

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60527

Première édition
First edition
1975-01

**Amplificateurs pour courant continu;
caractéristiques et méthodes d'essais**

**Direct current amplifiers;
characteristics and test methods**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60527: 1975

Numéros des publications

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

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

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

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

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

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

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60527

Première édition
First edition
1975-01

**Amplificateurs pour courant continu;
caractéristiques et méthodes d'essais**

**Direct current amplifiers;
characteristics and test methods**

© IEC 1975 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	6
PRÉFACE	6

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

Articles

1. Domaine d'application	8
2. Objet	8
3. Principes de base	8
4. Terminologie	8
4.1 Appareils	10
4.2 Caractéristiques générales	12
4.3 Erreurs	12
4.4 Qualités de fonctionnement	14
4.5 Caractéristiques dynamiques	16
4.6 Conditions d'essais et d'utilisation	16
5. Conditions de référence et conditions nominales de fonctionnement	18
6. Réglages préalables	18

SECTION DEUX — CARACTÉRISTIQUES ET MÉTHODES D'ESSAIS

7. Principes généraux des méthodes proposées	20
8. Etendue de mesure	22
9. Constantes théoriques	22
9.1 Lecture de l'appareil indicateur	22
9.2 Mesure en sortie directe	24
10. Impédances d'entrée et de charge	24
10.1 Résistance d'isolement	24
10.2 Résistance d'entrée	26
10.3 Capacité d'entrée	26
10.4 Impédance de charge	26
10.5 Capacité de charge	26
10.6 Résistance de sortie	28
11. Expression des erreurs	28
11.1 Lecture de l'appareil indicateur	28
11.2 Mesure en sortie directe	28
11.3 Présentation des résultats	30
12. Interprétation des résultats	30
12.1 Amplificateurs linéaires	30
12.2 Amplificateurs logarithmiques	32
12.3 Amplificateurs linéaires ou logarithmiques — Mesure en sortie directe — Erreurs statique et dynamique	32
13. Erreur de justesse	32
14. Erreur de répétabilité	34
15. Incertitude	34
16. Erreurs de linéarité	34
16.1 Erreur de linéarité intégrale	34
16.2 Erreur de linéarité différentielle	38
16.3 Saturation	38
16.4 Concordance entre calibres (appareils multicalibres)	38
17. Caractéristiques de transfert	38
17.1 Gain	38
17.2 Facteur de conversion	40
18. Temps de réponse, temps d'établissement et temps de récupération	42
18.1 Cas général et temps relativement brefs	44
18.2 Temps relativement longs	44
18.3 Utilisation d'une source radioactive	46
18.4 Influence des capacités à l'entrée de l'appareil	48
18.5 Influence des capacités à la sortie de l'appareil	48
18.6 Bande passante à 3 dB	48
18.7 Vitesse de balayage	48
18.8 Temps de récupération	50
19. Erreur de stabilité	50

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
PREFACE	7

SECTION ONE — GENERAL

Clause

1. Scope	9
2. Object	9
3. Basic principles	9
4. Terminology	9
4.1 Apparatus	11
4.2 General characteristics	13
4.3 Errors	13
4.4 Performance qualities	15
4.5 Dynamic characteristics	17
4.6 Test and use conditions	17
5. Reference conditions and rated operating conditions	19
6. Preliminary settings	19

SECTION TWO — CHARACTERISTICS AND TEST METHODS

7. General principles of the proposed methods	21
8. Effective range	23
9. Theoretical constants	23
9.1 Indicating-instrument reading	23
9.2 Direct output measurement	25
10. Input and load impedance	25
10.1 Insulation resistance	25
10.2 Input resistance	27
10.3 Input capacitance	27
10.4 Load impedance	27
10.5 Load capacitance	27
10.6 Output resistance	29
11. Description of errors	29
11.1 Indicating-instrument reading	29
11.2 Direct output measurement	29
11.3 Presentation of results	31
12. Interpretation of results	31
12.1 Linear amplifiers	31
12.2 Logarithmic amplifiers	33
12.3 Linear or logarithmic amplifiers—Direct output measurement—Static and dynamic errors	33
13. Total systematic error	33
14. Repeatability error	35
15. Uncertainty	35
16. Linearity errors	35
16.1 Integral linearity error	35
16.2 Differential linearity error	39
16.3 Saturation	39
16.4 Agreement between ranges (multi-range instruments)	39
17. Transfer characteristics	39
17.1 Gain	39
17.2 Conversion factor	41
18. Response time, settling time and restoration time	43
18.1 General case and comparatively short times	45
18.2 Comparatively long times	45
18.3 Use of a radioactive source	47
18.4 Influence of input capacitance	49
18.5 Influence of output capacitance	49
18.6 3 dB bandwidth	49
18.7 Slew-rate	49
18.8 Restoration time	51
19. Stability error	51

	Pages
20. Fluctuations de l'indication de sortie	52
21. Variations en fonction de la tension d'alimentation	54
21.1 Alimentation directe par le réseau alternatif	54
21.2 Alimentation par une source de courant continue non stabilisée	56
21.3 Alimentation par une alimentation stabilisée	56
21.4 Tensions limites de fonctionnement	56
22. Variations en fonction de la température	56
23. Variations en fonction de la charge	58
24. Sensibilité aux parasites	60
25. Production de parasites	62
26. Essais climatiques et mécaniques	62
27. Fiabilité	62
28. Essai qualitatif	64
29. Fonctions annexes	64
ANNEXE A — Exemples de courbes $\frac{\Delta I}{I} = f(\Delta U)$	66

Withdrawing
 IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60527:1975

	Page
20. Output indication fluctuations	53
21. Variations as a function of supply voltage	55
21.1 Direct supply from alternating mains	55
21.2 Non-stabilized d.c. source supply	57
21.3 Stabilized voltage supply	57
21.4 Limit operating voltages	57
22. Variations as a function of temperature	57
23. Variations as a function of load	59
24. Electromagnetic noise susceptibility	61
25. Electromagnetic noise production	63
26. Environmental testing procedures	63
27. Reliability	63
28. Qualitative test	65
29. Associated functions	65
APPENDIX A — Typical curves $\frac{\Delta I}{I} = f(\Delta U)$	66

Withdrawing
IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60527:1975

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**AMPLIFICATEURS POUR COURANT CONTINU;
CARACTÉRISTIQUES ET MÉTHODES D'ESSAIS**

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

La présente publication a été établie par le Comité d'Etudes N° 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Le premier projet fut préparé en 1971 puis discuté lors de la réunion tenue à Londres en 1972. A la suite de cette réunion, le projet, document 45(Bureau Central)87, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle de Six Mois en août 1974.

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

Afrique du Sud (République d')
Allemagne
Belgique
Danemark
Etats-Unis d'Amérique
Finlande
France
Israël
Italie

Japon
Pays-Bas
Pologne
Suède
Suisse
Turquie
Union des Républiques
Socialistes Soviétiques
Yougoslavie

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**DIRECT CURRENT AMPLIFIERS;
CHARACTERISTICS AND TEST METHODS**

FOREWORD

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

PREFACE

This publication has been prepared by IEC Technical Committee No. 45, Nuclear Instrumentation.

A first draft was prepared in 1971, then discussed during the meeting held in London in 1972. As a result of this meeting, the draft, Document 45(Central Office)87, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in August 1974.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Belgium
Denmark
Finland
France
Germany
Israel
Italy
Japan
Netherlands

Poland
South Africa (Republic of)
Sweden
Switzerland
Turkey
Union of Soviet
Socialist Republics
United States of America
Yugoslavia

AMPLIFICATEURS POUR COURANT CONTINU; CARACTÉRISTIQUES ET MÉTHODES D'ESSAIS

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application

La présente norme s'applique aux amplificateurs pour courant continu utilisés dans le domaine de l'instrumentation nucléaire pour la mesure des courants faibles, de l'ordre de 10^{-6} A à 10^{-14} A par exemple, fournis par des sources à très haute impédance telles que les chambres d'ionisation.

2. Objet

- Fixer la terminologie des caractéristiques qui permettent l'expression des qualités de fonctionnement des amplificateurs pour courant continu.
- Fixer les méthodes d'essais recommandées pour la mesure et la vérification de ces caractéristiques.

La présente norme n'implique pas l'obligation d'effectuer tous les essais décrits ci-après. Elle implique seulement, si de tels essais sont effectués, qu'ils doivent être exécutés conformément aux méthodes indiquées.

On a estimé que le domaine d'application devait être le plus général possible, si bien que l'on ne trouvera dans la présente norme ni listes d'essais de qualification, de type, ou de réception, ni valeurs numériques recommandées pour les différentes caractéristiques. Des spécifications particulières devront la compléter sur ces points, en fonction des domaines d'application particuliers (instrumentation des réacteurs, radioprotection, laboratoire de mesure, etc.).

3. Principe de base

Cette norme devant permettre de comparer entre eux aussi bien deux amplificateurs pour courant continu du même type que deux amplificateurs de types différents, on a été amené à poser les principes de base développés ci-dessous.

3.1 L'amplificateur pour courant continu est considéré comme un amplificateur opérationnel caractérisé notamment par sa grandeur de sortie. Il peut actionner des équipements raccordés en aval.

3.2 En pratique, l'appareil est contenu soit dans un boîtier unique, soit dans deux boîtiers séparés réunis par un câble, le boîtier le plus proche du détecteur étant appelé généralement dans ce cas « préamplificateur ». Cette norme s'applique aux deux cas, l'entrée de l'appareil étant constituée, dans le deuxième cas, par l'entrée du « préamplificateur ».

3.3 Il est admis que l'appareil indicateur éventuel a été étalonné, par ailleurs, selon des méthodes décrites dans d'autres publications de la CEI, telles que la Publication 51 de la CEI: Recommandations pour les appareils de mesure électriques indicateurs à action directe et leurs accessoires.

4. Terminologie

Les définitions suivantes s'appliquent dans le cadre de la présente norme.

Leur provenance est indiquée comme suit:

OIML = Vocabulaire de Métrologie légale (mars 1969).

P 359 = Publication 359 de la CEI: Expression des qualités de fonctionnement des équipements de mesure électroniques.

DIRECT CURRENT AMPLIFIERS; CHARACTERISTICS AND TEST METHODS

SECTION ONE — GENERAL

1. Scope

This standard applies to direct current amplifiers used in nuclear instrumentation to measure very light currents, ranging from about 10^{-6} A to 10^{-14} A, as produced for instance by very high impedance sources such as ionization chambers.

2. Object

- To define the characteristic terms used for expressing the functional performance of d.c. amplifiers.
- To define the test methods recommended for measuring and verifying such characteristics.

This standard is not intended to imply that all the tests described herein are mandatory, but only that such tests as are carried out shall be performed in accordance with the procedures given herein.

It was deemed that the scope should be as general as possible, and therefore this standard does not distinguish between prototype, type or acceptance tests, nor give numerical values for the various characteristics specified. On these points, it will be necessary to complete the specification, according to the specific applications (e.g. reactor instrumentation, health physics, measurement laboratory).

3. Basic principles

As this standard is intended to allow the comparison between two d.c. amplifiers of the same type as well as between two d.c. amplifiers of different types, it has been necessary to lay down the following basic principles.

3.1 A d.c. amplifier is considered as an operational amplifier characterized mainly by its output quantity. It may actuate equipment connected at its output.

3.2 In practice, the instrument is contained in one case or in two cases which are connected by a cable, with the case nearest the detector containing the "preamplifier". This standard applies to both instances; the instrument input in the second instance constitutes the preamplifier input.

3.3 The contingent-indicating instrument is assumed to have been calibrated in accordance with methods described in other IEC publications, such as IEC Publication 51, Recommendations for Direct Acting Indicating Electrical Measuring Instruments and Their Accessories.

4. Terminology

The following definitions apply for the purposes of this standard.

Their source is indicated as follows:

OIML = Legal Metrology Vocabulary (March 1969).

P 359 = IEC Publication 359, Expression of the Functional Performance of Electronic Measuring Equipment.

V.E.I. 391 = Chapitre 391 du Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.): Détection et mesure par voie électrique des rayonnements ionisants.

CE 66 = Documents du Comité d'Etudes N° 66 de la CEI.

Pour les autres sources de définitions, la référence complète du document est indiquée.

Dans certains cas, le texte d'origine a été simplifié ou adapté pour le rendre plus directement applicable aux appareils qui font l'objet de la présente norme, mais la signification originale a toujours été respectée. Lorsque le changement est appréciable, le repère du texte d'origine est précédé de la mention « d'après ».

4.1 Appareils

4.1.1 Préamplificateur

Amplificateur électronique destiné à être placé à la sortie du détecteur de rayonnement avant transmission à l'amplificateur principal (par exemple pour adapter les caractéristiques de sortie du détecteur à celles de l'entrée de l'amplificateur principal) (V.E.I. 391).

4.1.2 Amplificateur pour courant continu

Amplificateur électronique destiné à fournir, dans les limites de ses caractéristiques normales de fonctionnement, une grandeur de sortie qui représente l'évolution du courant (de la tension) d'entrée, même quand la fréquence de ce courant (de cette tension) tend vers zéro (V.E.I. 391).

4.1.3 Amplificateur linéaire pour courant continu

Amplificateur pour courant continu dont la grandeur de sortie est une fonction linéaire de la grandeur d'entrée (V.E.I. 391).

4.1.4 Amplificateur logarithmique pour courant continu

Amplificateur pour courant continu dont la grandeur de sortie est une fonction logarithmique de la grandeur d'entrée (V.E.I. 391).

L'étage d'entrée des amplificateurs pour courant continu peut comprendre:

- a) un tube électromètre;
- b) un transistor à haute impédance d'entrée tel qu'un transistor à effet de champ;
- c) un dispositif particulier tel qu'un hacheur ou un condensateur vibrant.

4.1.4.1 Tube électromètre

Tube électronique à très grande résistance d'entrée, généralement utilisé pour déterminer, par l'intermédiaire d'une mesure de tension, la valeur de courants très faibles provenant de sources à grande résistance interne.

4.1.4.2 Transistor unipolaire

Transistor qui utilise les porteurs majoritaires (exemple: transistor à effet de champ).

4.1.4.3 Transistor à effet de champ

Transistor unipolaire dans lequel le courant circulant dans un canal conducteur est contrôlé par un champ électrique dû à une tension appliquée entre les bornes de grille et de source.

4.1.4.4 Transistor bipolaire

Transistor dans lequel le courant circulant dans le collecteur de sortie est directement lié à son courant de base de sortie par un facteur d'amplification communément nommé β ou h_{FE} .

4.1.4.5 Transistor bipolaire à jonction

Transistor bipolaire possédant une région de base et deux jonctions ou plus.

Note. — Son fonctionnement dépend de l'injection de porteurs minoritaires dans la région de base.

I.E.V. 391 = Chapter 391 of the International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), Detection and Measurement of Ionizing Radiation by Electric Means.

TC 66 = Documents from IEC Technical Committee No. 66.

Other sources are indicated by the complete reference of the document.

In some cases the original text has been simplified or adapted to be more directly applicable to the instruments within the scope of this standard, but the original meaning has been always respected. When the alteration is appreciable, the reference to the original text is preceded by the word "from".

4.1 *Apparatus*

4.1.1 *Preamplifier*

An electronic amplifier designed to be connected to the radiation detector output prior to transmission to the main amplifier (for instance to transform the output characteristics of the detector to match the input of the main amplifier) (I.E.V. 391).

4.1.2 *D.C. amplifier*

An electronic amplifier designed to provide, within the limits of its normal operating characteristics, an output quantity which represents the input current (voltage) even when the frequency of this current (voltage) approaches zero (I.E.V. 391).

4.1.3 *Linear d.c. amplifier*

A d.c. amplifier the output quantity of which is a linear function of the input quantity (I.E.V. 391).

4.1.4 *Logarithmic d.c. amplifier*

A d.c. amplifier the output quantity of which is a logarithmic function of the input quantity (I.E.V. 391).

The input stage of a d.c. amplifier may include:

- a) an electrometer tube;
- b) a high input impedance transistor such as a field-effect transistor;
- c) a special device such as a chopper or a vibrating capacitor.

4.1.4.1 *Electrometer tube*

Electron tube or valve with a high input resistance, generally used to determine by means of either a voltage or a current measurement the value of very small currents from sources of high internal resistance.

4.1.4.2 *Unipolar transistor*

A transistor which utilizes majority carriers (e.g. field-effect transistor).

4.1.4.3 *Field-effect transistor*

A unipolar transistor in which the current flowing through a conduction channel is controlled by an electric field arising from a voltage applied between the gate and source terminals.

