μ s	0,05 T_c (pour une erreur de 5%)	$\frac{3}{T_c}$ MHz
Tension de choc 1,2/5	0,2 μ s	3 MHz
Durée de la chute de tension pendant la coupure	Les prescriptions sont sévères mais ne peuvent être précisées actuellement.	

Notes 1) — Si la courbe de réponse présente un lancé initial important, l'erreur sur la mesure de la durée du front peut dépasser 10 pour cent.

2) — La mesure de tensions de choc coupées sur le front à des temps inférieurs à 0,5 μ s présente des difficultés techniques considérables, particulièrement aux tensions élevées.

8.6 Measuring devices for impulse voltages

8.6.1 Measuring accuracy

Approved devices for the measurement of impulse voltages should measure the peak value with an error not exceeding 3 per cent. For the measurement of impulses chopped on the front at times shorter than $1 \mu\text{s}$ the error may be increased to 5 per cent. The time parameters which define the impulse shape should be measured to within 10 per cent with the exception of the time of collapse of voltage during chopping for which no figure of accuracy can at present be specified.

These requirements will generally be met if the scale factor of the measuring device is known with an error less than 3 per cent and the response to a unit step function voltage satisfies certain requirements. Two types of response *a*) and *b*) can be distinguished:

- a*) Response which approaches the steady state value either aperiodically (Figure 11*a*, page 87) or by a highly damped oscillation (Figure 11*b*, page 87).

For these types of response the requirements are:

1. the time for the response to approximate to the steady state value should be less than the time for the measured impulse to reach the peak value;
2. the response time T , as defined in Sub-clause A 8.1.4.1, should comply with the requirements of the table below.

- b*) Response which takes the form of a lightly damped oscillation about the steady state value (Figure 11*c*, page 87).

For this type of response the frequency of the oscillation f_r should comply with the requirements of the table below.

TABLE

Impulse shape to be recorded	Circuit's response	
	Arbitrary response shape	Special requirements for responses with regular oscillations
	Response time T not more than	Oscillating frequency f_r at least
Full standard impulse voltage or standard impulse chopped on the back (tail)	$0.2 \mu\text{s}$	3 MHz (Mc/s)
Impulse voltage chopped on the front. Time to chopping $T_c \mu\text{s}$	$0.05 T_c$ (for 5% error)	$\frac{3}{T_c}$ MHz (Mc/s)
Impulse 1.2/5	$0.2 \mu\text{s}$	3 MHz (Mc/s)
Time of voltage collapse during chopping	The requirements are severe and at present no specifications can be given.	

Notes 1) — If the response curve has a large initial overshoot, the error in measuring front duration may exceed 10 per cent.

2) — The measurement of impulses chopped on the front at times shorter than $0.5 \mu\text{s}$, especially those of high voltage, presents considerable technical difficulties.

8.6.2 Dispositifs couramment utilisés pour la mesure de tensions de choc

Des dispositifs couramment utilisés sont :

a) Diviseur de tension utilisé avec un oscilloscope.

Un oscilloscope à rayons cathodiques est branché par l'intermédiaire d'un câble coaxial au bras à basse tension d'un diviseur.

L'oscilloscope doit être doté des moyens appropriés d'étalonnage de l'échelle des temps et de l'échelle des déviations. La tension d'accélération et les tensions d'alimentation auxiliaires doivent être convenablement stabilisées. Il importe que les plaques de déviation restent pendant l'étalonnage dans les mêmes conditions de mise à la terre et de polarisation qu'au cours de l'enregistrement de la tension de choc.

Le diviseur de tension doit être connecté directement à la borne à haute tension et à la borne de terre de l'objet en essai, et de préférence non aux connexions reliant l'objet au générateur de chocs. Cette façon d'opérer assure l'emploi du diviseur dans les conditions où sa réponse a été déterminée et évite d'introduire dans la mesure la chute de tension inductive apparaissant le long des conducteurs qui relient l'objet en essai au générateur de chocs. Toutefois, pour la mesure de tensions de choc normales pleines ou coupées sur la queue, on peut généralement admettre que le branchement du diviseur sur les conducteurs qui relient le générateur à l'objet introduit une erreur négligeable si la condition $\sqrt{LC} \leq 0,05$ est satisfaite, dans laquelle L est l'inductance en microhenrys du tronçon de conducteur compris entre l'objet et l'endroit où est branché le diviseur (de l'ordre de $1 \mu\text{H}$ par mètre de longueur du conducteur à haute tension) et C la capacité en microfarads que présente l'objet en essai aux phénomènes d'impulsion.

Le câble coaxial doit être de préférence du type à haute fréquence, par exemple à isolation d'air, de polyéthylène ou de matière similaire ayant de faibles pertes diélectriques. Ces pertes, ainsi que la résistance de l'âme et de la gaine du câble, peuvent introduire des erreurs. C'est pourquoi il est essentiel d'utiliser des câbles aussi courts que possible ou de déterminer expérimentalement les erreurs introduites.

L'impédance entre points du circuit de terre, normalement reliés entre eux, doit être rendue aussi faible que possible, par exemple par l'emploi, pour les conducteurs du circuit reliés à la terre, de rubans métalliques plats (non magnétiques) ou d'une grande feuille couvrant le plancher de la plateforme.

b) Diviseur de tension utilisé avec un appareil mesurant la valeur de crête.

L'oscilloscope mentionné au paragraphe 8.6.2 a) est remplacé par un appareil approprié à la mesure de la tension de crête.

8.7 Dispositifs de mesures pour courants de choc

8.7.1 Précision de mesure

Pour la mesure de la valeur de crête d'un courant de choc, l'erreur de mesure d'un dispositif approuvé ne doit pas dépasser 3 pour cent. Les caractéristiques de durée qui définissent la forme d'un courant de choc doivent être mesurées à mieux que 10 pour cent. Ces conditions seront en général remplies si la constante du dispositif de mesures est connue à mieux que 3 pour cent et si la réponse à un échelon de courant remplit les conditions a) et b).

8.6.2 Commonly used devices for impulse voltage measurements

Commonly used devices are:

a) *Voltage divider together with oscillograph.*

A cathode-ray oscillograph is connected through a coaxial cable to the low-voltage arm of a voltage divider.

The oscillograph should be provided with appropriate means for calibrating the time and deflection scales. The accelerating voltage and auxiliary voltage supplies should be stabilized. It is important that the deflection plates remain under the same condition of earthing or biasing during the calibration and during the recording of the impulse voltage.

The voltage divider should be connected directly to the high-voltage terminal and earth of the test object and preferably not to the leads connecting the test object to the impulse generator. This ensures that the voltage divider is used under the conditions in which the response was determined and avoids the inclusion of the inductive voltage drop in the leads between the test object and impulse generator in the measurement. However, when measuring full standard impulses or standard impulses chopped on the back, it can in general be assumed that the error due to the connection of the divider to the leads between the generator and the test specimen is negligible if the condition $\sqrt{LC} \leq 0.05$ is fulfilled, where L is the inductance in μH of that part of the lead between the test object and the point to which the voltage divider is connected (roughly $1 \mu\text{H/m}$ length of the high-voltage lead) and C is the surge capacitance of the test object in microfarads.

The coaxial cable should preferably be of the high-frequency type, for instance with insulation of air, polythene or similar material having low dielectric loss. This loss and the resistance of the inner conductor of the cable and the sheath may introduce errors. It is therefore essential to use cables of the minimum practicable length or to determine experimentally the errors introduced.

The impedance between points on the earth side, normally connected together, should be kept as low as possible by the use, for example, of flat metal sheets (non-magnetic) as conductors on the earth side of the circuit or by a large sheet covering the test area.

b) *Voltage divider together with instrument measuring peak value.*

The oscillograph referred to in Sub-clause 8.6.2 a) is replaced by a suitable instrument measuring the peak value.

8.7 Measuring devices for impulse currents

8.7.1 *Measuring accuracy*

Approved devices for the measurement of impulse currents should measure the peak value with an error not exceeding 3 per cent. Time parameters which define the impulse shape should be measured within 10 per cent. These requirements will generally be met if the scale factor of the device is known with an error less than 3 per cent and the response to a step function current satisfies the requirements a) and b).

- a) le temps auquel la réponse atteint approximativement sa valeur de régime doit être inférieur au temps auquel le courant à mesurer atteint sa valeur de crête.
- b) Le temps de réponse T , tel que défini au paragraphe A 8.1.4.1, doit satisfaire aux prescriptions du tableau ci-dessous.

Forme du courant de choc à mesurer	Réponse du circuit
8/20	Temps de réponse T non supérieur à $1,6 \mu s$
4/10	Temps de réponse T non supérieur à $0,8 \mu s$

Note. — La caractéristique de réponse à l'échelon unité de shunts ne prend généralement pas la forme d'une oscillation amortie.

8.7.2 Dispositifs couramment utilisés pour la mesure de courants de choc

Des dispositifs couramment utilisés sont:

- a) shunt non inductif utilisé avec un oscillographe,
- b) shunt non inductif utilisé avec un appareil mesurant la valeur de crête.

Les prescriptions relatives à l'oscillographe ou à l'appareil de mesure sont identiques à celles énoncées au paragraphe 8.6.2 a) et b).

Le shunt doit être de préférence de type tubulaire. Les figures 12 a à c donnent des exemples d'un tel mode de construction. Des shunts d'autres types peuvent être utilisés s'il peut être prouvé qu'ils satisfont aux prescriptions du paragraphe 8.7.1.

- a) The time for the response to reach approximately the steady state value should be less than the time for the measured impulse to reach the peak value.
- b) The response time T , as defined in Sub-clause A 8.1.4.1, should comply with the requirements in the table below.

Impulse shape to be measured	Circuit's response
8/20	Response time T not more than $1.6 \mu\text{s}$
4/10	Response time T not more than $0.8 \mu\text{s}$

Note. — The unit step response characteristic of shunts does not in general take the form of a damped oscillation.

8.7.2 Commonly used devices for impulse current measurements

Commonly used devices are:

- a) non-inductive shunt with an oscillograph,
- b) non-inductive shunt with an instrument measuring peak-value.

The requirements for the oscillograph or instrument are identical with those referred to in Sub-clauses 8.6.2 a) and b).

The shunt should preferably be of the tubular type. Figures 12 a to c give examples of such a construction. Shunts of other types may be used if it can be demonstrated that they fulfil the requirements of Sub-clause 8.7.1.

ANNEXE

A 8.1 Définitions générales

Pour clarifier le texte, quelques définitions générales sont données ci-dessous.

A 8.1.1 *Diviseur de tension*

Un diviseur de tension est composé de deux impédances en série, généralement inégales, la tension à mesurer étant appliquée entre les bornes extrêmes et un appareil de mesure étant branché entre la borne intermédiaire et l'une des bornes extrêmes. Une de ces impédances, désignée par «bras à haute tension», supporte généralement la plus grande part de la tension. L'autre, qui supporte la part restante de la tension et à laquelle est connecté généralement l'appareil de mesure, s'appelle «bras à basse tension».

Les diviseurs sont généralement classés dans les types suivants:

a) *Diviseur à résistances*

Le bras à haute tension d'un diviseur à résistances est généralement constitué d'une résistance qui n'est munie d'aucun écran.

b) *Diviseur à résistances avec écrans*

Le bras à haute tension d'un diviseur à résistances avec écrans est constitué d'une résistance munie d'un ou de plusieurs écrans en vue d'annuler ou de réduire l'influence de la capacité par rapport aux objets au potentiel de la terre ou à d'autres potentiels.

c) *Diviseur à capacités*

Le bras à haute tension d'un diviseur à capacités est constitué de condensateurs.

d) *Diviseur mixte*

Le bras à haute tension d'un diviseur mixte est constitué de résistances et de condensateurs en parallèle.

Note. — Il existe des diviseurs qui n'entrent pas dans cette classification.

Les bras à basse tension des diviseurs doivent avoir des caractéristiques similaires à celles de leurs bras à haute tension (par exemple: résistance, condensateur ou élément mixte).

Les diviseurs de chacun des types précédents peuvent présenter des impédances parasites affectant leurs réponses. Ces impédances sont, en général, l'inductance en série et la capacité par rapport à la terre et par rapport aux structures voisines au potentiel de la terre ou à d'autres potentiels.