4.1.4.4 *Bipolar transistor*

A transistor in which the current flowing in the input collection is directly related to its input base current by an amplification factor commonly termed β or h_{FE} .

4.1.4.5 *Bipolar junction transistor*

A bipolar transistor having a base region and two or more junctions.

Note. — Its operation depends upon the injection of minority carriers into the base region.

4.1.4.6 Amplificateur à hacheur

Amplificateur pour courant continu dans lequel le courant (ou la tension) d'entrée est transformé en signal de fréquence prédéterminée, amplifié par un amplificateur à courant alternatif et ensuite retransformé en signal de courant continu (V.E.I. 391).

4.1.4.7 Amplificateur à condensateur vibrant

Amplificateur à hacheur utilisant un condensateur vibrant pour la transformation du signal avant son amplification (V.E.I. 391).

4.2 Caractéristiques générales

4.2.1 Caractéristique fonctionnelle

Une des grandeurs assignée à un équipement en vue de définir par des valeurs, des tolérances, des domaines, etc., les qualités de fonctionnement de cet équipement (P 359).

Note. — Le terme « caractéristique fonctionnelle » ne s'applique pas aux grandeurs d'influence.

4.2.2 Grandeur d'influence

Grandeur généralement extérieure à l'équipement et susceptible d'exercer une influence sur son fonctionnement.

Note. — Lorsque la modification d'une caractéristique fonctionnelle affecte une autre caractéristique fonctionnelle, elle est considérée comme une caractéristique d'influence (P 359).

4.2.3 Domaine nominal¹

Domaine assigné à un équipement par le constructeur pour la ou les grandeurs à mesurer, à observer, à afficher ou à fournir (P 359).

4.2.4 Etendue de mesure¹

Partie du domaine nominal dans laquelle l'équipement satisfait aux prescriptions relatives aux limites d'erreur (P 359).

4.2.5 Valeur conventionnellement vraie (d'une grandeur)

Valeur aussi approchée que nécessaire de la valeur vraie, compte tenu des erreurs à déterminer. Cette valeur devrait être rapportée à des étalons nationaux, sinon elle doit être rapportée à des étalons agréés d'un commun accord par le constructeur et l'utilisateur. L'incertitude sur la valeur conventionnellement vraie doit alors être indiquée dans les deux cas (d'après P 359).

4.2.6 Valeur nominale

Valeur, ou l'une des valeurs, assignée à un équipement par le constructeur pour la ou les grandeurs à mesurer, à observer, à afficher ou à fournir (P 359).

4.3 Erreurs

4.3.1 Erreur absolue

Erreur exprimée algébriquement en unités de la grandeur mesurée ou fournie.

- a) Pour un appareil de mesure, l'erreur est la valeur indiquée de la grandeur mesurée moins la valeur vraie.
- b) Pour un appareil d'alimentation, l'erreur est la valeur vraie de la grandeur fournie moins soit la valeur nominale, soit la valeur indiquée ou préréglée.

Note. — La valeur vraie d'une grandeur est une valeur idéale obtenue à l'aide de moyens de mesure qui n'introduiraient aucune erreur. Dans la pratique, la détermination de la valeur vraie n'étant pas possible, on utilise une valeur conventionnelle vraie (voir le paragraphe 4.2.5) (P 359).

¹ Pour un appareil multicalibre, un « domaine nominal » et une « étendue de mesure » existent pour chaque position du commutateur de calibre.

4.1.4.6 Chopper amplifier

A d.c. amplifier in which the input current (voltage) is transformed into a signal of predetermined frequency, amplified by an a.c. amplifier and then retransformed into a d.c. signal (I.E.V. 391).

4.1.4.7 Vibrating capacitor amplifier

A chopper amplifier utilizing a vibrating capacitor for signal transformation prior to amplification (I.E.V. 391).

4.2 General characteristics

4.2.1 Performance characteristic

One of the quantities assigned to an apparatus in order to define by values, tolerances, ranges, etc., the performance of the apparatus (P 359).

Note. — The term “performance characteristic” does not include influence quantities.

4.2.2 Influence quantity

Any quantity, generally external to an apparatus, which may affect the performance of the apparatus.

Note. — Where a change of a performance characteristic affects another performance characteristic, it is referred to as an influencing characteristic (P 359).

4.2.3 Rated range¹

The range of a quantity to be measured, observed, supplied or set, which the manufacturer has assigned to the apparatus (P 359).

4.2.4 Effective range¹

That part of the rated range where measurements can be made or quantities be supplied within the stated limits of error (P 359).

4.2.5 Conventionally true value (of a quantity)

A value approaching the true value as closely as necessary (having regard to the error to be determined). This value may be traced to standards agreed upon by manufacturer and user or to national standards. In both cases, the uncertainty of the conventionally true value shall be stated (from P 359).

4.2.6 Rated value

The value (or one of the values) of a quantity to be measured, observed, supplied or set, which the manufacturer has assigned to the apparatus (P 359).

4.3 Errors

4.3.1 Absolute error

The error expressed algebraically in the unit of the measured or supplied quantity.

- a) For a measuring apparatus, the error is the indicated value of the measured quantity minus its true value.
- b) For a supply apparatus, the error is the true value of the quantity supplied minus its rated, indicated or preset value.

Note. — The true value of a quantity is the value that would be measured by a measuring process having no error.

In practice, since this true value cannot be determined by measurement, a conventionally true value (see Sub-clause 4.2.5) is used in place of the true value (P 359).

¹ For multi-range instruments, there exist a “rated range” and an “effective range” for each switch position.

4.3.2 Erreur relative

Rapport entre l'erreur absolue et une valeur spécifiée (P 359).

4.3.3 Erreur en pourcentage

Erreur relative, exprimée en pourcentage, en fonction, par exemple, de la limite supérieure de l'étendue de mesure, de la valeur indiquée ou prérégulée ou de la valeur nominale (P 359).

4.3.4 Valeur conventionnelle

Valeur à laquelle il est fait référence en vue de spécifier l'erreur en pourcentage. Cette valeur peut être soit la limite supérieure de l'étendue de mesure, soit toute autre valeur clairement définie (P 359).

4.3.5 Erreur intrinsèque

Erreur déterminée dans les conditions de référence (P 359).

4.3.6 Erreur de fonctionnement

Erreur déterminée dans les conditions nominales de fonctionnement (P 359).

4.3.7 Erreur de stabilité

Erreur sur la valeur indiquée ou fournie par l'équipement pendant une durée spécifiée, les autres conditions étant maintenues constantes (P 359).

4.3.8 Erreur de justesse

Somme algébrique (résultante) des erreurs systématiques¹ entachant l'indication d'un instrument de mesure dans des conditions déterminées d'emploi.

Remarque. — Pratiquement, on détermine l'erreur de justesse d'un instrument de mesure comme étant la différence entre la moyenne arithmétique $\bar{v}$ des indications v_i données par l'instrument dans une série de mesurages consécutifs d'une même grandeur, effectués dans les conditions usuelles d'emploi, et la valeur conventionnellement vraie v_e de la grandeur mesurée:

$$e_j = \bar{v} - v_e \quad (\text{d'après OIML})$$

4.3.9 Erreur de linéarité

Déviation de la courbe représentant les variations de l'indication de sortie en fonction des variations de la grandeur d'entrée par rapport à une ligne droite de référence (CE 66).

4.3.10 Variation

Différence entre les valeurs d'une grandeur mesurée ou fournie lorsqu'une grandeur d'influence prend successivement deux valeurs spécifiées dans son domaine nominal de fonctionnement, les autres grandeurs d'influence étant maintenues dans les conditions de référence (CE 66).

4.4 Qualités de fonctionnement

4.4.1 Stabilité

Aptitude d'un équipement à conserver pendant une durée spécifiée les valeurs indiquées ou fournies, les autres conditions étant maintenues constantes.

Note. — Les méthodes de détermination et d'expression des défauts de stabilité sont à l'étude (P 359).

¹ *Erreur systématique:* Erreur qui reste constante lors de plusieurs mesurages de la même valeur d'une certaine grandeur si ces mesurages sont effectués dans les mêmes conditions ou qui varie de façon non aléatoire selon une loi définie si les conditions changent (d'après OIML).

4.3.2 *Relative error*

The ratio of the absolute error to a stated value (P 359).

4.3.3 *Percentage error*

The relative error, expressed as a percentage, such as percent of full scale (the maximum value of the effective range), percent of the indicated or preset value or of the rated value (P 359).

4.3.4 *Fiducial value*

A value to which reference is made in order to specify the percentage error, e.g. the upper limit of the effective range, or another clearly stated value (P 359).

4.3.5 *Intrinsic error*

The error determined under reference conditions (P 359).

4.3.6 *Operating error*

The error determined under rated operating conditions (P 359).

4.3.7 *Stability error*

The error which occurs in the indicated or supplied value of an apparatus during a specified time, other conditions remaining constant (P 359).

4.3.8 *Total systematic error*

Algebraic sum (resultant) of systematic errors¹ vitiating the measuring instrument indication in determined operating conditions.

Remark. — In practice, the total systematic error of a measuring instrument is determined as the difference between the arithmetic mean $\bar{v}$ of indications v_i given by the instrument in a sequence of consecutive measurements of a same quantity performed in the usual operating conditions and the conventionally true value v_e of the measured quantity:

$$e_s = \bar{v} - v_e \quad (\text{from OIML})$$

4.3.9 *Linearity error*

The deviation from a reference straight line of the curve representing the output indication variations as a function of the input quantity variations (TC 66).

4.3.10 *Variation*

The difference between the values of a parameter when one influence quantity assumes successively two specified values within its rated range of use, the other influence quantities being at reference conditions (TC 66).

4.4 *Performance qualities*

4.4.1 *Stability*

The ability of the apparatus to maintain its indicated or supplied value during a specified time, other conditions remaining constant.

Note. — The methods for determining and expressing the lack of stability are under consideration (P 359).

¹ *Systematic error:* An error that remains constant during a sequence of measurements if performed in the same conditions, or varies in a non-random manner according to a defined law when conditions change (from OIML).

4.4.2 *Linéarité*

Aptitude d'un équipement à donner des indications égales au produit d'une valeur de référence de la grandeur mesurée par un coefficient qui conserve une valeur constante dans toute l'étendue de mesure (d'après CE 66).

4.4.3 *Répétabilité (des mesures)*

Étroitesse de l'accord entre les résultats de mesures successives d'une même grandeur effectuées selon la même méthode, par le même observateur, avec les mêmes instruments de mesure, dans le même laboratoire et à des intervalles de temps assez courts.

4.5 *Caractéristiques dynamiques*

4.5.1 *Temps de réponse (d'un ensemble de mesure)*

Temps nécessaire après une variation brusque de la grandeur à mesurer pour que la variation du signal de sortie atteigne pour la première fois un pourcentage déterminé de sa valeur finale (V.E.I. 391).

4.5.2 *Temps d'établissement*

Temps nécessaire après une variation brusque de la grandeur à mesurer pour que le signal de sortie atteigne et conserve une valeur ne différant que d'un pourcentage déterminé de la valeur stable finale (V.E.I. 391).

4.5.3 *Temps de récupération*

Temps d'établissement correspondant à une variation brusque de la grandeur à mesurer depuis une amplitude telle que la saturation ait été atteinte.

4.5.4 *Vitesse de balayage*

Pente du signal de sortie entre 30% et 70% de sa valeur finale après une variation brusque de la grandeur d'entrée.

4.5.5 *Moyenne des temps de bon fonctionnement (observée) — MTBF — (pour des dispositifs réparables)*

Pour une période définie dans la vie d'un dispositif, valeur moyenne des durées de fonctionnement entre défaillances consécutives, dans des conditions de contraintes déterminées (Publication 271 de la CEI: Liste des termes de base, définitions et mathématiques applicables à la fiabilité).

4.5.6 *Moyenne des temps de bon fonctionnement (estimée) — MTBF*

Moyenne des temps de bon fonctionnement d'un dispositif définie par une valeur limite de l'intervalle de confiance à un niveau donné de probabilité, à partir des mêmes données que la moyenne des temps de bon fonctionnement observés pour des dispositifs nominalement identiques (Publication 271 de la CEI).

4.6 *Conditions d'essais et d'utilisation*

4.6.1 *Conditions de référence*

Série de valeurs assorties de tolérances ou de domaines réduits fixés pour les grandeurs d'influence et si nécessaire pour les caractéristiques d'influence, qui sont spécifiés pour effectuer les essais comparatifs ou les essais de calibrage (P 359).

4.6.2 *Domaine nominal de fonctionnement*

Domaine des valeurs que peut prendre une grandeur d'influence quand les prescriptions concernant l'erreur de fonctionnement sont remplies (P 359).

4.6.3 *Conditions nominales de fonctionnement*

Ensemble des étendues de mesure et des domaines nominaux de fonctionnement pour lesquels les qualités de fonctionnement sont spécifiées (P 359).

4.4.2 Linearity

The ability of the apparatus to give indications equalling the product of a reference value of the measured quantity by a coefficient having a constant value in the whole effective range (from TC 66).

4.4.3 Repeatability (of measurements)

The closeness of the agreement between the results of successive measurements of the same quantity carried out by the same method, by the same observer, with the same measuring instruments, in the same laboratory, at quite short intervals of time (TC 66).

4.5 Dynamic characteristics

4.5.1 Response time (of a measuring assembly)

The time required after a step variation in the measured quantity for the output signal variation to reach for the first time a given percentage of its final value (I.E.V. 391).

4.5.2 Settling time

The time required after a step variation in the measured quantity for the output signal to reach and remain within a specified percentage of its final steady-state value (I.E.V. 391).

4.5.3 Restoration time

The settling time corresponding to a step variation in the measured quantity from such amplitude that saturation is reached.

4.5.4 Slew rate

The output signal slope between 30% and 70% of its final value after a step variation of input quantity.

4.5.5 Mean time between failures (observed)—MTBF—(for repairable items)

For a stated period in the life of an item, the mean value of the lengths of observed times between consecutive failures under stated stress conditions (IEC Publication 271, List of Basic Terms, Definitions and Related Mathematics for Reliability).

4.5.6 (Assessed) mean time between failures—MTBF

The mean time between failures of an item determined as a limiting value of the confidence interval with a stated probability level, based on the observed mean time between failures of nominally identical items (IEC Publication 271).

4.6 Test and use conditions

4.6.1 Reference conditions

A set of values with tolerances, or of restricted ranges of influence quantities, and if necessary of influencing characteristics, specified for making comparison and calibration tests (P 359).

4.6.2 Rated range of use

The range of values for an influence quantity within which the requirements concerning operating error are satisfied (P 359).

4.6.3 Rated operating conditions

The whole of the effective ranges for performance characteristics and rated ranges of use for influence quantities, within which the performance of the apparatus is specified (P 359).

4.6.4 Conditions limites de fonctionnement

Ensemble des domaines des grandeurs d'influence et des caractéristiques fonctionnelles (au-delà des domaines nominaux de fonctionnement et des étendues de mesure respectifs) dans lesquels un équipement peut encore fonctionner sans qu'il en résulte de détérioration ni de dégradation de ses qualités de fonctionnement lorsqu'il fonctionne à nouveau dans les conditions nominales de fonctionnement.

Note. — Les conditions limites comprennent, en général, la ou les surcharges (P 359).

4.6.5 Temps de stabilisation préalable

Temps qui doit s'écouler après la mise sous tension de l'appareil dans les conditions de référence pour lui permettre de satisfaire à toutes les prescriptions requises (CE 66).

5. Conditions de référence et conditions nominales de fonctionnement

Dans le tableau I, pour chaque grandeur d'influence sont indiqués une valeur ou un domaine de référence et un domaine nominal de fonctionnement. L'ensemble des valeurs ou des domaines d'une même colonne définit un ensemble de conditions d'essais dans lequel on doit obligatoirement se placer, par définition, pour effectuer un essai relatif à une erreur donnée.

5.1 La colonne « Valeur ou domaine de référence » correspond aux conditions dans lesquelles il faut se placer pour étudier l'erreur intrinsèque (voir le paragraphe 4.3.5) et les variations (voir le paragraphe 4.3.15) lorsqu'une grandeur d'influence prend une valeur quelconque à l'intérieur de son domaine nominal de fonctionnement.

5.2 La colonne « Domaine nominal de fonctionnement » correspond aux conditions dans lesquelles il faut se placer pour vérifier une erreur de fonctionnement (voir le paragraphe 4.3.6) qui doit rester à l'intérieur des limites prévues pour toute combinaison des valeurs des grandeurs d'influence dans les conditions nominales de fonctionnement.