A 8.1.2 *Shunt*

Un shunt de mesures a usuellement deux paires de bornes. L'une de ces paires sert à mettre le shunt en série avec l'objet essayé, l'autre à transmettre la tension délivrée par le shunt à un appareil de mesure approprié. La réponse d'un shunt doit être essentiellement celle d'une résistance non inductive, c'est-à-dire que la valeur instantanée de la tension transmise à l'appareil de mesure doit être proportionnelle, avec une certaine tolérance, à celle du courant traversant le shunt.

APPENDIX

A 8.1 General definitions

To clarify the text, some general definitions are included below.

A 8.1.1 Voltage divider

A voltage divider consists of two impedances in series, generally unequal, the voltage to be measured being applied between the outer terminals and a measuring instrument being connected between the intermediate terminal and one of the outer terminals. One of these impedances, described as the “high-voltage arm”, generally takes the larger proportion of the voltage. The other, which takes the remainder of the voltage and to which the measuring apparatus is generally connected, is called the “low-voltage arm”.

Dividers are generally classified in the following types:

a) Resistor divider

The high-voltage arm of a resistor divider generally consists of a resistor which is not provided with any shield.

b) Shielded resistor divider

The high-voltage arm of a shielded resistor divider consists of a resistor provided with a shield or shields intended to nullify or reduce the effect of capacitance to objects at earth or other potentials.

c) Capacitor divider

The high-voltage arm of a capacitor divider consists of capacitors.

d) Mixed divider

The high-voltage arm of a mixed divider consists of resistors and capacitors in parallel.

Note. — There are dividers which fall outside this classification.

The low-voltage arm of the dividers should have similar characteristics to the high-voltage arm (for instance resistor, capacitor, or mixed).

Each of the dividers of the above types may have parasitic impedances affecting the response. These impedances are, in general, the series inductance and the capacitance to earth and to neighbouring structures at earth or at other potentials.

A 8.1.2 Shunt

A shunt for measuring purposes has usually two pairs of terminals. One pair is used to insert the shunt in series with the test object and the other pair is used to transfer the voltage developed across the shunt to a suitable measuring instrument. The response of the shunt should essentially be that of a non-inductive resistor, that is the instantaneous value of the voltage on the measuring device, should be proportional, within reasonable tolerances, to the current in the shunt.

A 8.1.3 *Rapport d'impédances, résistance et constante des diviseurs et des shunts*

A 8.1.3.1 *Rapport d'impédances d'un diviseur*

Le rapport d'impédances d'un diviseur est le rapport de l'impédance des deux bras branchés en série à l'impédance du bras à basse tension. Pour déterminer ce rapport, on doit tenir compte de l'impédance du câble et de l'appareil de mesure. Le rapport d'impédances est généralement donné pour la plage de fréquences dans laquelle il est sensiblement indépendant de la fréquence. Pour les diviseurs à résistances le rapport d'impédances est en général obtenu par une mesure en courant continu.

A 8.1.3.2 *Résistance d'un shunt*

La résistance d'un shunt est le quotient de la tension délivrée à ses bornes de tension, au courant circulant entre ses bornes de courant. Pour déterminer sa valeur, on doit tenir compte de la résistance de l'appareil et du câble de mesure. Sa valeur est généralement obtenue par une mesure en courant continu.

A 8.1.3.3 *Constante d'un dispositif*

La constante d'un dispositif est le facteur par lequel on doit multiplier son indication pour obtenir la valeur de la grandeur à mesurer.

A 8.1.4 *Caractéristiques de la réponse*

Un système de mesures peut être considéré comme un système donnant une relation entre une variable d'entrée (indépendante) et une variable de sortie (dépendante).

La relation G entre les variables de sortie et d'entrée est appelée *réponse* du système de mesures. La réponse n'est pas une constante mais une fonction de la variation avec le temps de la variable à mesurer.

Dans ce qui suit, il sera question de la *réponse à l'échelon unité* $G(t)$ et de la *réponse en fonction de la fréquence* $G(f)$ de systèmes de mesures.

Mention est faite également de la possibilité de déduire l'une de l'autre (voir Note Technique 3, page 68).

A 8.1.4.1 *Réponse à l'échelon unité*

La réponse à l'échelon unité $G(t)$ d'un système de mesures est l'expression en fonction du temps de la variable de sortie lorsqu'on applique à l'entrée un échelon unité de tension ou de courant. En principe, cette fonction est à considérer jusqu'à $t = \infty$, mais en pratique son étude est limitée au domaine utile pour chaque cas particulier. En général, la réponse conserve une valeur sensiblement constante sur une grande plage de ce domaine. On exprime généralement la réponse sous une forme réduite, sans dimension, $g(t)$, pour laquelle cette valeur constante est prise égale à l'unité. Les erreurs de mesure dépendent de la forme de la réponse à l'échelon unité.

Les figures 11a à c, page 86, donnent quelques exemples de courbes de réponse à l'échelon unité.

A 8.1.3 *Impedance ratio, resistance and scale factor of dividers and shunts*

A 8.1.3.1 *The impedance ratio of a divider*

The impedance ratio of a divider is the ratio of the impedance of the two arms connected in series to the impedance of the low-voltage arm. In determining the ratio, account should be taken of the impedance of the measuring cable and the instrument. The impedance ratio is usually given for the frequency range within which it is approximately independent of frequency. For resistor dividers the impedance ratio is generally derived from a d.c. measurement.

A 8.1.3.2 *The resistance of a shunt*

The resistance of a shunt is the quotient of the voltage developed across the instrument terminals to the current passing between the current terminals. In determining the value, account should be taken of the resistance of the instrument and the measuring cable. The resistance value is generally derived from a d.c. measurement.

A 8.1.3.3 *The scale factor of a device*

The scale factor of a device is the factor by which the device indication shall be multiplied to obtain the value of the required quantity.

A 8.1.4 *Response characteristics*

A measuring system can be regarded as a system giving a relation between one input variable (independent) and one output variable (dependent).

The relation G between the output and the input variables is called the *response* of the measuring system. The response is not a constant but a function of the time variation of the variable to be measured.

In the following the *unit step response* $G(t)$ and the *frequency response* $G(f)$ of measuring systems are discussed.

Reference is also made to the possibility of deriving one from the other. (See Technical Note 3, page 69).

A 8.1.4.1 *The unit step response*

The unit step response $G(t)$ of a measuring system is the expression as a function of the time of the output variable when a unit step voltage or current is applied to its input. In principle, this function is considered up to $t = \infty$ but in practice its study is restricted to a useful range for each particular case. In general the response has an appreciably constant value over a large part of this range. The response is generally expressed in a normalized non-dimensional form $g(t)$ having this constant value as unity. Errors in measurement depend on the form of the unit step response.

Figures 11 a to c, page 87, show some examples of unit step response curves.

La réponse à l'échelon unité est généralement caractérisée par les paramètres suivants:

T : temps de réponse (voir figure 13a, page 90).

Celui-ci est égal à la somme algébrique des aires comprises entre l'échelon unité et la réponse réduite à l'échelon unité. Cette aire a la dimension d'un temps.

f_r : fréquence de résonance.

Lorsque la réponse atteint la valeur de régime de façon oscillatoire, la fréquence d'oscillation est définie comme étant la fréquence de résonance.

A 8.1.4.2 Réponse en fonction de la fréquence

La réponse en fonction de la fréquence $G(f)$ d'un système de mesures est l'expression en fonction de la fréquence f , de l'amplitude de la variable de sortie lorsqu'on applique à l'entrée une variable alternative sinusoïdale d'amplitude 1 dont on fait varier la fréquence. En principe, on fait varier la fréquence de 0 à ∞ ; en pratique, il suffit de la faire varier dans le domaine utile pour le cas particulier considéré. En général, la réponse conserve une valeur sensiblement constante sur une grande plage de ce domaine; on exprime généralement la réponse sous une forme réduite, sans dimension, $g(f)$, pour laquelle cette valeur constante est prise égale à l'unité.

Les figures 11 d à f (page 86) donnent quelques exemples de courbes de réponse en fonction de la fréquence.

La figure 11 d est la réponse en fonction de la fréquence d'un système dont la réponse à l'échelon unité est celle de la figure 11 a. De même les figures 11 e et 11 f correspondent respectivement aux figures 11 b et 11 c.

A 8.2 Caractéristiques de construction et de réponse des diviseurs à résistances

Pour la mesure des tensions de choc, un diviseur de tension à résistances (voir paragraphe A 8.1.1 a) est un dispositif relativement simple, dont l'ordre de grandeur du temps de réponse peut généralement être calculé par des méthodes simples. Les conditions permettant un calcul relativement précis sont énumérées ci-dessous.

- a) La résistance du diviseur doit être inférieure à 20 000 ohms et de préférence ne pas dépasser 10 000 ohms. Elle ne doit pas être inférieure à 2 000 ohms.
- b) La résistance doit être bobinée de façon pratiquement non inductive.
- c) La distance horizontale entre le diviseur et les structures mises à la terre ou sous tension ne doit pas être inférieure à environ 1,5 fois la hauteur du diviseur. Lorsque celle-ci dépasse 3 m, cette distance peut être limitée à 4,5 m.
- d) Le bras à basse tension doit avoir une réponse bien meilleure que le bras à haute tension.

Moyennant ces conditions, le temps de réponse du bras à haute tension du diviseur est approximativement:

$$T = \frac{RC}{6}$$

The unit step response is generally characterized by the parameters:

T : the response time (see Figure 13a, page 91).

This is equal to the algebraic sum of the areas between the unit function and the normalized unit step response. This area has the dimension of time.

f_r : the resonant frequency.

When the approach to the steady state value is oscillatory, the frequency of oscillation is defined as the resonant frequency.

A 8.1.4.2 The frequency response

The frequency response $G(f)$ of a measuring system is the expression, as a function of the frequency f , of the output amplitude when an alternating sinusoidal variable of amplitude 1, whose frequency is varied, is applied at the input. In principle, the frequency is varied from 0 to ∞ ; in practice it suffices for it to be varied over the useful range for the particular case considered. In general, the response has an appreciably constant value over a large part of this range. The response is generally expressed in a normalized non-dimensional form $g(f)$ having this constant value as unity.

Figures 11d to f (page 87) show examples of frequency response curves.

Figure 11 d is the frequency response of a system having a unit step response as shown in Figure 11 a. Similarly, Figure 11 e corresponds to 11 b and 11 f to 11 c.

A 8.2 Design features and response characteristics of resistor dividers

For impulse measurements, the resistor divider (see Sub-clause A 8.1.1 a) is a relatively simple device, the response time of which generally can be roughly calculated by simple methods. The conditions for a relatively accurate precalculation are listed below.

- a) The resistance of the divider should be less than 20 000 ohms and preferably not larger than 10 000 ohms. The resistance should not be less than 2 000 ohms.
- b) The resistance should be non-inductively wound.
- c) The horizontal distance from the divider to earthed or live structures should not be less than about 1.5 times the height of the divider. When the height of the divider exceeds 3 m, this distance may be limited to 4.5 m.
- d) The low-voltage arm should have a response considerably better than the high-voltage arm.

Under these conditions, the response time of the high-voltage arm of the voltage divider is approximately:

$$T = \frac{RC}{6}$$

où l'on désigne par:

T : le temps de réponse en microsecondes,

R : la résistance totale du diviseur exprimée en ohms,

C : la capacité totale du diviseur par rapport à la terre, exprimée en microfarads (cette capacité peut être mesurée au moyen d'un pont courant de mesure de capacités).

La capacité C , en microfarads, assimilée à la capacité d'un conducteur vertical de longueur l , en mètres, et de rayon r , en mètres, peut être déterminée par:

$$C = \frac{111 \, l \cdot 10^{-6}}{(2 \log_e l/r - 1,1)}$$

si l'extrémité inférieure du conducteur est au niveau du sol.