6. Réglages préalables

Les divers réglages préalables éventuellement recommandés par le constructeur seront effectués en se plaçant, selon le cas, dans les conditions de référence ou dans les conditions nominales, l'entrée de l'appareil étant débranchée et blindée.

Généralement, on vérifie le réglage et la stabilité du zéro en court-circuitant l'élément de contre-réaction éventuel.

Lorsque des réglages seront prévus en utilisant des courants de tarage fournis par l'appareil en fonctionnement, il est recommandé de vérifier les valeurs de ces courants, leur stabilité et leurs variations en fonction de la température et de la tension d'alimentation. On effectuera ces réglages à l'aide de ces courants et non à l'aide des courants fournis par le générateur utilisé pour les essais.

4.6.4 *Limit conditions of operation*

The whole of the ranges of values for influence quantities and performance characteristics (beyond the rated ranges of use and effective ranges respectively) within which an apparatus can function without resulting damage or degradation of performance when it is afterwards operated under rated operating conditions.

Note. — The limit conditions will, in general, include overload (P 359).

4.6.5 *Previous stabilization time*

The time interval after switching on the apparatus under reference conditions necessary for it to comply with all performance requirements (TC 66).

5. **Reference conditions and rated operating conditions**

In Table I, a reference value or range and a rated range of use are indicated for each influence quantity. The set of values or ranges in the respective column defines a set of test conditions in which it is compulsory to operate, by definition, to perform any test related to a given error.

5.1 The column “Reference value or range” corresponds to the conditions in which it is compulsory to operate for studying the intrinsic error (see Sub-clause 4.3.5) and variations (see Sub-clause 4.3.15) when one influence quantity assumes any value within its rated range of use.

5.2 The column “Rated range of use” corresponds to the conditions in which it is compulsory to operate for verifying an operating error (see Sub-clause 4.3.6) that must remain within stated limits for any combination of influence quantity values under the rated operating conditions.

6. **Preliminary settings**

The various preliminary settings recommended by the manufacturer shall be performed either in the reference conditions or in the rated conditions with the instrument input disconnected and shielded.

Usually, the zero setting and stability may be verified by short-circuiting the feedback element.

When these settings are to be predetermined using calibrated currents provided by the operating instrument, it is recommended that the values of these currents, their stability and variations as a function of temperature and supply voltage be verified. The settings shall be performed by means of these currents and in no case by means of currents supplied by the generator used in the tests.

TABLEAU I

Conditions de référence et conditions nominales de fonctionnement

Grandeur d'influence	Valeur ou domaine de référence	Domaine nominal de fonctionnement
Température ambiante	$20 \pm 2^\circ \text{C}$	$+ 5^\circ \text{C}$ à $+ 40^\circ \text{C}^*$
Humidité relative de l'air	45 % à 75 % *	20 % à 80 % sans condensation *
Pression barométrique	101,3 kPa *	70,0 kPa à 106,0 kPa *
Position de fonctionnement	Position normale indiquée par le constructeur $\pm 1^\circ$ *	Position de référence $\pm 30^\circ$ ou limite tolérée pour l'appareil indicateur
Tension d'alimentation: Réseau alternatif Courant continu Courant continu stabilisé	$U_N \pm 1\% ^*$ $U_N \pm 1\% ^*$ $U_N \pm 0,3\% ^{**}$	$U_N \pm 10\% ^*$ $U_N \pm 10\% ^*$ $U_N \pm 1\%$
Fréquence d'alimentation	$f_N \pm 1\% ^*$ (f_N = fréquence nominale)	$f_N \pm 5\% ^*$
Temps de stabilisation préalable	1 h	45 ± 15 min
Note. — Dans certains cas particuliers (utilisation sous climat tropical, recherche spatiale, etc.), des valeurs différentes pourront être retenues. * Référence: Publication 359 de la C.E.I. ** Publication 293 de la C.E.I.: Tensions d'alimentation pour appareils nucléaires à transistors.		

SECTION DEUX — CARACTÉRISTIQUES ET MÉTHODES D'ESSAIS

7. Principes généraux de méthodes proposées

7.1 On définit pour chaque appareil des constantes dites constantes théoriques qui permettent de calculer la valeur théorique de la grandeur de sortie à partir de la valeur conventionnellement vraie du courant d'entrée. L'erreur est donnée par la différence entre la valeur fournie par l'appareil et la valeur conventionnellement vraie du courant d'entrée.

L'erreur sur les constantes théoriques sera étudiée au paragraphe 17.2.

7.2 La grandeur électrique de sortie qui représente l'évolution du courant d'entrée peut être accessible ou inaccessible à l'utilisateur. Il y aura donc deux méthodes possibles.

a) Grandeur de sortie inaccessible

Si la grandeur de sortie n'est pas accessible, on ne peut que relever sa valeur I_r sur un appareil indicateur qui fait partie de l'amplificateur pour courant continu. La méthode d'essai correspondante sera désignée par *lecture de l'appareil indicateur*.

b) Grandeur de sortie accessible

Si cette grandeur est accessible, ce qui est souhaitable, par exemple sous forme d'une tension électrique, les points entre lesquels apparaîtra cette tension constitueront la sortie directe de l'amplificateur pour courant continu et la méthode d'essai qui utilisera la valeur U de la tension en ce point comme grandeur de sortie de

TABLE I

Reference conditions and rated operating conditions

Influence quantity	Reference value or range	Rated range of use
Ambient temperature	$20 \pm 2^\circ \text{C}$	$+5^\circ \text{C}$ to $+40^\circ \text{C}$ *
Relative humidity of the air	45% to 75% *	20% to 80% excluding condensation *
Barometric pressure	101.3 kPa *	70.0 kPa to 106.0 kPa *
Operating position	Normal position as stated by the manufacturer $\pm 1^\circ$ *	Reference position $\pm 30^\circ$ or tolerated limit for the indicating apparatus
Supply voltage: A.C. D.C. Stabilized d.c.	$U_N \pm 1\%$ * $U_N \pm 1\%$ * $U_N \pm 0.3\%$ **	$U_N \pm 10\%$ * $U_N \pm 10\%$ * $U_N \pm 1\%$
Mains supply frequency	$f_N \pm 1\%$ * ($f_N = \text{rated frequency}$)	$f_N \pm 5\%$ *
Previous stabilization time	1 h	$45 \pm 15 \text{ min}$
<i>Note.</i> — In some particular cases (use in tropical climate, spatial research, etc.) different values may be chosen. * Reference: IEC Publication 359. ** IEC Publication 293, Supply Voltages for Transistorized Nuclear Instruments.		

SECTION TWO — CHARACTERISTICS AND TEST METHODS

7. General principles of the proposed methods

7.1 Constants called theoretical constants are defined for each instrument and allow the calculation of the theoretical value of the output quantity from the input current conventionally true value. The error is given by the difference between the value supplied by the instrument and the input current conventionally true value.

The error of theoretical constants will be considered in Sub-clause 17.2.

7.2 The electrical output which represents the input current may or may not be accessible to the user. Consequently two possible methods exist.

a) Non-accessible output quantity

When the output is not accessible, it is only possible to read its value I_r on an indicating instrument incorporated in the d.c. amplifier. The corresponding test method will be designated *indicating-instrument reading*.

b) Accessible output

When the output is accessible, which is desirable, for instance in the form of an electric voltage, the terminals between which this voltage would appear will constitute the direct output of the d.c. amplifier and the test method using the voltage value U between those terminals as the instrument output will be designated in the course of

l'appareil sera désignée dans la suite de cette norme par *mesure en sortie directe*. Il est souhaitable que la sortie directe soit le plus en amont possible dans les circuits de l'appareil. Les circuits situés en aval de la sortie directe seront soit essayés séparément suivant les méthodes classiques, soit essayés globalement en même temps que l'ensemble de l'amplificateur pour courant continu. S'ils comprennent un galvanomètre, son erreur de fonctionnement devra être indiquée par le constructeur.

Cette méthode présente l'avantage de permettre, à partir de l'erreur sur la tension de sortie directe, de calculer l'erreur relative aussi bien pour les appareils linéaires que pour les appareils logarithmiques.

7.3 La valeur conventionnellement vraie du courant d'entrée sera obtenue de la façon suivante:

On branche à l'entrée de l'amplificateur un générateur de courant continu de valeur faible dont la précision doit être convenable (généralement meilleure que $\pm 2\%$ pour les courants supérieurs ou égaux à 10^{-11} A et meilleure que $\pm 5\%$ pour les courants inférieurs à 10^{-11} A). Dans ces conditions, le courant fourni par un tel générateur représente la *valeur conventionnellement vraie* I_e du courant d'entrée.

7.4 La mesure de la tension de sortie directe au moyen d'un voltmètre numérique à quatre ou cinq chiffres significatifs facilite beaucoup l'exécution des essais décrits. En particulier, les essais relatifs à l'étude des variations et de la stabilité étant d'assez longue durée, il est particulièrement commode de relever la tension de sortie directe à l'aide d'un enregistreur. Cela est un autre avantage de la mesure en sortie directe.

8. Etendue de mesure

8.1 La grandeur d'entrée de l'appareil peut correspondre à:

- une entrée d'électrons dans l'appareil; il est alors convenu d'appeler le courant correspondant courant électronique positif;
- une sortie d'électrons de l'appareil; il est alors convenu d'appeler le courant correspondant courant électronique négatif.

Le constructeur doit indiquer quel(s) type(s) de courant peut admettre l'appareil.

8.2 L'étendue de mesure est fixée par le constructeur qui en indique les limites inférieure $I_{(\min)}$ et supérieure $I_{(\max)}$. Le domaine nominal sera confondu avec l'étendue de mesure.

8.3 Généralement, les appareils linéaires sont multicalibres et ont donc une étendue de mesure par calibre tandis que les appareils logarithmiques sont à un seul calibre.

9. Constantes théoriques

L'indication I_r relevée sur l'appareil est liée à la valeur conventionnellement vraie du courant d'entrée I_e par une relation de la forme:

$$I_r = kI_e + I_{r0}$$

dans laquelle:

k = une constante appelée constante théorique de l'appareil

I_{r0} = valeur du courant d'entrée relevée ou mesurée lorsque l'entrée de l'appareil est débranchée et ouverte, et que $I_e = 0$. La valeur de I_{r0} doit être indiquée par le constructeur

En pratique, I_{r0} est négligeable, et la relation se simplifie en:

$$I_r = k \cdot I_e \quad (1)$$

ou:

$$k = \frac{I_r}{I_e}$$

9.1 Lecture de l'appareil indicateur

Dans tous les cas on vérifiera la valeur I_{r0} indiquée par le constructeur.

On s'assurera que l'on a bien $I_{r0} < \frac{I_{(\min)}}{100}$ dans le cas général d'une mesure avec une précision de l'ordre de 1%.

this standard by *direct output measurement*. It is desirable that the direct output be as near as possible to the input in the circuits of the instrument. The circuits following the direct output shall be either tested separately according to usual methods, or tested as a whole with the d.c. amplifier. When the circuits include a galvanometer, its operating error shall be indicated by the manufacturer.

This method has the advantage of permitting the calculation of the relative error from the direct output voltage error for linear as well as logarithmic instruments.

7.3 The input current conventionally true value shall be obtained as follows:

A low level d.c. generator of suitable accuracy is connected to the amplifier input (accuracy generally better than $\pm 2\%$ for currents greater than or equal to 10^{-11} A or better than $\pm 5\%$ for currents less than 10^{-11} A). In these conditions, the current provided by such a generator represents the *conventionally true value* I_c of the input current.

7.4 The measurement of the direct output voltage with a digital voltmeter of four to five significant digits facilitates the performance of the described tests. In particular, the tests related to the study of variations and stability are rather long and it is very convenient to note the direct output voltage with a recorder. This is another advantage presented by direct output measurement.

8. Effective range

8.1 The instrument input quantity may correspond to:

- electrons entering the instrument; it is then convenient to call the corresponding current positive electronic current;
- electrons coming out of the instrument; it is then convenient to call the corresponding current negative electronic current.

The manufacturer shall indicate which type(s) of current may enter the instrument.

8.2 The effective range is fixed by the manufacturer who indicates the lower $I_{(\min)}$ and upper $I_{(\max)}$ limits. The rated range shall coincide with the effective range.

8.3 Generally, linear instruments are multi-range and have an effective range for each switch position, while logarithmic instruments are single-range.

9. Theoretical constants

The indication I_r read on the instrument is related to the conventionally true input current value I_c as follows.

$$I_r = kI_c + I_{r0}$$

where:

k = a constant called the instrument theoretical constant

I_{r0} = the input current value read or measured when the input of the instrument is disconnected and open, and $I_c = 0$. The I_{r0} value shall be indicated by the manufacturer

In practice, I_{r0} is negligible and the relationship becomes simplified as follows:

$$I_r = k \cdot I_c \quad (1)$$

or:

$$k = \frac{I_r}{I_c}$$

9.1 Indicating-instrument reading

In all cases the value I_{r0} indicated by the manufacturer shall be verified.

It shall be verified that $I_{r0} < \frac{I_{(\min)}}{100}$ generally with a measurement precision in the order of 1%.

Le générateur fournissant un courant $I_{e(max)}$ correspondant à la valeur maximale du calibre considéré, on relève l'indication $I_{r(max)}$ de l'appareil et la relation (1) donne :

$$k = \frac{I_{r(max)}}{I_{e(max)}}$$

Il y a une valeur de k pour chaque calibre de l'amplificateur.

9.2 Mesure en sortie directe

9.2.1 Appareils linéaires

On a alors $U = k \cdot I_e + U_0$ qui se simplifie comme pour la méthode précédente en :

$$U = k \cdot I_e \quad (2)$$

d'où :

$$k = \frac{U}{I_e}$$

On injectera un courant $I_{e(max)}$ et on prendra pour k la valeur :

$$k = \frac{U_{(max)}}{I_{e(max)}}$$

9.2.2 Appareils logarithmiques

On a alors :

$$U = a \cdot \lg(b \cdot I_e) \quad (3)$$

dans laquelle a et b sont des constantes théoriques.

a est égal au quotient de la valeur de la tension $U_{(max)}$ correspondant au courant d'entrée $I_{e(max)}$ par $n = N_1 - N_2$, les limites supérieure et inférieure du domaine nominal étant mises sous la forme :

$$I_{e(min)} = x_1 \cdot 10^{-N_1} \quad \text{et}$$

$$I_{e(max)} = x_2 \cdot 10^{-N_2}$$

$$a = \frac{U_{(max)}}{n} *$$

b est défini par :

$$b = \frac{1}{I_{(min)}}$$

La relation (3) donne :

$$I_e = \frac{1}{b} \cdot 10^{\frac{U}{a}} \quad (4)$$

10. Impédances d'entrée et de charge

10.1 Résistance d'isolement

On effectue une mesure entre l'entrée et la masse, l'appareil n'étant pas en fonctionnement.

a) Amplificateur sans contre-réaction

La mesure donne la résistance d'isolement R_i (qui comprend la résistance de fuite); son ordre de grandeur devrait être, par exemple, de $10^{15} \Omega$.

* Il faut noter que cette méthode n'est valable que si $x_1 = x_2$ dans l'expression des limites du domaine nominal et si $U_{(min)} = 0$. En général on aura $x_1 = x_2 = 1$.

With the generator providing a current $I_{e(\max)}$ corresponding to the maximum value of the effective range under consideration, the instrument indication $I_{r(\max)}$ is noted and relationship (1) gives:

$$k = \frac{I_{r(\max)}}{I_{e(\max)}}$$

There is a k value for each amplifier switch position.

9.2 Direct output measurement

9.2.1 Linear instruments

Then, $U = k \cdot I_e + U_o$ which may be simplified as for the preceding method:

$$U = k \cdot I_e \quad (2)$$

and:

$$k = \frac{U}{I_e}$$

A current $I_{e(\max)}$ shall be injected and the value k is taken:

$$k = \frac{U_{(\max)}}{I_{e(\max)}}$$

9.2.2 Logarithmic instruments

Then:

$$U = a \cdot \lg(b \cdot I_e) \quad (3)$$

where a and b are theoretical constants.

a is equal to the quotient of the voltage value $U_{(\max)}$ corresponding to the input current $I_{e(\max)}$ by $n = N_1 - N_2$, the upper and lower limits of the rated range being written in the form:

$$I_{e(\min)} = x_1 \cdot 10^{-N_1} \quad \text{and}$$

$$I_{e(\max)} = x_2 \cdot 10^{-N_2}$$

$$a = \frac{U_{(\max)}}{n} *$$

b is defined by:

$$b = \frac{1}{I_{(\min)}}$$

Relationship (3) gives:

$$I_e = \frac{1}{b} \cdot 10^{\frac{U}{a}} \quad (4)$$

10. Input and load impedances

10.1 Insulation resistance

A measurement between input and frame is made when the instrument is not in operation.

a) Amplifier without negative feedback

The measurement gives the insulation resistance R_i (which includes the leakage resistance); its value should be, for example, in the $10^{15} \Omega$ range.