Note. — La détermination du temps de réponse par le calcul précédent néglige un certain nombre de facteurs tels que l'inductance des connexions reliant le diviseur à l'objet en essai, l'inductance propre du diviseur, etc. Elle suppose également la réponse du bras à basse tension bien meilleure que celle du bras à haute tension. Aussi cette détermination théorique du temps de réponse ne peut-elle remplacer une vérification expérimentale que dans les cas où le temps de réponse n'est pas critique, tels que la mesure de tensions de choc normales ou de tensions de choc plus longues.

Il peut parfois être souhaitable de construire des diviseurs à résistances qui ne remplissent pas les conditions précédentes. De tels diviseurs sont également acceptables pourvu qu'ils aient subi la procédure d'approbation de l'article 8.2 et qu'ils satisfassent aux prescriptions du paragraphe 8.6.1.

A 8.3 Caractéristiques de construction et de réponse des shunts tubulaires

Les figures 12 *a* à *c* (page 88) donnent quelques exemples de shunts tubulaires pour la mesure de courants de choc. La résistance tubulaire doit être faite en un matériau non magnétique; elle peut être composée d'un seul ou de plusieurs tubes. Le temps de réponse d'un shunt tubulaire est approximativement égal à:

$$T \simeq 0,2 \frac{d^2}{\rho}$$

où l'on désigne par:

T : le temps de réponse en microsecondes,

d : l'épaisseur du tube résistant en mètres,

ρ : la résistivité du tube résistant en ohms-mètres.

Si le temps de réponse du shunt déterminé par cette relation est trouvé suffisamment faible, il n'est généralement pas nécessaire de le déterminer expérimentalement conformément au paragraphe 8.2.1 *e*.

A 8.4 Échauffement des résistances de mesure

Il est admis que, dans les conditions normales d'emploi, les résistances des diviseurs de tension et les shunts de mesures aient à dissiper des énergies considérables en une durée tellement courte que les conditions d'échauffement du matériau résistant soient pratiquement adiabatiques. Dans ces conditions, l'échauffement peut être calculé de la façon suivante:

$$\Delta t = \frac{W}{M \sigma}$$

with:

T : the response time in microseconds,

R : the total divider resistance in ohms,

C : the total divider capacitance to earth in microfarads. (This capacitance can be measured by a conventional capacitance measuring bridge.)

The capacitance C in microfarads can be determined as the capacitance of a vertical conductor of length $l(\text{m})$ and radius $r(\text{m})$ as:

$$C = \frac{111 \, l \cdot 10^{-6}}{(2 \log_e l/r - 1.1)}$$

if the bottom of the conductor is at ground level.

Note. — The above calculation of the response time neglects a number of factors such as the inductance of the leads connecting the divider to the test object, the inductance of the divider itself, etc. It also assumes that the response of the low-voltage arm is considerably better than the high-voltage arm. This theoretical determination of the response time may therefore replace an experimental check only in cases where the response time is not critical such as during measurement of standard impulses or longer impulses.

It may sometimes be found desirable to construct resistor dividers which do not comply with the conditions above. Such dividers are also acceptable provided that they have passed the approval procedure in Clause 8.2 and fulfil the requirements in Sub-clause 8.6.1.

A 8.3 The construction and response characteristics of tubular shunts

Figures 12 *a* to *c* (page 89) show some examples of tubular shunts for impulse current measurements. The tubular resistance should be made of non-magnetic material and can be arranged in the form of a single or multiple tube. A tubular shunt has approximately the response time:

$$T \approx 0.2 \frac{d^2}{\rho}$$

with:

T : the response time in microseconds,

d : the wall thickness of resistance tube in metres,

ρ : the specific resistance of resistance tube in ohm metres.

If the response time of the shunt determined by this relation is found to be sufficiently low, there is generally no need for it to be determined experimentally according to Sub-clause 8.2.1 *e*.

A 8.4 Temperature rise of measuring resistors

It is recognized that, under normal operating conditions, voltage divider resistors and measuring shunts must dissipate considerable amounts of energy in a time so short that the heating conditions of the resistor material would be virtually adiabatic. Under these circumstances, temperature rise may be calculated as follows:

$$\Delta t = \frac{W}{M \sigma}$$

où l'on désigne par :

Δt : l'échauffement en degrés Celsius,

W : l'énergie dissipée dans la résistance ou dans le shunt, exprimée en joules,

M : la masse du matériau résistant en kilogrammes,

σ : la chaleur spécifique du matériau résistant en joules par degré Celsius et par kilogramme.

Dans l'éventualité d'un défaut de tenue d'un objet soumis à des essais en courant de choc, l'énergie emmagasinée dans le générateur de chocs sera principalement dissipée dans le shunt. Il est conseillé que les caractéristiques du shunt soient telles que dans ce cas l'échauffement ne dépasse pas 200°C.

Pour l'échauffement progressif résultant de la répétition des applications de la tension, la valeur admissible dépend du coefficient de température du matériau résistant et de la classe de température du matériau isolant utilisé.

NOTE TECHNIQUE 1

Détermination expérimentale de la réponse

a) Méthode de comparaison

L'une des façons de déterminer si la réponse d'un dispositif de mesures convient pour la mesure d'une variable donnée est de comparer cette réponse à celle d'un dispositif de mesures indépendant, dont on sait les caractéristiques de réponse satisfaisantes. Si cette comparaison est faite avec des chocs de différentes formes, on peut en tirer des conclusions sur la gamme de formes à laquelle convient le dispositif.

b) Réponse à l'échelon unité

Tension

Une tension de forme voisine de celle de l'échelon unité doit être appliquée entre les bornes d'entrée du dispositif de mesures. La réponse est enregistrée par un oscillographe branché aux bornes de sortie.

La tension d'entrée doit avoir un front plus court et une durée plus grande que le choc à mesurer. Des impulsions convenant à cet usage peuvent être obtenues par l'emploi de relais à contacts mouillés de mercure avec une source à courant continu, ou par la chute de tension résultant de la coupure d'une tension de choc pleine. Si l'on utilise pour la coupure un éclateur à champ uniforme dans un gaz comprimé, la raideur de la chute de tension est très grande. Avec des éclateurs à sphères normalisés à l'air libre la raideur de la chute de tension est moindre.