* It must be noted that this method is valid only when $x_1 = x_2$ in the formulation of the rated range limits and when $U_{(\min)} = 0$. Generally, $x_1 = x_2 = 1$.

b) Amplificateur à contre-réaction non déconnectable

La mesure donne une résistance équivalente à la résistance d'isolement de l'élément d'entrée R_1 et à la résistance de contre-réaction R_{CR} en parallèle.

Comme il faut au moins $R_1 > 100 R_{CR}$, cette mesure donne pratiquement R_{CR} ou une valeur légèrement inférieure.

Généralement la résistance de contre-réaction R_{CR} est de l'ordre de $10^9 \Omega$ à $10^{12} \Omega$. Sa valeur avec la tolérance doit être indiquée par le constructeur.

c) Amplificateur à contre-réaction déconnectable

En débranchant ou non le circuit de contre-réaction, on revient à volonté au cas *a)* ou *b)* ci-dessus.

10.2 Résistance d'entrée

La résistance d'entrée se définit comme le quotient de la tension d'entrée U_1 par le courant I_1 , l'appareil étant en fonctionnement.

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1}$$

Dans le cas des amplificateurs sans contre-réaction ou à contre-réaction non déconnectable, la mesure de U_1 est souvent délicate et n'est pas à considérer.

Dans le cas des amplificateurs à contre-réaction déconnectable, on débranche le circuit de contre-réaction et, connaissant le gain en boucle ouverte G de l'amplificateur (voir le paragraphe 17.1.3), on a :

$$\frac{U_1}{I_1} \approx \frac{U_2}{G} \cdot \frac{R_{CR}}{U_2} = \frac{R_{CR}}{G}$$

On peut alors écrire avec une certaine approximation ($G \gg 1$, I_1 très faible) :

$$R_1 \approx \frac{R_{CR}}{G}$$

Il y aura une valeur de la résistance d'entrée pour chaque valeur de résistance de contre-réaction.

Notes 1. — Si le facteur de contre-réaction est différent de 1, on divisera G par sa valeur.

2. — Dans le cas des amplificateurs logarithmiques, la résistance d'entrée est fonction du courant d'entrée car R_{CR} , qui est dans ce cas la résistance de l'élément logarithmique (diode ou convertisseur), varie avec I_1 . Il faudra donc donner R_1 pour une valeur déterminée du courant d'entrée.

3. — Les méthodes de mesure des résistances internes de l'appareil sont décrites à l'article 23.

10.3 Capacité d'entrée

Cette caractéristique est mesurée avec un pont de mesure de capacité (sous faible tension et très haute impédance), l'appareil n'étant pas en fonctionnement.

Le paragraphe 18.4 traite des capacités à l'entrée de l'appareil et de leur influence sur le temps de réponse.

La capacité aux bornes de l'élément de contre-réaction (R_{CR} ou diode logarithmique) peut être intéressante à connaître.

10.4 Impédance de charge

Elle est définie par le quotient de la tension de sortie de l'appareil U_2 , par le courant de sortie I_2 .

$$R_{eh.} = \frac{U_2}{I_2}$$

Le constructeur indiquera les valeurs limites admissibles pour $R_{eh.}$.

10.5 Capacité de charge

Le constructeur indiquera la valeur maximale utilisable à la sortie de l'appareil.

b) Amplifier with a negative feedback that cannot be disconnected

The measurement gives a resistance equivalent to the input element insulation resistance R_i in parallel with the negative feedback resistance R_{fb} .

Since $R_i > 100 R_{fb}$ is necessary, this measurement gives in practice R_{fb} or a slightly lower value.

Generally, the negative feedback resistance R_{fb} ranges from about $10^9 \Omega$ to $10^{12} \Omega$. Its value and tolerance shall be indicated by the manufacturer.

c) Amplifier with a negative feedback that can be disconnected

This case reduces to case *a)* or *b)* above, depending on whether or not the negative feedback circuit is disconnected.

10.2 Input resistance

The input resistance is defined as the quotient of the input voltage U_1 by current I_1 , with the instrument in operation.

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1}$$

In the case of amplifiers without negative feedback or with a negative feedback that cannot be disconnected, measurement of U_1 is often difficult and is not for consideration.

In the case of amplifiers with a negative feedback that can be disconnected, the negative feedback loop is opened and knowing the open feedback gain G of the amplifier (see Sub-clause 17.1.3), we have:

$$\frac{U_1}{I_1} \approx \frac{U_2}{G} \cdot \frac{R_{fb}}{U_2} = \frac{R_{fb}}{G}$$

It is then possible to write with some approximation ($G \geq 1$, I_1 very low):

$$R_1 \approx \frac{R_{fb}}{G}$$

An input resistance value exists for each value of negative feedback resistance.

Notes 1. — When the negative feedback coefficient is different from 1, G shall be divided by its value.

2. — In the case of logarithmic amplifiers, the input resistance is a function of the input current because R_{fb} , in this case the logarithmic element resistance (diode or converter), varies with I_1 . Therefore R_1 shall be indicated for a given value of the input current.

3. — The methods of measuring instrument internal resistances are described in Clause 23.

10.3 Input capacitance

This characteristic is measured with a capacitance measurement bridge (with low voltage and very high impedance) when the instrument is not in operation.

Sub-clause 18.4 deals with capacitances at the instrument input and their influence on response time.

It may be desirable to know the capacitance between the negative feedback element terminals (R_{fb} or logarithmic diode).

10.4 Load impedance

The load impedance is defined as the quotient of the instrument output voltage U_2 , by the output current I_2 .

$$R_L = \frac{U_2}{I_2}$$

The manufacturer shall indicate the permissible limit values for R_L .

10.5 Load capacitance

The manufacturer shall indicate the maximum value that may be used at the output of the instrument.

10.6 Résistance de sortie

La résistance interne de sortie est traitée au paragraphe 23.1b).

11. Expression des erreurs

Pour l'expression des erreurs, deux méthodes sont possibles:

11.1 Lecture de l'appareil indicateur

On fait varier le courant d'entrée I_e fourni par le générateur de courant. Pour chaque valeur conventionnellement vraie I_e , on relève la valeur I_r et on détermine l'erreur pour chacun des points choisis.

L'erreur relative est donnée par:

$$e = \left| \frac{I_r - I_e}{I_e} \right|$$

Pour les amplificateurs linéaires, on calcule e en cinq points; pour les amplificateurs logarithmiques, en $n + 1$ points, n étant le nombre de puissance de 10 (« décades »).

On retient la valeur absolue maximale de ce rapport, soit pour chaque calibre, soit pour l'ensemble des calibres, et, en outre, on indique la valeur de I_r qui correspond à un courant d'entrée nul, soit:

$$\pm |I_{r0}|$$

11.2 Mesure en sortie directe

Deux cas sont à considérer:

11.2.1 Amplificateurs linéaires

Opérant comme précédemment, on relève:

I_e , courant fourni par le générateur, et U_r , valeur de la tension de sortie directe mesurée.

On calcule ensuite U_e , valeur de la tension de sortie correspondant à la valeur conventionnellement vraie du courant d'entrée, par la formule $U_e = k I_e$ (en général $k = R_{CR}$, résistance de contre-réaction).

D'où l'on déduit l'erreur relative sur la tension:

$$e = \pm \left| \frac{U_r - U_e}{U_e} \right|$$

On indiquera les valeurs maximales positives et négatives de cette erreur.

Note. — La dérivation de l'équation théorique (2) du paragraphe 9.2.1 montre que les erreurs relatives sur la tension et sur l'intensité du courant sont les mêmes.

$$\frac{\Delta U_e}{U_e} = \frac{\Delta I_e}{I_e}$$

11.2.2 Amplificateurs logarithmiques

De la même manière que ci-dessus on relève I_e et U_r . On calcule $U_e = a \cdot \lg(b \cdot I_e)$ d'après la formule (3) du paragraphe 9.2.2 et on en déduit l'erreur relative sur la tension:

$$e = \pm \left| \frac{U_r - U_e}{U_e} \right|$$

L'expression de l'erreur relative sur l'intensité en fonction de l'erreur sur la tension est un peu plus compliquée que dans le cas des amplificateurs linéaires mais peut s'obtenir à partir de la formule (3).

10.6 Output resistance

The output internal resistance is considered in Sub-clause 23.1b).

11. Description of errors

Two methods of expressing errors are possible:

11.1 Indicating-instrument reading

The input current I_e provided by the current generator is varied. For each conventionally true value I_e , the read value I_r is noted and the error is determined for each of the chosen points.

The relative error is given by:

$$e = \left| \frac{I_r - I_e}{I_e} \right|$$

For linear amplifiers, e is calculated for five points; for logarithmic amplifiers, for $n + 1$ points, where n is the number of decades.

The maximum absolute value of this ratio is recorded either for each range or for all ranges. In addition, the value I_r corresponding to zero input current will be indicated as:

$$\pm |I_{r0}|$$

11.2 Direct output measurement

Two cases shall be considered:

11.2.1 Linear amplifiers

As previously:

The values of I_e , the current provided by the generator, and U_r , direct output voltage measured, are noted.

Then U_e , the output voltage value corresponding to the input current conventionally true value, is calculated by $U_e = kI_e$ (often $k = R_{fb}$, feedback resistance).

The voltage relative error is deduced:

$$e = \pm \left| \frac{U_r - U_e}{U_e} \right|$$

The maximum positive and negative values of this error are then indicated.

Note. — The derivation of the theoretical equation (2) in Sub-clause 9.2.1 shows that the voltage relative errors and current relative errors have the same values:

$$\frac{\Delta U_e}{U_e} = \frac{\Delta I_e}{I_e}$$

11.2.2 Logarithmic amplifiers

As above, I_e and U_r are noted. $U_e = a \cdot \lg(b \cdot I_e)$ is calculated from equation (3) in Sub-clause 9.2.2 and the voltage relative error is deduced:

$$e = \pm \left| \frac{U_r - U_e}{U_e} \right|$$

The expression of the current relative error as a function of the voltage error is a little more complicated than in the case of linear amplifiers, but can be obtained from equation (3).

Il est commode, pour déterminer plus aisément l'erreur relative maximale sur l'intensité $\pm \left| \frac{\Delta I}{I} \right|_{(\max)}$ d'exprimer l'erreur relative sur l'intensité $\frac{\Delta I}{I}$ en fonction de l'erreur absolue sur la tension $\pm \Delta U$ à l'aide d'un tableau de correspondance ou d'une courbe.

Deux exemples de courbes sont indiqués à l'annexe A:

$$\frac{\Delta I}{I} = f(\Delta U) \text{ pour } U_{(\max)} = 10 \text{ V}$$

pour $n = 6$ (voir la figure 13, page 66) et $n = 7$ (voir la figure 14, page 67). Ces exemples montrent que la valeur de l'erreur dépend du signe de ΔU . On indiquera les valeurs maximales positives et négatives de l'erreur relative sur l'intensité.

11.3 Présentation des résultats

La présentation des résultats sous forme d'un diagramme analogue à la figure 1 permet d'apprécier les différentes valeurs de l'erreur relative $\frac{\Delta I}{I}$ pour les différentes valeurs de I .

Dans le cas représenté sur la figure, l'appareil est acceptable par l'utilisateur puisque l'erreur maximale est comprise entre l'erreur admise $e\%$ et $\pm (e + m)\%$, m étant l'erreur de l'appareil (générateur de courant) utilisé pour la vérification (voir la Publication 359 de la CEI, paragraphe 5.11.2).

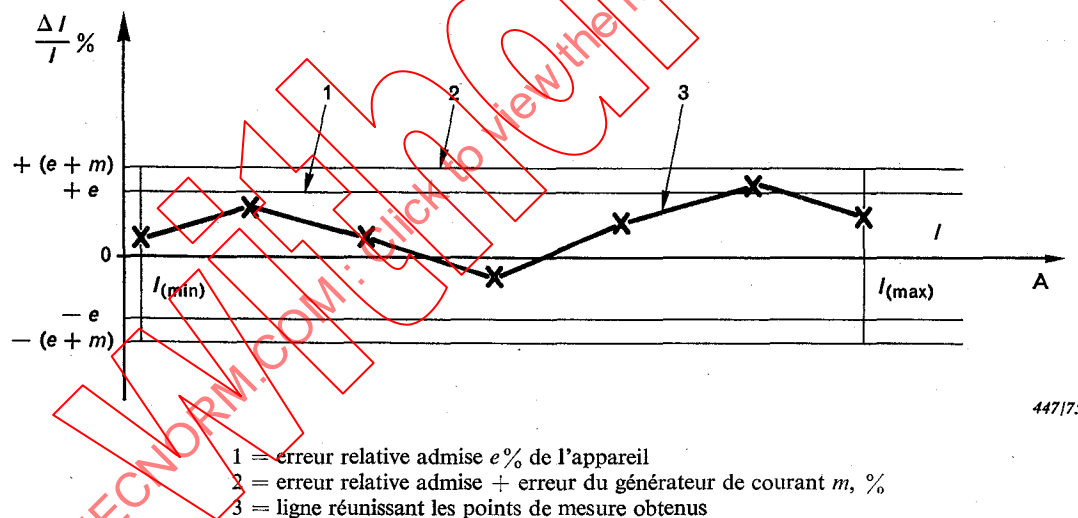


FIG. 1. — Exemple de diagramme d'erreur.

12. Interprétation des résultats

12.1 Amplificateurs linéaires

La valeur retenue C est la valeur maximale de l'erreur absolue exprimée en pourcentage du courant maximal d'entrée, soit:

$$C = 100 \frac{|I_r - I_c|_{(\max)}}{I_{e(\max)}}$$

Il faut noter que pour les appareils multicalibres, il y aura une valeur C par calibre puisqu'il existe une intensité maximale par calibre.

Cette valeur est parfois appelée « indice de précision en courant ».

It is useful to express the current relative error $\frac{\Delta I}{I}$ as a function of the voltage absolute error $\pm \Delta U$ by means of a table or a graph to determine more easily the maximum current relative error $\pm \left| \frac{\Delta I}{I} \right|_{(\max)}$.

Two examples of typical graphs are shown in Appendix A:

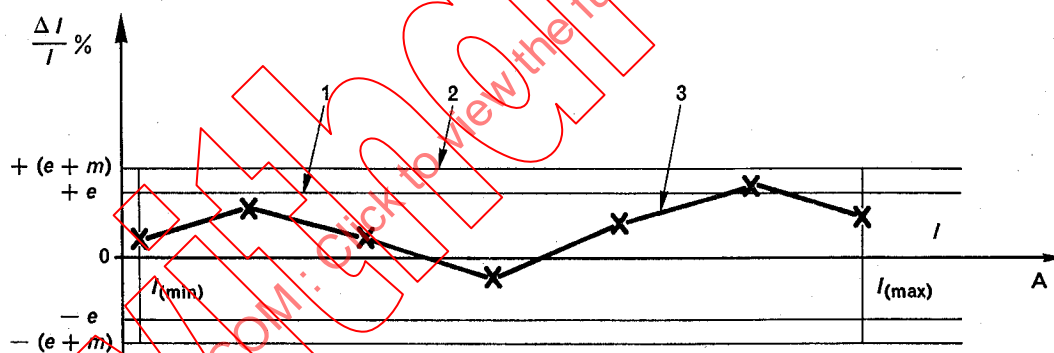
$$\frac{\Delta I}{I} = f(\Delta U) \text{ with } U_{(\max)} = 10 \text{ V}$$

with $n = 6$ (see Figure 13, page 66) and $n = 7$ (see Figure 14, page 67). These graphs show that the error value depends on the sign of ΔU . The maximum positive and negative values of the current relative error are then indicated.

11.3 Presentation of results

The presentation of the results in a diagram such as Figure 1 allows the appreciation of the different values of the relative error $\frac{\Delta I}{I}$ for the different values of I .

In the case illustrated in the figure, the instrument is acceptable to the user since the maximum error remains between the admitted error $e\%$ and $\pm (e + m)\%$, where m is the error of the instrument (current generator) used in the verification (see IEC Publication 359, Sub-clause 5.11.2).



- 1 = admitted relative error $e\%$ of the instrument
- 2 = admitted relative error + current generator error $m, \%$
- 3 = line joining the measurement points obtained

FIG. 1. — Typical errors diagram.

12. Interpretation of results

12.1 Linear amplifiers

The retained value C is the maximum value of the absolute error expressed as a percentage of the maximum input current:

$$C = 100 \frac{|I_r - I_c|_{(\max)}}{I_{c(\max)}}$$

It must be noted that multi-range instruments have a C value for each range since they have a maximum current for each range.

This value is sometimes designated “current precision index”.

12.2 Amplificateurs logarithmiques

On ne peut appliquer la méthode précédente car il serait dépourvu de signification de diviser une erreur relevée avec un courant d'entrée de l'ordre de 10^{-N} par le courant maximal 10^{-N_2} , N_2 étant différent de N de plusieurs unités.

On admet, en conséquence, de retenir pour les amplificateurs logarithmiques l'erreur (classe):

$$C_u = \frac{|U_r - U_c|_{(\max)}}{U_{c(\max)}}$$

parfois appelée « indice de précision en tension »¹.

Note. — *Expression de l'erreur relative:* Une caractéristique généralement considérée est la valeur maximale de l'erreur relative, définie, pour une indication de sortie I_r correspondant à un courant d'entrée I_c , par:

$$e = \pm \left| \frac{I_r - I_c}{I_c} \right|_{(\max)}$$

12.3 Amplificateurs linéaires ou logarithmiques — Mesure en sortie directe — Erreurs statique et dynamique

12.3.1 Erreur statique

L'erreur statique est définie par l'écart entre le signal de sortie U_r et la tension de sortie U_c calculée (voir le paragraphe 11.2.1) lorsque I_c est le courant d'entrée.

Elle s'exprime en pourcentage à l'aide de l'équation:

$$e_{\text{sta}} = 100 \frac{U_r - U_c}{U_{c(\max)}} \quad \text{pour le linéaire et}$$

$$e_{\text{sta}} = 100 \frac{U_r - U_c}{a} \quad \text{pour le logarithmique}$$

12.3.2 Erreur dynamique

L'erreur dynamique est définie d'une façon similaire, mais le courant d'entrée I_c varie linéairement dans le temps (voir le paragraphe 11.2.2). La mesure peut être faite pour plusieurs valeurs de la pente dI_c/dt .

Elle s'exprime en pourcentage à l'aide de l'équation:

$$e_{\text{dyn}} = \left| 100 \frac{U_r - U_c}{U_{c(\max)}} \right|_{(\max)} \quad \text{pour le linéaire et}$$

$$e_{\text{dyn}} = \left| 100 \frac{U_r - U_c}{a} \right|_{(\max)} \quad \text{pour le logarithmique}$$

Les caractéristiques du circuit d'entrée, notamment sa capacité, devront être spécifiées.

13. Erreur de justesse

L'erreur de justesse est déterminée en injectant à l'entrée de l'appareil un courant correspondant à la moitié du courant maximal de chaque calibre dans le cas des appareils linéaires² et à chaque valeur $1 \cdot 10^{-N} \text{A}$ comprise dans l'étendue de mesure dans le cas des appareils logarithmiques.

¹ La courbe de la figure 13, page 66, montre que pour $\Delta U = 0,1 \text{ V}$, soit une erreur $C_u = \pm 1\%$, on a une erreur relative sur l'intensité $\frac{\Delta I}{I}$ de $+14,8\%$ et de $-12,9\%$.

Pour $\Delta U = \pm 0,5 \text{ V}$, soit $C_u = \pm 5\%$, on a $\frac{\Delta I}{I} = +100\%$ et -50% .

² Les valeurs moitié sont recommandées car les valeurs maximales pourraient conduire à des difficultés de mesure lorsque l'on obtient des valeurs: $I_{r(\max)} > I_{c(\max)}$ ou $U_{r(\max)} > U_{c(\max)}$.

12.2 Logarithmic amplifiers

The method described above cannot be applied because it would be meaningless to divide an error noted with an input current in the 10^{-N} level by the maximum current 10^{-N_2} , the values differing by several decades.

Therefore, for logarithmic amplifiers, the error (class) is taken as:

$$C_u = \frac{|U_r - U_e|_{(\max)}}{U_{e(\max)}}$$

sometimes designated "voltage precision index".¹

Note. — *Relative error expression:* A generally considered characteristic is the maximum value of the relative error defined for an output indication I_r corresponding to an input current I_e as:

$$e = \pm \left| \frac{I_r - I_e}{I_e} \right|_{(\max)}$$

12.3 Linear or logarithmic amplifiers — Direct output measurement — Static and dynamic errors

12.3.1 Static error

The static error is defined by the difference between the output signal U_r and the calculated output voltage value U_e (see Sub-clause 11.2.1) when I_e is the input current.

It is expressed in percentage by the equation:

$$e_{\text{sta}} = 100 \frac{U_r - U_e}{U_{e(\max)}} \quad \text{for linear and}$$

$$e_{\text{sta}} = 100 \frac{U_r - U_e}{a} \quad \text{for logarithmic instruments}$$

12.3.2 Dynamic error

The dynamic error is defined similarly, but the input current I_e varies linearly with time (see Sub-clause 11.2.2). The measurement may be made for several values of the slope dI_e/dt .

It is expressed in percentage by the equation:

$$e_{\text{dyn}} = \left| 100 \frac{U_r - U_e}{U_{e(\max)}} \right|_{(\max)} \quad \text{for linear and}$$

$$e_{\text{dyn}} = \left| 100 \frac{U_r - U_e}{a} \right|_{(\max)} \quad \text{for logarithmic instruments}$$

The input circuit characteristics, in particular its capacitance, shall be specified.

13. Total systematic error

The total systematic error is determined by supplying the instrument input with a current corresponding to half the maximum current of each range in the case of linear instruments² and corresponding to each value $1.10^{-N}A$ included within the effective range in the case of logarithmic instruments.

¹ The graph given in Figure 13, page 66, shows that when $\Delta U = 0.1$ V, $C_u = \pm 1\%$, then the relative current error $\frac{\Delta I}{I}$ is $+14.8\%$ and -12.9% .

When $\Delta U = \pm 0.5$ V, $C_u = \pm 5\%$, then $\frac{\Delta I}{I} = +100\%$ and -50% .

² Half-values are recommended because the maximum values and the measurements might be difficult when obtaining values: $I_{r(\max)} > I_{e(\max)}$ or $U_{r(\max)} > U_{e(\max)}$.

On effectue, par exemple, dix mesures successives avec le même courant d'entrée et on obtient dix valeurs $I_{r1}, I_{r2}, \dots, I_{r10}$ ou $U_{r1}, U_{r2}, \dots, U_{r10}$ suivant la méthode employée. La moyenne arithmétique de ces valeurs étant $\bar{I}_r$ ou $\bar{U}_r$, l'erreur de justesse (absolue) de l'amplificateur est donnée par :

$$e_i = \bar{I}_r - I_c \quad \text{ou} \quad e_u = \bar{U}_r - U_c$$

L'erreur de justesse est exprimée en pourcentage par la valeur relative :

$$e_{ji} = 100 \frac{e_i}{I_c} \quad \text{ou} \quad e_{ju} = 100 \frac{e_u}{U_c}$$

14. Erreur de répétabilité

L'erreur de répétabilité est obtenue par le calcul de l'écart type s d'une mesure dans une série de n mesures (comme les dix mesures effectuées à l'article 13 par exemple). On a :

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{ri} - \bar{I}_r)^2}{n-1}} \quad \text{ou} \quad s_u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_{ri} - \bar{U}_r)^2}{n-1}}$$

L'erreur de répétabilité est exprimée en pourcentage par la valeur relative :

$$e_{ri} = 100 \frac{s_i}{I_r} \quad \text{ou} \quad e_{ru} = 100 \frac{s_u}{U_r}$$

15. Incertitude

L'incertitude sur le résultat du mesurage est donnée par :

$$e_{inc.} = \pm t \cdot s$$

En général, on prendra $t = 3$, ce qui correspond à une probabilité $P = 99,73\%$ de ne pas dépasser une erreur de $\pm 3 s$ pour un grand nombre de mesures (pour dix mesures, $P = 98,5\%$).

16. Erreurs de linéarité

16.1 Erreur de linéarité intégrale

16.1.1 Pour l'étude de cette caractéristique de fonctionnement, on doit, par définition (voir le paragraphe 4.3.9), tracer une droite de référence. Dans le cas des amplificateurs linéaires, cette droite représente, selon la méthode de mesure utilisée, soit $I_r = f(I_c)$ soit $U_r = f(U_c)$.

Dans le cas des amplificateurs logarithmiques, $I_r = f(I_c)$ devrait être tracé sur papier log-log, ce qui est peu pratique ; aussi, on représente de préférence $U_r = f(I_c)$ ou $U_r = f(U_c)$ qui peuvent être tracés sur papier lin-log.

On effectue une série de mesures permettant de dresser le tableau de correspondance entre I_r ou U_r et I_c ou U_c . On trace, suivant l'exemple représenté à la figure 2, page 36, la courbe qui relie les points de mesure.

16.1.2 On trace, soit au jugé, soit à l'aide d'une méthode mathématique comme la méthode des moindres carrés ou la méthode des moyennes discontinues, la droite moyenne la plus voisine possible des points de mesure (droite 2).

L'erreur de linéarité intégrale est définie par :

$$e_{l.int.} = \frac{I_r - I_{dm}}{I_{dm}}$$

où :

I_r = l'ordonnée de la courbe 3 correspondant à une abscisse I_c

I_{dm} = l'ordonnée de la droite 2 correspondant à la même abscisse I_c

For instance, ten successive measurements are made with the same input current and ten values $I_{r1}, I_{r2}, \dots, I_{r10}$ or $U_{r1}, U_{r2}, \dots, U_{r10}$ are obtained, according to the method used. If the arithmetic mean of these values is $\bar{I}_r$ or $\bar{U}_r$, the amplifier (absolute) total systematic error is given by:

$$e_i = \bar{I}_r - I_c \quad \text{or} \quad e_u = \bar{U}_r - U_c$$

The total systematic error is expressed in percentage as a relative value by:

$$e_{si} = 100 \frac{e_i}{I_c} \quad \text{or} \quad e_{su} = 100 \frac{e_u}{U_c}$$

14. Repeatability error

The repeatability error is obtained by the calculation of the standard deviation s of a measurement in a sequence of n measurements (for instance a sequence of ten measurements performed as in Clause 13 above):

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{ri} - \bar{I}_r)^2}{n-1}} \quad \text{or} \quad s_u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_{ri} - \bar{U}_r)^2}{n-1}}$$

The repeatability error is expressed in percentage as a relative value by:

$$e_{ri} = 100 \frac{s_i}{\bar{I}_r} \quad \text{or} \quad e_{ru} = 100 \frac{s_u}{\bar{U}_r}$$

15. Uncertainty

The measurement uncertainty is given by:

$$e_{unc.} = \pm t \cdot s$$

In general, $t = 3$ shall be chosen, corresponding to a probability $P = 99.73\%$ of not exceeding an error equal to $\pm 3 s$ for a large number of measurements (for ten measurements, $P = 98.5\%$).

16. Linearity errors

16.1 Integral linearity error

16.1.1 It is necessary, by definition (see Sub-clause 4.3.9), to draw a straight reference line in order to study this operational characteristic. In the case of linear amplifiers, this straight line represents, according to the method of measurements used, either $I_r = f(I_c)$, or $U_r = f(U_c)$.

In the case of logarithmic amplifiers, $I_r = f(I_c)$ should be drawn on log-log paper which is not practical; therefore preferably $U_r = f(I_c)$ or $U_r = f(U_c)$, which may be drawn on lin-log paper, are plotted.

A sequence of measurements is made, allowing a table of the correspondence between I_r or U_r and I_c or U_c to be set up. The graph joining the measurement points is drawn according to the example shown in Figure 2, page 37.

16.1.2 The mean straight line (line 2) is drawn, either by inspection or by a mathematical method such as the least square method or the discontinuous mean method.

The integral linearity error is defined by:

$$e_{l.int.} = \frac{I_c - I_{m1}}{I_{m1}}$$

where:

I_r = the curve 3 ordinate corresponding to the abscissa I_c

I_{m1} = the line 2 ordinate corresponding to the same abscissa I_c

Pour des amplificateurs linéaires, on indiquera (classe):

$$\frac{|(I_r - I_{dm})_{(max)}|}{I_{dm(max)}}$$

Pour des amplificateurs logarithmiques, on indiquera:

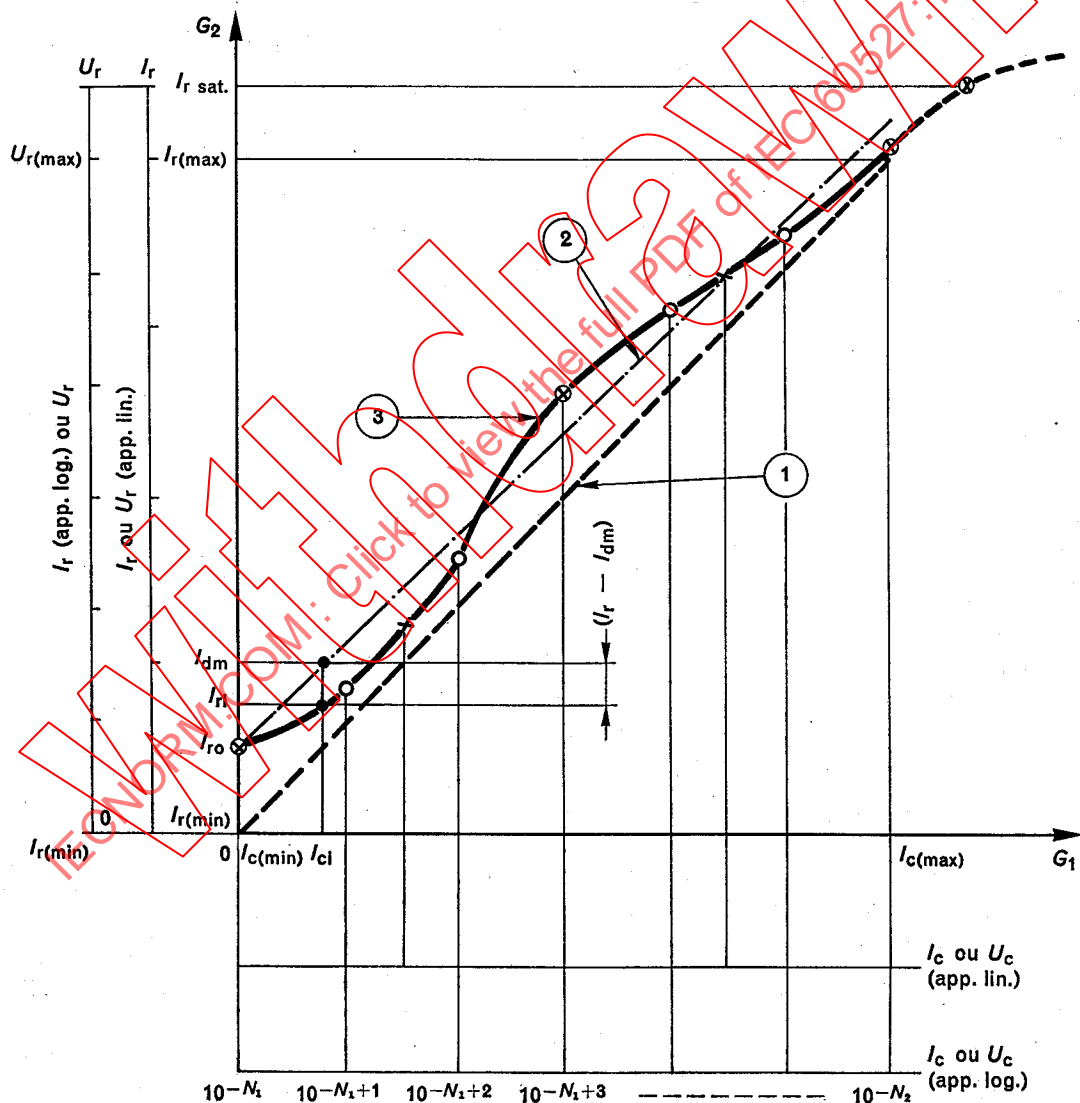
$$\pm |(e_{1.int.})_{(max)}|$$

Notes 1. — Dans certains cas, la droite moyenne est tellement voisine de la courbe réelle que la lecture de $e_{1.int.}$ peut être très difficile. On trace alors la courbe $\Delta U_r = U_r - U_c = f(U_c)$, et on détermine $e_{1.int.}$ par rapport à la droite moyenne obtenue.