Courant

Un courant de forme voisine de celle d'un échelon unité doit circuler entre les bornes d'entrée du dispositif de mesures. La réponse est enregistrée par un oscillographe branché aux bornes de sortie.

c) Réponse en fonction de la fréquence

Une tension sinusoïdale doit être appliquée aux bornes d'entrée du dispositif de mesures, ou un courant sinusoïdal doit circuler entre elles; l'amplitude de la variable de sortie doit être relevée en fonction de la fréquence de la variable d'entrée. La gamme de fréquences doit s'étendre d'une faible valeur jusqu'au moins à la fréquence la plus élevée qui soit d'importance pour la tension ou le courant à mesurer.

La mesure peut, si on le désire, être faite à une faible valeur de la tension ou du courant d'entrée.

with:

Δt : the temperature rise in degrees Celsius,

W : the energy dissipated in resistor or shunt expressed in joules,

M : the mass of resistance material in kilogrammes,

σ : the specific heat of resistance material in joules per degree Celsius and kilogramme.

In the event of failure of a test object undergoing impulse current tests, the stored energy of the impulse generator will be dissipated mainly in the shunt. It is suggested that the characteristics of the shunt should be such that under this condition the temperature rise does not exceed 200°C.

For the progressive temperature rise associated with repeated voltage applications, the permissible rise depends on the temperature coefficient of the resistor material and the temperature class of the insulating material employed.

TECHNICAL NOTE 1

Experimental determination of the response

a) Comparative method

One way of determining whether the response of a measuring device is suitable for the measurement of a given variable is to compare the response with that of an independent measuring device, the response characteristics of which are known to be satisfactory. If the comparison is made with impulses of different shapes, conclusions can be drawn concerning the range of shapes for which the device is suitable.

b) The unit step response

Voltage

A voltage the form of which approximates to a unit step function should be applied between the input terminals of the measuring device. The response is recorded by an oscillograph connected to the output terminals.

The input voltage should have a shorter front and a longer duration than the impulse to be measured. Suitable impulses for the purpose can be obtained by the use of relays with mercury wetted contacts and a d.c. source, or by the collapse of voltage produced by chopping a full impulse. If a uniform field gap in compressed gas is used for chopping, the rate of collapse of voltage is very rapid. With standard sphere-gaps in air at atmospheric pressure the rate of collapse is less.

Current

A current, the form of which approximates to a unit step function, should be passed between the input terminals of the measuring device. The response is recorded by an oscillograph connected to the output terminals.

c) The frequency response

A sinusoidal voltage should be applied to, or a sinusoidal current passed between, the input terminals of the measuring device, the amplitude of output is recorded as a function of input frequency. The range of frequencies should extend from a low value to at least the highest of importance present in the voltage or current to be measured.

The measurements may, if desired, be made at a low value of input voltage or current.

NOTE TECHNIQUE 2

Corrélation entre la réponse à l'échelon unité et les erreurs de mesure

a) Tension de choc à croissance linéaire coupée au temps T_c .

Lorsqu'une tension de choc à croissance linéaire est coupée, on peut distinguer deux sortes d'erreurs:

- 1) l'erreur à l'instant de la coupure
- 2) l'erreur due à un dépassement possible de la tension enregistrée survenant après la coupure.

a.1) Erreur à l'instant de la coupure.

Supposons que la réponse à l'échelon unité d'un système soit $g(t)$, sous la forme réduite sans dimension, comme indiqué sur la figure 13 a, (page 90). La réponse de ce système à une tension à croissance linéaire de raideur S , $U = St$, est alors:

$$S \int_0^t g(\tau) d\tau \quad (1)$$

Si la tension de choc est coupée après un temps T_c , l'erreur relative en amplitude δ sur la tension enregistrée à cet instant sera donnée par:

$$\delta = \frac{ST_c - S \int_0^{T_c} g(\tau) d\tau}{ST_c} = \frac{\int_0^{T_c} [1-g(\tau)] d\tau}{T_c} \quad (2)$$

La figure 13 a met en évidence que

$$\int_0^{\infty} [1-g(\tau)] d\tau$$

est égal à l'aire algébrique $T = T_1 - T_2 + T_3$, etc. Il résulte donc de l'équation 1 et de la figure 13 a que:

$$\delta = \frac{T}{T_c}$$

en désignant par:

δ : l'erreur relative,

T : le temps de réponse,

T_c : la durée jusqu'à la coupure.

Ceci est indiqué à la figure 13 b (page 90) pour un système de mesures dont la réponse à l'échelon unité est donnée par $g(t)$ à la figure 13 a. La figure 13 b montre que la tension enregistrée est non seulement sujette à une erreur en amplitude, mais aussi à une erreur en durée, en raison du décalage dans le temps. Ces deux erreurs ont la même valeur relative.

- a.2) Le dépassement fait croître la tension mesurée après la coupure. L'effet de cet accroissement peut être négligé dans beaucoup de cas pratiques, tout au moins si l'on ne désire qu'une évaluation grossière.

TECHNICAL NOTE 2

Correlation between the unit step response and measuring errors

a) Impulse rising linearly with chopping at time T_c .

When an impulse rising linearly is chopped, two kinds of measuring errors can be distinguished:

- 1) The error at the moment of chopping
- 2) The error due to a possible overshoot of the recorded voltage after the chop.

a.1) The error at the moment of chopping.

Suppose the unit step response of a system to be $g(t)$ in normalized non-dimensional units as indicated in Figure 13 a (page 91). Then the response of this system to an impulse rising linearly $U = St$ (S is the steepness) is:

$$S \int_0^t g(\tau) d\tau \quad (1)$$

If the impulse is chopped after a time T_c the fractional amplitude error δ of the recorded voltage at this instant will be given by:

$$\delta = \frac{ST_c - S \int_0^{T_c} g(\tau) d\tau}{ST_c} = \frac{\int_0^{T_c} [1-g(\tau)] d\tau}{T_c} \quad (2)$$

From Figure 13 a it is evident that

$$\int_0^{\infty} [1-g(\tau)] d\tau$$

is equal to the algebraic area $T = T_1 - T_2 + T_3$, etc. Hence it follows from equation 1 and Figure 13 a:

$$\delta = \frac{T}{T_c}$$

with

δ : the fractional error,

T : the response time,

T_c : the time to chopping.