2. — Si on a opéré en boucle ouverte (voir le paragraphe 17.1.3), on obtient l'erreur de linéarité intégrale en boucle ouverte:

$$\pm \left(\left| \frac{U_r - U_{dm}}{U_{dm}} \right|_{(max)} \right)$$

U_{dm} étant l'ordonnée du point de la droite moyenne d'abscisse U_r .



- — — — — 1 = droite théorique (droite de référence pour $e_{1.diff.}$)
- · - · - · - 2 = droite moyenne (droite de référence pour $e_{1.int.}$)
- — — — — 3 = courbe réelle de l'appareil
- x = point correspondant à un appareil linéaire
- o = point correspondant à un appareil logarithmique

FIG. 2. — Caractéristiques de linéarité.

For linear amplifiers, the value is indicated (class):

$$\frac{|(I_r - I_{m1})_{(\max)}|}{I_{m1(\max)}}$$

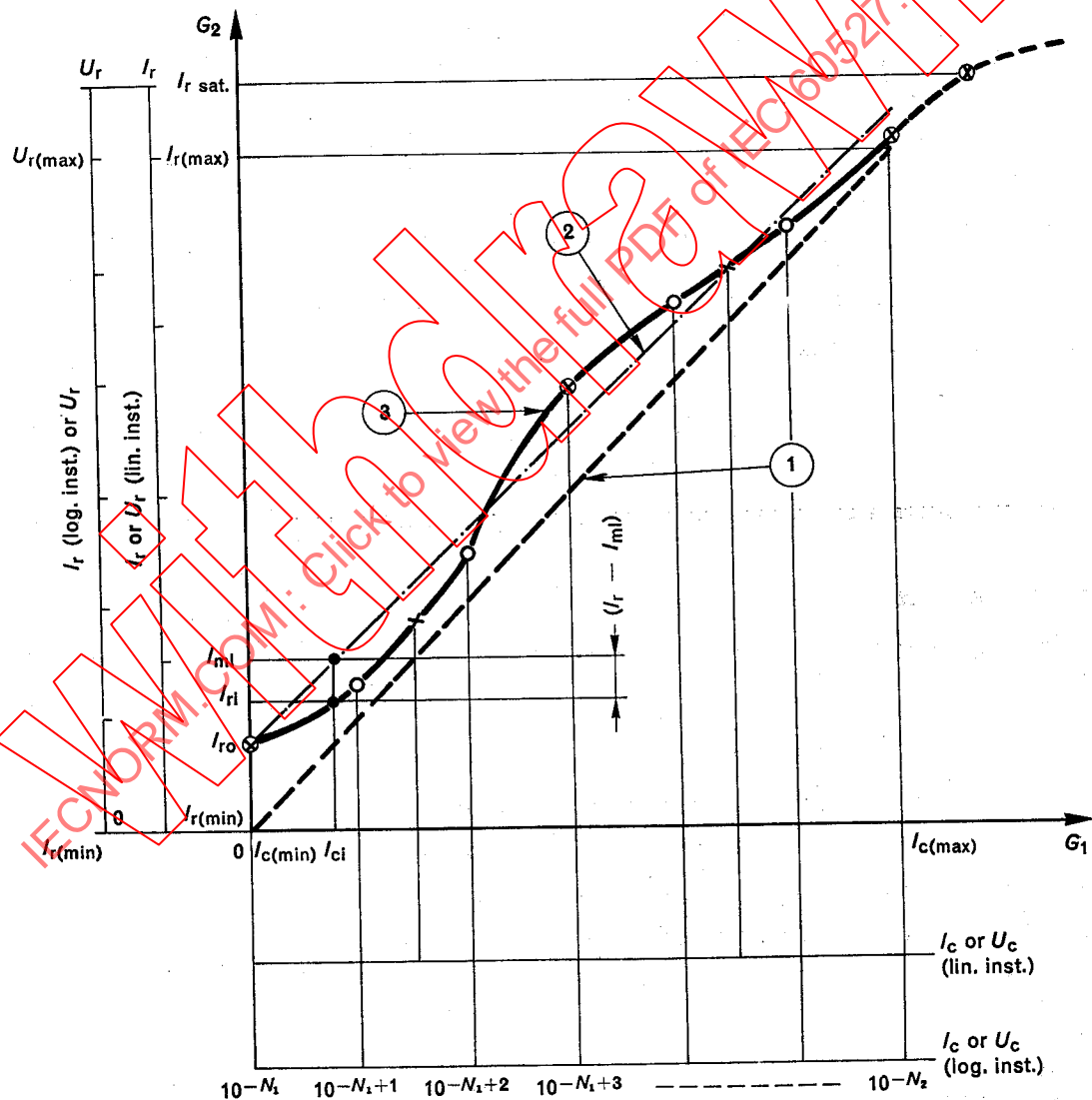
For logarithmic amplifiers, the value is indicated:

$$\pm |(e_{1,\text{int.}})_{(\max)}|$$

- Notes 1. — In some cases, the mean straight line deviates so little from the effective graph that the $e_{1,\text{int.}}$ reading may be very difficult. The graph $\Delta U_r = U_r - U_c = f(U_c)$ is then drawn and $e_{1,\text{int.}}$ determined from the mean straight line obtained.
2. — When the measurement has been performed with the open loop (see Sub-clause 17.1.3), the open loop integral linearity error is obtained:

$$\pm \left(\left| \frac{U_r - U_{m1}}{U_{m1}} \right|_{(\max)} \right)$$

where U_{m1} is the ordinate of the mean straight line point having U_r as abscissa.



448/75

- 1 = theoretical straight line (reference line for $e_{1,\text{dif.}}$)
- ... 2 = mean straight line (reference line for $e_{1,\text{int.}}$)
- 3 = actual instrument graph
- x = point corresponding to a linear instrument
- o = point corresponding to a logarithmic instrument

FIG. 2. — Linearity characteristics.

16.2 Erreur de linéarité différentielle

L'erreur de linéarité différentielle peut être définie par :

$$e_{l.dif.} = \frac{p - p_{(réf.)}}{p_{(réf.)}}$$

où :

p = la pente de la tangente à la courbe réelle de l'appareil (courbe 3 de la figure 2)

$p_{(réf.)}$ = une pente prise comme référence

Il est commode de choisir comme pente de référence la pente de la droite théorique (droite 1 de la figure 2) passant par les points zéro et $I_{c(max)}$, $I_{r(max)}$. Si les échelles choisies sont convenables, cette pente est égale à l'unité et on a alors :

$$e_{l.dif.} = p - 1$$

16.3 Saturation

Si on augmente le courant d'entrée au-delà de $I_{c(max)}$, on observe qu'à partir d'une certaine valeur $I_{r sat.}$ l'indication de sortie I_r (ou U_r) cesse d'augmenter et devient pratiquement constante.

On note la valeur $I_{r sat.}$ ou $U_{r sat.}$

16.4 Concordance entre calibres (appareils multicalibres)

Le courant d'entrée étant réglé à une valeur voisine de l'extrémité d'échelle du calibre inférieur, soit I_{r1} l'indication de l'appareil ou U_{r1} la tension de sortie directe. Sans changer la valeur du courant d'entrée, on passe au calibre immédiatement supérieur et on a soit la nouvelle indication I_{r2} , soit la nouvelle tension U_{r2} .

La concordance entre les deux calibres considérés sera donnée par :

$$e_{1-2} = 100 \frac{I_{r2} - I_{r1}}{I_{r1}} \quad \text{ou} \quad 100 \frac{U_{r2} - U_{r1}}{U_{r1}}$$

On donne en pourcentage la concordance entre chaque calibre de l'appareil et le calibre immédiatement supérieur.

17. Caractéristiques de transfert

On en distingue plusieurs qui sont fonction de la nature des grandeurs d'entrée et de sortie considérées et même du type d'appareil.

17.1 Gain

Le gain est défini comme le rapport entre la valeur d'une grandeur de sortie et la valeur de la grandeur d'entrée correspondante de même nature.

On détermine sa valeur G_i pour quatre ou cinq points par calibre, et on en déduit la valeur moyenne $\bar{G}$.

La valeur du gain de l'appareil peut alors être donnée sous la forme :

$$G = \bar{G} \pm |G_i - \bar{G}|_{(max)}$$

Il y a deux cas :

17.1.1 Gain en courant

Si l'amplificateur fournit un courant de sortie I_2 en fonction de I_1 (cas assez rare), il est très simple de mesurer I_2 au milliampèremètre pour un courant d'entrée I_1 . (Cette mesure peut être effectuée à l'occasion de la détermination de l'erreur.)

On obtient alors le gain en courant :

$$G_i = \frac{I_2}{I_1}$$

16.2 Differential linearity error

The differential linearity error may be defined by:

$$e_{1.\text{dif.}} = \frac{p - p_{(\text{ref.})}}{p_{(\text{ref.})}}$$

where:

p = the slope of the tangent to the actual instrument graph (curve 3 in Figure 2)

$p_{(\text{ref.})}$ = a reference slope

It is convenient to choose for reference the slope of the theoretical straight line joining the points zero and $I_{o(\text{max})}$, $I_{r(\text{max})}$ (line 1 in Figure 2). When the scales are conveniently chosen, this slope equals 1, and:

$$e_{1.\text{dif.}} = p - 1$$

16.3 Saturation

When the input current is increased beyond $I_{o(\text{max})}$, it is observed that from a particular value $I_{r \text{ sat.}}$ the output indication I_r (or U_r) ceases to increase and becomes practically constant.

The $I_{r \text{ sat.}}$ or $U_{r \text{ sat.}}$ value is noted.

16.4 Agreement between ranges (multi-range instruments)

With the input current set at a value near the end of the lower range, either I_{r1} is the instrument indication, or U_{r1} the direct output voltage. Without changing the input current value, with the instrument switches onto the next higher range, either I_{r2} is the new indication or U_{r2} the new voltage.

The agreement between the two ranges considered is given by:

$$e_{1-2} = 100 \frac{I_{r2} - I_{r1}}{I_{r1}} \quad \text{or} \quad 100 \frac{U_{r2} - U_{r1}}{U_{r1}}$$

The agreement between each range and the range immediately above is given as a percentage.

17. Transfer characteristics

Several transfer characteristics are noted depending on the input and output quantities under consideration and even on the type of instrument.

17.1 Gain

The gain is defined as the ratio between an output quantity value and the corresponding input quantity of the same nature.

The gain value G_1 is determined at four or five points for each range and the mean value $\bar{G}$ deduced.

The gain value of the instrument may be given in the form:

$$G = \bar{G} \pm |G_1 - \bar{G}|_{(\text{max})}$$

Two cases exist:

17.1.1 Current gain

When the amplifier provides an output current I_2 as a function of I_1 , which is rather rare, it is very simple to measure I_2 for an input current I_1 with a milliammeter. (This measurement may be performed when determining the error.)

The current gain is thus obtained:

$$G_1 = \frac{I_2}{I_1}$$

17.1.2 Gain en tension

Dans le cas général où c'est une tension U_2 qui est disponible à la sortie de l'appareil, on recherche le gain en tension $G_u = \frac{U_2}{U_1}$. Mais U_1 est faible, de l'ordre du millivolt, sous une impédance élevée, de l'ordre de $10^8 \Omega$ (et sous un isolement de $10^{15} \Omega$), ce qui rend difficile sa mesure directe pour les amplificateurs à contre-réaction.

17.1.3 Amplificateur à contre-réaction à boucle ouverte

Cette méthode consiste à court-circuiter ou à enlever l'élément de contre-réaction et à insérer dans la boucle de contre-réaction une tension variable U_v facile à mesurer qui se substitue à la tension $I_1 \cdot R_{CR}$ en service normal.

La figure 3, ci-dessous, représente le schéma du montage.

Cette méthode permet de s'affranchir en outre, suivant le type d'appareil considéré, des erreurs dues à la résistance de contre-réaction ou à l'effet logarithmique. Si, dans certains amplificateurs logarithmiques, le taux de contre-réaction est différent de 1, on indiquera sa valeur.

La tension d'entrée U_1 peut alors être mesurée et on désigne en pratique par « gain en boucle ouverte » le rapport :

$$G_{u \text{ b.o.}} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{U_v - U_1}{U_1}$$

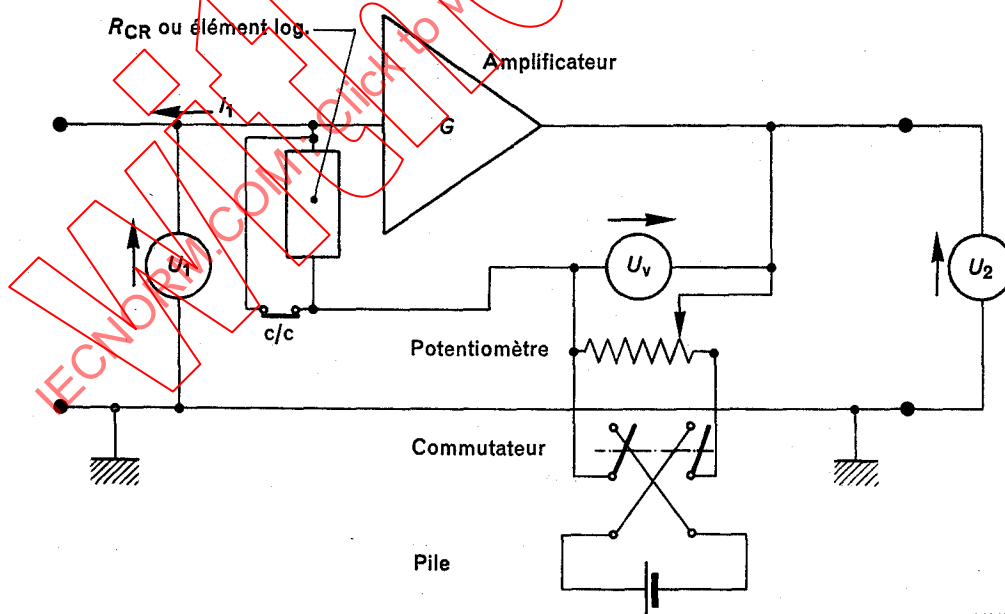
Note. — Cette équation peut s'écrire :

$$\frac{1}{G_{u \text{ b.o.}}} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_v - U_2}{U_2}$$

Par analogie avec l'expression de l'erreur relative, on voit, si on assimile U_v à une grandeur d'entrée (U_v remplace $I_1 \cdot R_{CR}$), U_2 étant une grandeur de sortie, que, lorsque l'appareil fonctionne, l'inverse du gain en boucle ouverte est égal à l'erreur relative :

$$e_{b.o.} \approx \frac{1}{G_{u \text{ b.o.}}} = \frac{U_v - U_2}{U_2}$$

On peut alors indiquer la valeur maximale de l'erreur relative en boucle ouverte: $\pm |e_{b.o.}|_{(\max)}$.



449/75

FIG. 3. — Mesure du gain en boucle ouverte.

17.2 Facteur de conversion

On peut définir un coefficient de conversion $k = \frac{U_2}{I_1}$. Il est identique, pour les amplificateurs linéaires, à la constante théorique étudiée au paragraphe 9.2.1. On peut relever sa valeur moyenne $\bar{k}$ et l'exprimer sous la forme: $\bar{k} \pm |k_1 - \bar{k}|_{(\max)}$.

17.1.2 Voltage gain

In the general case, it is a voltage U_2 which is available at the instrument output; the voltage gain is then studied: $G_u = \frac{U_2}{U_1}$. But U_1 is very small, in the order of 1 mV, across a high impedance, about $10^8 \Omega$ (and with a $10^{15} \Omega$ insulation), and its direct measurement is difficult for an amplifier with negative feedback.

17.1.3 Open loop negative feedback amplifier

This method consists in short-circuiting or replacing the negative feedback element with a variable voltage U_v easy to measure, which is thus substituted for the usual operating voltage $I_1 \cdot R_{fb}$.

Figure 3 below shows the schematic diagram.

This method also allows, according to the instrument under consideration, the elimination of errors due either to the negative feedback resistance or to the logarithmic effect. When, in some logarithmic amplifiers, the negative feedback ratio is different from 1, its value shall be indicated.

The input voltage U_1 may then be measured and in practice the following ratio is designated "open loop gain":

$$G_{u \text{ o.l.}} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{U_v - U_1}{U_1}$$

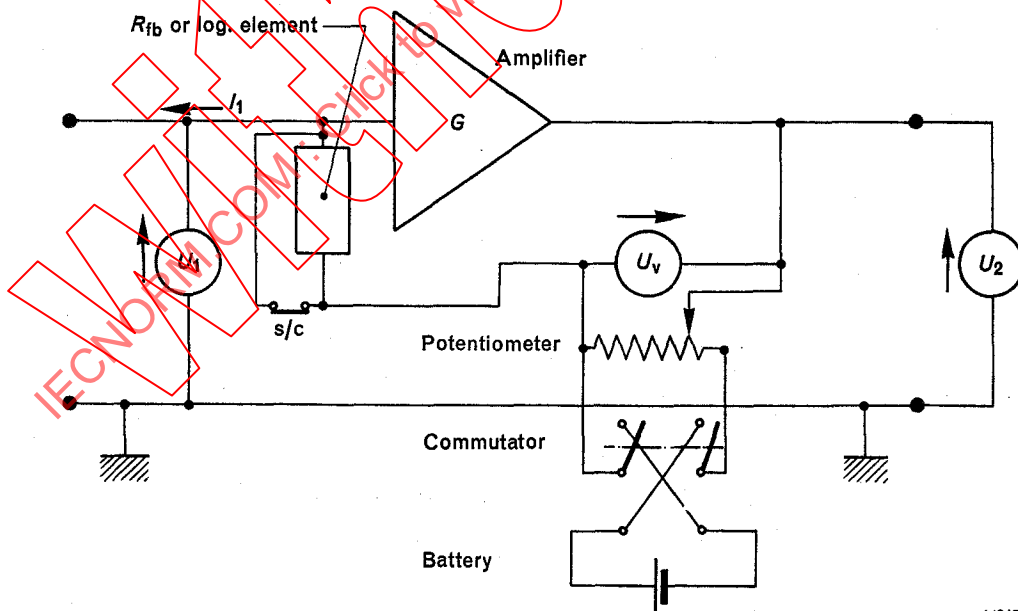
Note. — This equation may be written:

$$\frac{1}{G_{u \text{ o.l.}}} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_v - U_2}{U_2}$$

By analogy with the relative error expression, it may be seen that if U_v is likened to an input quantity (U_v replacing $I_1 \cdot R_{fb}$), as U_2 is an output quantity, then, due to the action of the instrument, the reciprocal of the open loop gain is equal to the relative error:

$$e_{o.l.} \approx \frac{1}{G_{u \text{ o.l.}}} = \frac{U_v - U_2}{U_2}$$

It is then possible to indicate the maximum value of the open loop relative error: $\pm |e_{o.l.}|_{(max)}$.



449/75

FIG. 3. — Open loop gain measurement.

17.2 Conversion factor

It is possible to define a conversion factor $k = \frac{U_2}{I_1}$. For linear amplifiers, this is identical with the theoretical constant studied in Sub-clause 9.2.1. It is possible to note its mean value $\bar{k}$ and to express it in the form: $\bar{k} \pm |k_1 - \bar{k}|_{(max)}$.

Pour les amplificateurs logarithmiques, on peut, soit relever un facteur de conversion pour différentes valeurs de I_1 et obtenir l'erreur de linéarité de ce facteur en traçant la courbe $k = f(I_1)$ et la droite moyenne, soit considérer séparément les constantes a et b de l'équation $U = a \cdot \lg(b \cdot I_1)$ (équation 3 du paragraphe 9.2.2). Dans ce dernier cas, les ordonnées des points de la droite moyenne des abscisses $I_{e(max)}$ et $I_{e(min)}$, relevées sur la figure 2, page 36, permettent de déterminer a et b .

18. Temps de réponse, temps d'établissement et temps de récupération

On mesure les temps de réponse et les temps d'établissement à la montée et à la descente. Les valeurs des temps de réponse ou, de préférence, des temps d'établissement seront indiquées.

La figure 4, page 44, représente (dans le cas d'un appareil linéaire) les différents temps de réponse (à la montée t_{rm} , à la descente t_{rd}) et temps d'établissement (à la montée t_{em} , à la descente t_{ed}). Les variations de l'indication finale à prendre en compte (voir les paragraphes 4.5.1 et 4.5.2) sont données dans le tableau II.

Lorsque des échelons de variations du courant d'entrée différentes auront été adoptés, il faudra préciser les valeurs exactes de départ et d'arrivée que l'on aura utilisées.

TABEAU II
Variations des grandeurs d'entrée et de sortie

	Types	Variation-échelon du courant d'entrée	Variation de l'indication de sortie	
			Temps de réponse	Temps d'établissement
Montée	Appareils linéaires	0 à $I_{(max)}$ du calibre étudié	0 à 0,9 I_r ou 0 à 0,9 U_r	0 à (0,9 ou 1,10) I_r * ou 0 à (0,9 ou 1,10) U_r *
	Appareils logarithmiques	I_1 à 10 I_1	I_r à 9 I_r ou variation de U_r correspondante **	I_r à (9 ou 11) I_r * ou variation de U_r correspondante
Descente	Appareils linéaires	$I_{(max)}$ du calibre considéré à 0	I_r à 0,10 I_r ou U_r à 0,10 U_r	I_r à $\pm$ (0,10 I_r) * ou U_r à $\pm$ (0,10 U_r) *
	Appareils logarithmiques	10 I_1 à I_1	I_r à 0,11 I_r ou variation de U_r correspondante	I_r à (0,11 ou 0,09) I_r * ou variation de U_r correspondante
* Le temps d'établissement est déterminé par l'instant où le signal de sortie atteint et reste dans la région située entre ces deux valeurs (voir le paragraphe 4.5.2). ** En logarithmique, 90 % à la sortie correspond à 80 % de l'échelon du courant d'entrée.				

For logarithmic amplifiers, it is possible either to note a conversion factor for different values of I_1 and to obtain the linearity error of this factor by drawing the graph $k = f(I_1)$ and the mean straight line, or to consider separately the constants a and b in the equation $U = a \cdot \lg(b \cdot I_1)$ (equation 3 in Sub-clause 9.2.2). In this latter case, the ordinates of points on the mean straight line having $I_{e(max)}$ and $I_{e(min)}$ as abscissae as in Figure 2 allow a and b to be determined.

18. Response time, settling time and restoration time

Response times and settling times are measured for both rising and falling steps. Response time values or, preferably, settling time values will be indicated.

Figure 4, page 45, shows (in the case of a linear instrument) the different response times (rise time t_{rr} , fall time t_{fr}) and the different settling times (rise time t_{rs} , fall time t_{fs}). The final indication variations to consider (see Sub-clauses 4.5.1 and 4.5.2) are given in Table II.

If different input current step variations have been chosen, the precise stop and start values shall be indicated.

TABLE II
Input and output quantity variations

	Types	Input current step variation	Output indication variation	
			Response time	Settling time
Rise	Linear instruments	0 to considered rating $I_{(max)}$	0 to 0.9 I_r or 0 to 0.9 U_r	0 to (0.9 or 1.10) I_r * or 0 to (0.9 or 1.10) U_r *
	Logarithmic instruments	I_1 to 10 I_1	I_r to 9 I_r or corresponding U_r variation **	I_r to (9 or 11) I_r * or corresponding U_r variation
Fall	Linear instruments	Considered rating $I_{(max)}$ to 0	I_r to 0.10 I_r or U_r to 0.10 U_r	I_r to $\pm$ (0.10 I_r) * or U_r to $\pm$ (0.10 U_r) *
	Logarithmic instruments	10 I_1 to I_1	I_r to 0.11 I_r or corresponding U_r variation	I_r to (0.11 or 0.09) I_r * or corresponding U_r variation
* The settling time is determined at the moment when the output indication reaches and remains within the region between those two values (see Sub-clause 4.5.2). ** In logarithmic, 90% at the output corresponds to 80% of the step input current.				

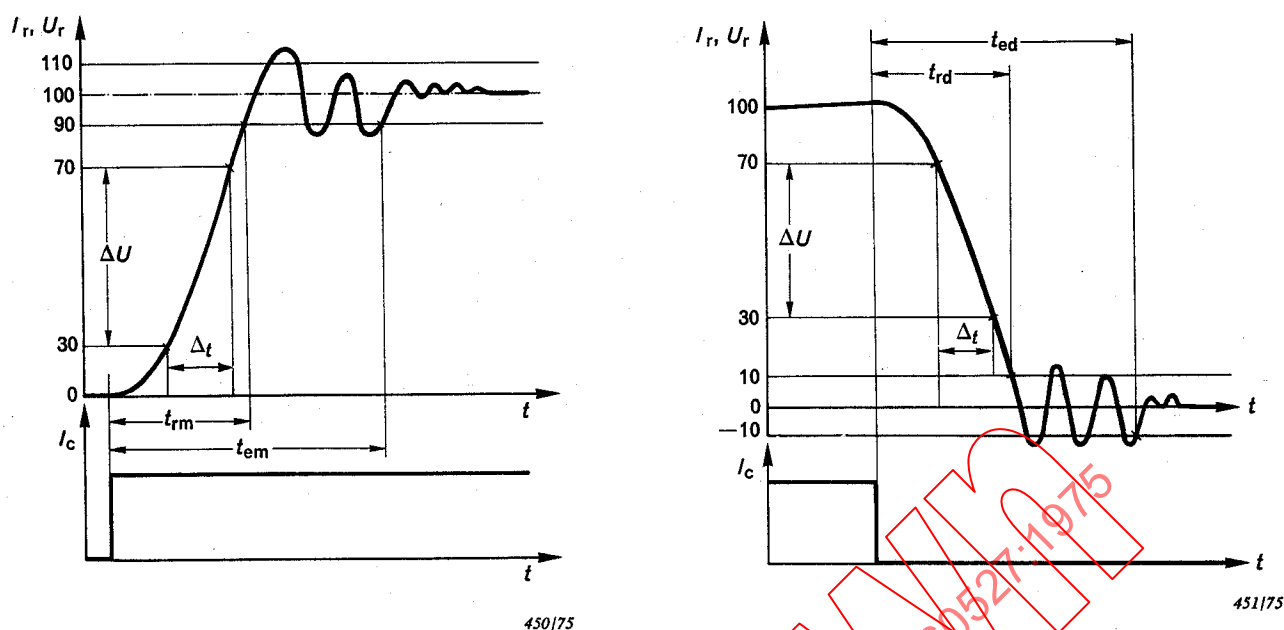


FIG. 4. — Temps de réponse, temps d'établissement et vitesse de balayage $\frac{\Delta U}{\Delta t}$.

18.1 Cas général et temps relativement brefs

Dans le cas général et si les temps à mesurer sont brefs, par exemple inférieurs à 1 s, on emploie un oscilloscope à deux voies et à balayage lent possédant une borne rémanence et on photographie le signal de sortie.

La figure 5 représente un exemple de lecture des temps de réponse et d'établissement sur un oscillogramme.

Lorsque l'on ne dispose que d'un oscilloscope simple trace, on se donnera un repère pour l'instant de départ.

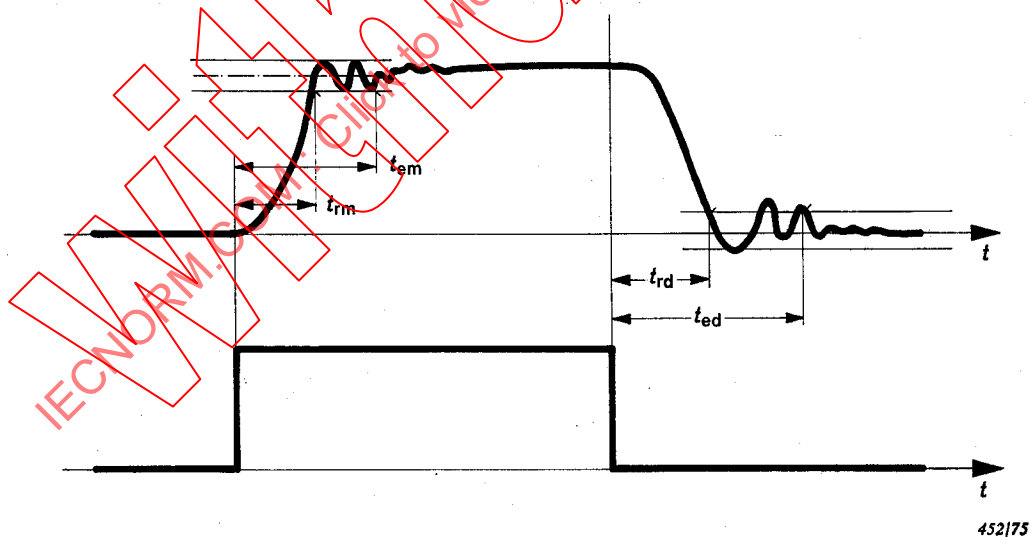


FIG. 5. — Temps de montée et de descente.

18.2 Temps relativement longs

Il s'agit des temps supérieurs à 1 s par exemple.

18.2.1 Si l'on ne dispose pas de sortie directe, seule l'observation au galvanomètre est possible. On mesure les temps au chronomètre, et la précision est faible.

18.2.2 Si l'on dispose d'une sortie directe, on utilise par exemple deux relais à seuil et un chronomètre électronique suivant le montage représenté à la figure 6, page 46. Cette méthode ne permet de mesurer que les temps de réponse. Pour mesurer les temps d'établissement, il faut avoir recours à un oscilloscope ou à un enregistreur.

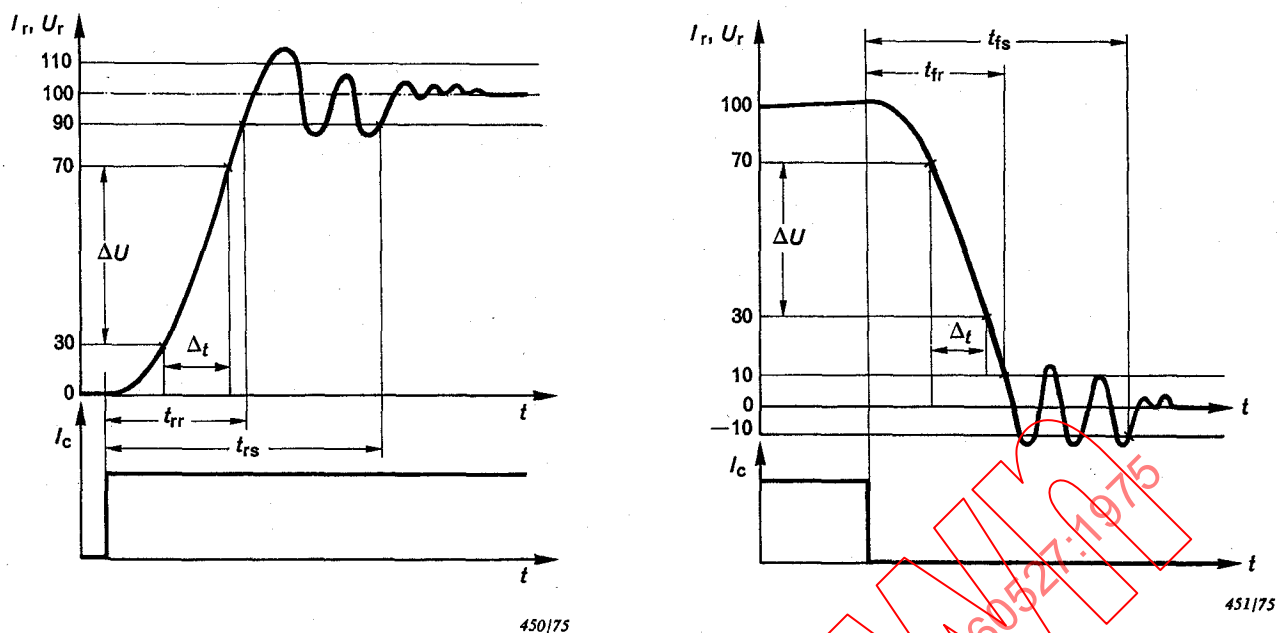


FIG. 4. — Response time, settling time and slew-rate $\frac{\Delta U}{\Delta t}$.

18.1 General case and comparatively short times

In the general case and when the times to be measured are short, for instance shorter than 1 s, a two-trace slow sweep oscilloscope with suitable persistence is used and the output signal is photographed.

Figure 5 shows an example of response time and settling time reading on an oscillogram.

When only a single-trace oscilloscope is available, a reference mark will be given as the start moment.