This is illustrated in Figure 13 b (page 91) for a measuring system for which the unit step response is given by $g(t)$ in Figure 13 a. Figure 13 b shows that the recorded impulse is subjected not only to an amplitude error but due to the time shift also to a time error. Both fractional errors have the same magnitude.

a.2) The overshoot increases the measured voltage after the chopping. The influence of this increase can be neglected in many practical cases, at least if only a rough estimation is desired.

b) Tensions de choc de formes différentes.

Pour les estimations relatives à la mesure d'autres tensions de choc, on se reportera aux ouvrages techniques.

NOTE TECHNIQUE 3

Temps de réponse calculé à partir de la courbe de réponse en fonction de la fréquence

Il est exposé ci-dessous une méthode simple mais approximative de calcul du temps de réponse à partir de la courbe de réponse en fonction de la fréquence. Cette méthode est rigoureuse pour un réseau «à déphasage minimal». Dans la majorité des cas, les dispositifs de mesures constituent approximativement un tel réseau et cette méthode leur est applicable. La méthode est illustrée à la figure 14, (page 90) où :

$$y = \log_e g(t_c)$$

Les notations utilisées sont :

t_c : la durée d'une période complète d'oscillation ($t_c = \frac{1}{f}$, où f est la fréquence de la variable),

$g(t_c)$: la réponse du circuit sous forme réduite, sans dimension,

$\log_e g(t_c)$: le logarithme naturel de la réponse en fonction de la fréquence.

Le temps de réponse T est donné par :

$$T = \frac{T_f}{\pi^2}$$

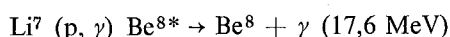
où T_f est l'aire algébrique comprise entre l'axe des abscisses et le logarithme de la réponse réduite en fonction de la fréquence.

Toutefois, cette méthode ne donne pas de renseignement sur le temps nécessaire à la réponse pour atteindre sa valeur de régime.

NOTE TECHNIQUE 4

Mesures de tension utilisant des réactions nucléaires

Dans les interactions de faisceaux de protons ou de deutons avec différents noyaux légers, il existe des énergies de résonance pour lesquelles la section efficace de la réaction nucléaire est maximale. Par exemple, la réaction



possède un maximum accusé pour des protons de 441 keV. Pour des énergies supérieures, il existe toute une série de maximums avec de faibles largeurs à mi-valeur pour différents noyaux légers, qui peuvent tous être déterminés avec une grande précision.

b) Impulses of other shapes.

For estimation of measuring errors when measuring other impulses reference is made to the literature.

TECHNICAL NOTE 3

Response time calculated from frequency response curve

Below is shown a simple but approximate method for the calculation of the response time from the frequency response curve. The method is exact for a "minimum phase" network. In the majority of cases the measuring devices approximate to such a network and this method is applicable. The method is illustrated in Figure 14 (page 91) where:

$$y = \log_e g(t_c)$$

Here the following symbols apply:

t_c : the time period of the oscillation ($t_c = \frac{1}{f}$, f is the frequency of the variable),

$g(t_c)$: the response of the circuit in normalized non-dimensional units,

$\log_e g(t_c)$: the natural logarithm of the frequency response.

The response time T is calculated from

$$T = \frac{T_f}{\pi^2}$$

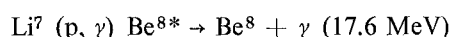
where T_f is the algebraic area between the zero line and the normalized logarithmic frequency response.

The method, however, gives no information about the time for the response to reach its steady state value.

TECHNICAL NOTE 4

Voltage measurements making use of nuclear reactions

During reactions between proton or deuteron beams with different light nuclei elements, resonant energies exist for which the cross-section for a reaction is a maximum. For instance, the reaction



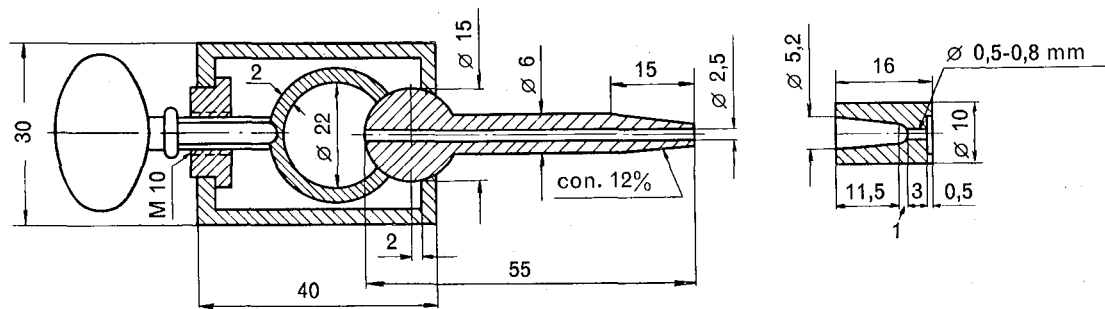
possesses a marked maximum for 441 keV protons. For higher energies there are in other light nuclei a whole series of maxima with small half-widths which can all be determined with great accuracy.

Ce phénomène permet l'étalonnage en tension continue de tout appareil de mesure. Pour procéder à cet étalonnage, un faisceau de protons ou de deutons est accéléré dans un générateur de Cockcroft-Walton (générateur de tension continue associé à un tube accélérateur) jusqu'à une énergie voisine d'une valeur de résonance. L'appareil à étalonner est alors branché aux bornes du tube accélérateur de sorte qu'il n'y ait aucune chute de tension entre eux. La réaction nucléaire est amorcée par l'introduction d'une cible dans le trajet des particules accélérées. La mesure de l'intensité du rayonnement γ ou des particules libérées en faisant varier la tension du tube accélérateur permet de déterminer la courbe de résonance. Le maximum peut alors être déterminé par les valeurs de résonance avec une erreur ne dépassant pas $\pm 3.10^{-4}$. Si l'on utilise une source d'ions convenable, l'énergie des particules du faisceau est équivalente à la tension continue appliquée. Il est très important pour la précision de la mesure d'utiliser une tension continue ayant une très faible ondulation (voir par exemple Review of Modern Physics, 1948, vol. 20, N° 1, pp. 236-277 et Review of Modern Physics, 1955, vol. 27, N° 1, pp. 77-166).

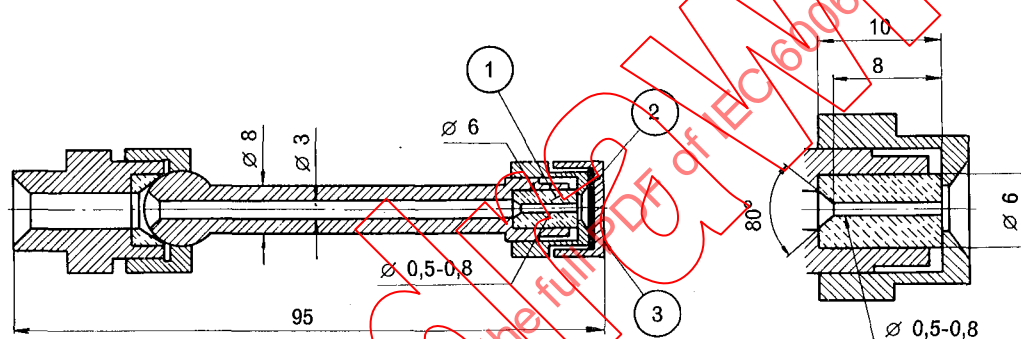
Withdrawing
IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60060:1962

This effect enables any measuring instrument to be calibrated for high direct voltages. To do this, a beam of protons or deuterons is accelerated in a Cockcroft-Walton generator (direct voltage generator combined with an accelerator tube) to an energy near to a resonant point. The apparatus to be calibrated is then connected to the accelerator tube so that there is no voltage drop between them. The nuclear reaction is started by introducing a target in the path of the accelerated particles. The measurement of the intensity of the γ rays or of the liberated particles by varying the voltage of the accelerator tube enables the resonance curve to be determined. The maximum can then be determined by means of the resonance values with an error of not more than $\pm 3.10^{-4}$. If an adequate ion source is employed, the energy of the particles in the beam is equivalent to the direct voltage applied. It is very important for the accuracy of the measurement for a direct voltage with very little ripple to be used. (See for example Review of Modern Physics, 1948, Vol. 20, No. 1, pp. 236–277 and Review of Modern Physics, 1955, Vol. 27, No. 1, pp. 77–166).

Withdawn
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60060:1962



a



b

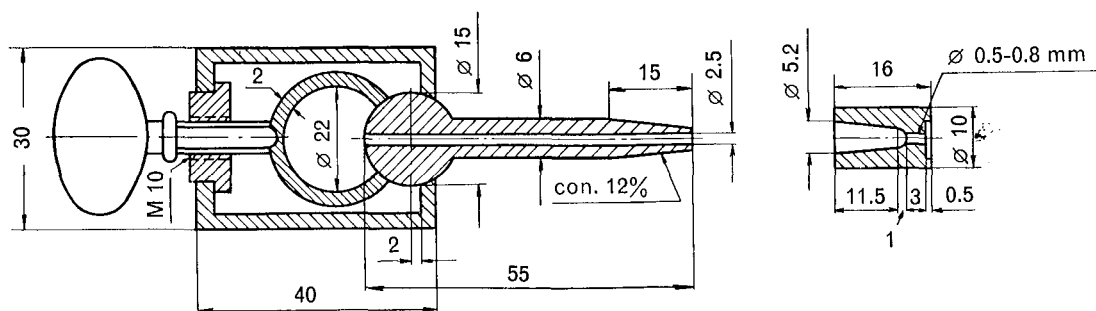
- 1) Embouchure en matière plastique pour réduire le risque d'obturation par des salissures.
- 2) Caoutchouc.
- 3) Couvercle pour arrêter le jet.

Note. — La longueur du jet d'eau dépend du diamètre du conduit capillaire et de la pression d'eau. Des valeurs pratiques sont données dans le tableau suivant à titre d'indication :

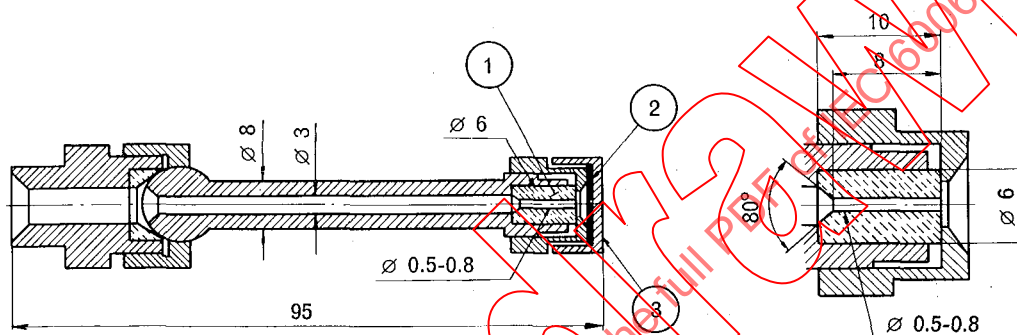
Diamètre du conduit capillaire mm	Pression d'eau au-dessus d'une atmosphère kp/cm ²	Longueur du jet m	Tension d'essai maximale approximative (kV val. eff.)
0,5	1	4	650
0,5	2	5	800
0,5	3	6	950
0,8	4	7	1 100

La pression d'eau doit être mesurée au niveau du branchement des gicleurs.

FIG. 1. — Exemples de gicleurs utilisés en Europe.



a



b

- 1) Mouthpiece of plastic to reduce the risk of blocking by dirt.
- 2) Rubber.
- 3) Cover to block water.

Note. — The length of the jet of water depends on the diameter of the capillary and the water pressure. Practical values for guidance are indicated in the following table:

Diameter of the capillary mm	Water pressure above atmosphere kp/cm ²	Length of water jet m	Approximate maximum testing voltage kV (r. m. s.)
0.5	1	4	650
0.5	2	5	800
0.5	3	6	950
0.8	4	7	1 100

The water pressure has to be measured in front of the branch connections to the nozzles.

FIG. 1. — Examples of nozzles used in Europe.