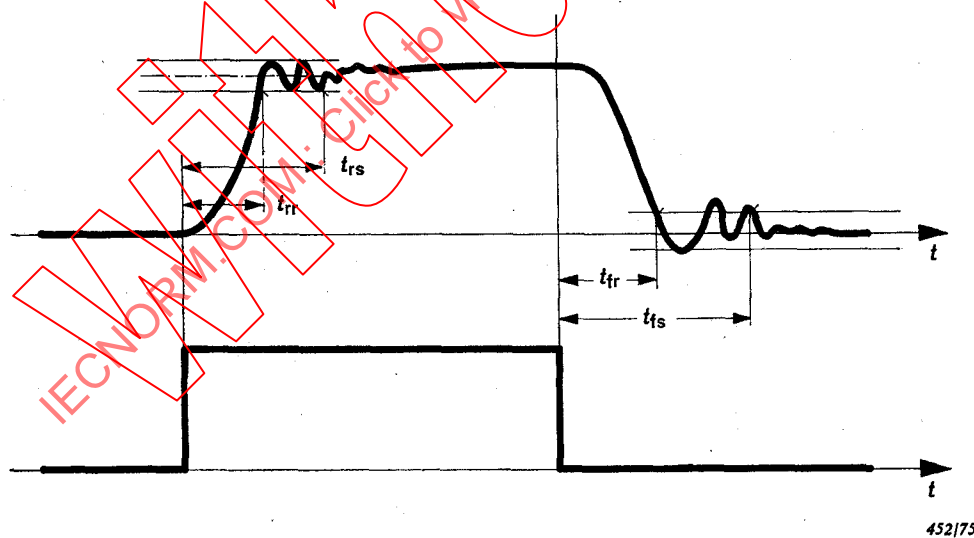


FIG. 5. — Rise time and fall time.

18.2 Comparatively long times

The times in question are greater than 1 s for example.

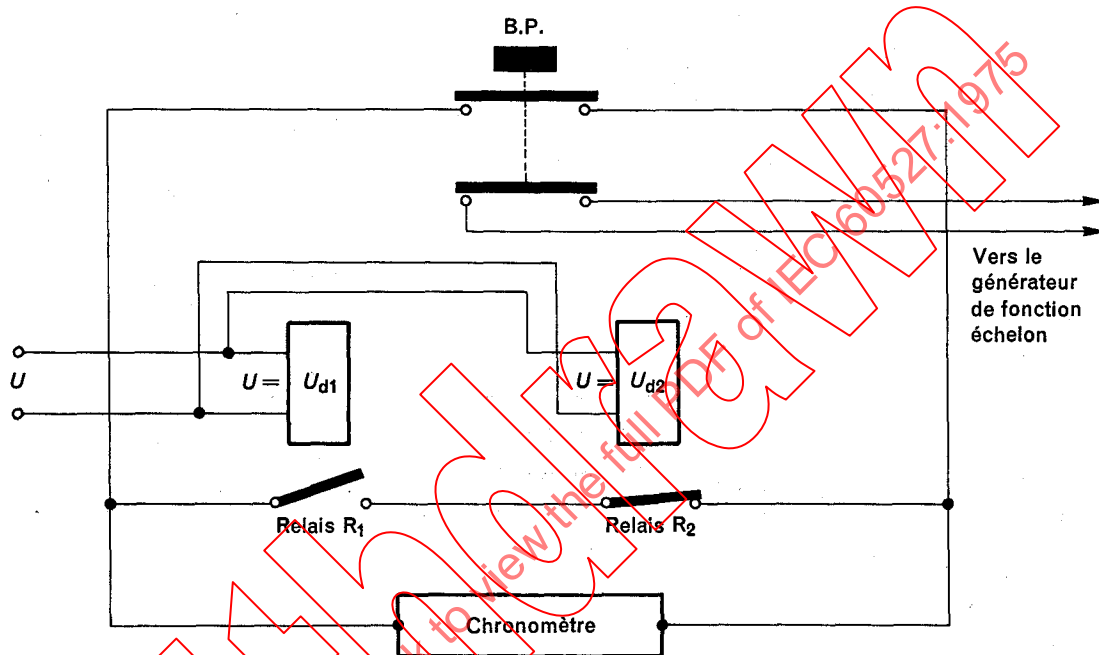
18.2.1 When a direct output is not available, it is only possible to observe with a galvanometer. Times are measured with a chronometer and the precision is low.

18.2.2 When a direct output is available, two threshold relays and an electronic chronometer can be used according to the arrangement shown in Figure 6, page 47. With this method it is only possible to measure the response times. In order to measure the settling times, an oscilloscope or a recorder is necessary.

Les relais sont réglés pour des tensions de déclenchement U_{d1} et U_{d2} correspondant aux valeurs des courants données dans le tableau III et liées à un courant d'entrée relevé I_r . Il est recommandé de choisir ce courant égal soit à $I_{(min)}$ ou à $I_{(max)}$ pour les appareils linéaires, soit à $\frac{I_{(max)}}{10}$ pour les appareils logarithmiques.

Pour commander le départ de l'échelon de variation à l'entrée et du chronomètre, on appuie sur le bouton-poussoir B.P. (laisser appuyé quelques secondes et relâcher dès que le relais R_1 s'est enclenché). Le premier relais R_1 étant enclenché, le deuxième relais R_2 est en position de repos et maintient fermé le circuit. L'apparition d'une tension U_{d2} ouvre le relais R_2 et le chronomètre s'arrête de compter.

Pour la mesure des temps de descente, le relais R_2 devra être choisi de façon que son seuil de déclenchement inférieur soit plus petit que les valeurs indiquées dans le tableau III.



453/75

FIG. 6. — Mesure des temps de réponse.

Note. — Le bouton-poussoir B.P. permet de maintenir le chronomètre dans le cas où des rebondissements se produiraient.

TABLEAU III
Valeurs de déclenchement

	Montée		Descente	
Tension de déclenchement	U_{d1}	U_{d2}	U_{d1}	U_{d2}
Appareils linéaires	0	$0,9 I_r$	I_r	$0,1 I_r$
Appareils logarithmiques	I_r	$9 I_r$	I_r	$0,11 I_r$

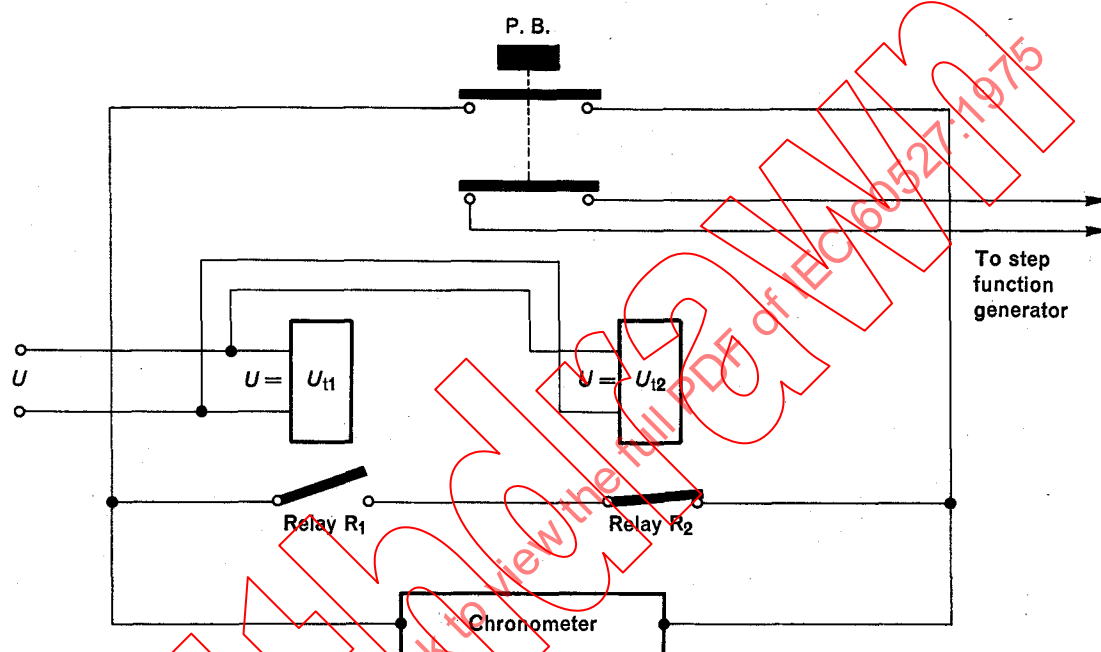
18.3 Utilisation d'une source radioactive

On peut utiliser, au lieu d'un générateur de courant, des sources de rayonnements ionisants et une chambre d'ionisation. Les sources étant convenablement choisies et placées pour produire l'échelon désiré, on utilise un dispositif à écrans qui peut être rapidement modifié.

The relays are set at triggering voltages U_{t1} and U_{t2} corresponding to the current values given in Table III and related to an input current reading I_r . The chosen current should be equal either to $I_{(min)}$ or to $I_{(max)}$ for linear instruments, or $\frac{I_{(max)}}{10}$ for logarithmic instruments.

To control the input step-variation and the chronometer start, press push-button P.B. (keep pressed for a few seconds and release as soon as R_1 relay has operated). The first relay R_1 being on, the second relay R_2 is off and keeps the circuit closed. When the voltage U_{t2} is reached, relay R_2 opens and the chronometer ceases to record.

When measuring fall times, the relay R_2 must be such that its lower triggering threshold is less than the values given in Table III.



453/75

FIG. 6. — Response time measurement.

Note. — The push-button P.B. permits the chronometer to continue operating, should contact rebound occur.

TABLE III
Triggering values

	Rise		Fall	
Triggering voltage	U_{t1}	U_{t2}	U_{t1}	U_{t2}
Linear instruments	0	$0.9 I_r$	I_r	$0.1 I_r$
Logarithmic instruments	I_r	$9 I_r$	I_r	$0.11 I_r$

18.3 Use of a radioactive source

Instead of a current generator, ionizing radiation sources and an ionization chamber may be used. The sources are conveniently chosen and placed so that the desired step is produced when using a screen device which may be changed quickly.

18.4 Influence des capacités à l'entrée de l'appareil

Il est très important de connaître l'influence des capacités raccordées à l'entrée, et qui jouent le rôle de capacités parasites (par exemple sous forme de câbles de connexion), d'une part sur la valeur des différents temps de réponse, d'autre part sur le comportement général de l'appareil.

On effectuera les mesures précédentes (voir l'article 18), au moins dans les cas suivants:

- capacité minimale raccordée à l'entrée;
- capacité maximale, indiquée par le constructeur, raccordée à l'entrée.

On pourra aussi effectuer ces mesures avec diverses longueurs de câble entre générateur et préamplificateur, entre préamplificateur et sous-ensemble amplificateur, ou avec des capacités à fort isolement dont les valeurs seront choisies suivant les cas d'utilisation.

On vérifie que, pour la capacité maximale admise, l'appareil n'entre pas en oscillation.

18.5 Influence des capacités à la sortie de l'appareil

L'influence de la valeur des capacités raccordées à la sortie peut aussi être étudiée en raccordant des capacités de valeur croissante jusqu'à ce que, pour une valeur $C_{(max)}$, l'appareil ne fonctionne plus normalement.

La valeur de $C_{(max)}$ devra être indiquée. (Par exemple, valeur correspondant au début des oscillations.).

18.6 Bande passante à 3 dB

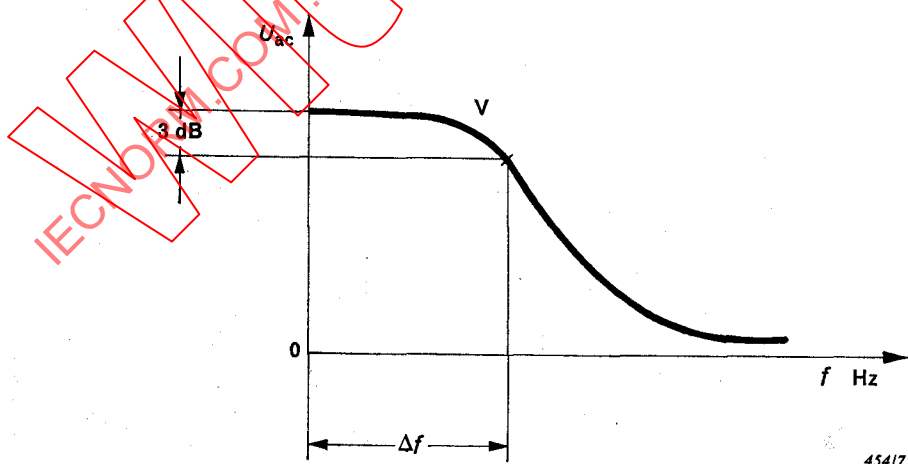
Il peut être parfois intéressant d'étudier le comportement de l'amplificateur jusqu'à des valeurs de fréquence f de l'ordre de 100 Hz. (Dans les conditions d'utilisation envisagées.)

On injecte à l'entrée de l'appareil un courant dont la valeur instantanée i est de la forme: $i = I_{cc} + I_{ca} \sin \omega t$

On prend $I_{cc} = \frac{I_{(max)}}{2}$ et par exemple $I_{ca} = \frac{I_{(max)}}{10}$.

On fait varier ω , et on relève les différentes valeurs de l'amplitude de la tension alternative U_{ca} en sortie directe sur un oscilloscope. On trace la courbe $U_{ca} = f(f)$ comme représenté sur la figure 7.

La valeur Δf de la bande passante à 3 dB est lue directement sur la courbe.



454/75

FIG. 7. — Bande passante.

18.7 Vitesse de balayage

On applique à l'entrée de l'amplificateur un échelon de courant (variation brusque) dont l'amplitude correspond en linéaire à $U_{(max)}$, par exemple. Le signal de sortie U est envoyé sur un oscilloscope. La pente $\Delta U / \Delta t$, définie conventionnellement entre 30% et 70% du signal de sortie U , représente la vitesse de balayage de l'amplificateur (voir la figure 4, page 44). Elle devrait être déterminée pour les polarités positive et négative.

18.4 Influence of input capacitance

It is very important to know the influence of the capacitances connected to the instrument input and which act as parasitic capacitances (for instance in the form of connecting cables), firstly on the different response time values and secondly on the general performance of the instrument.

The measurements described above (see Clause 18) shall be made at least in the following cases:

- minimum capacitance connected to the input;
- maximum capacitance indicated by the manufacturer connected to the input.

These measurements may be performed with various cable lengths between generator and preamplifier, between preamplifier and amplifier sub-assembly, or with high-insulation capacitors. The values must be selected according to circumstances.

Check that the instrument does not start oscillating with the permitted maximum capacitance.

18.5 Influence of output capacitance

The influence of capacitances connected to the instrument output may also be examined by connecting capacitances of increasing values up to a value $C_{(max)}$ for which the instrument ceases to operate normally.

The value of $C_{(max)}$ shall be stated. (For instance, the value corresponding to the start of the oscillations.)

18.6 3 dB bandwidth

It may sometimes be of interest to examine the amplifier performance up to frequency values f of about 100 Hz. (In the operational conditions envisaged.)

A current whose instantaneous value i is in the form: $i = I_{dc} + I_{ac} \sin \omega t$ is supplied at the instrument input.

$I_{dc} = \frac{I_{(max)}}{2}$ is taken, and for example $I_{ac} = \frac{I_{(max)}}{10}$.

ω is varied and the different values of the direct output alternating voltage U_{ac} are noted on an oscilloscope. The graph $U_{ac} = f(f)$ is drawn as shown in Figure 7.

The Δf value of the 3 dB bandwidth is read directly from the graph.

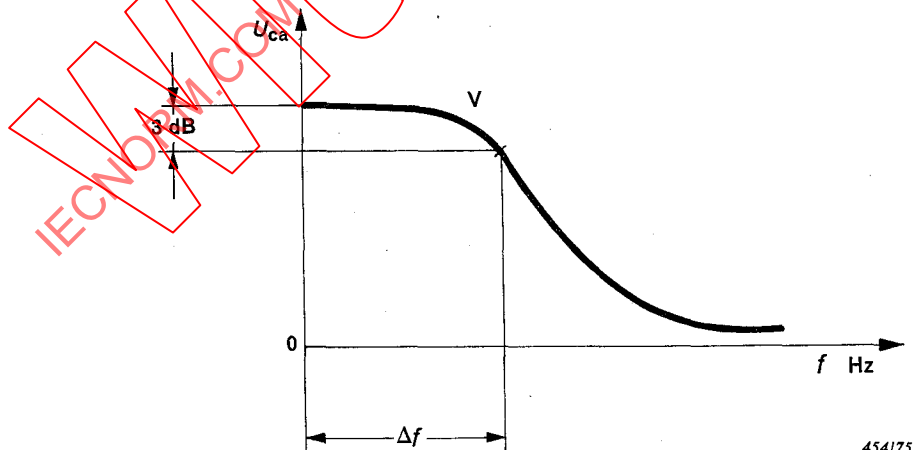


FIG. 7. — Bandwidth.

18.7 Slew-rate

A current step of an amplitude corresponding to an output value $U_{(max)}$ (linear range), for example, is applied to the amplifier input. The output signal U is displayed on an oscilloscope. The slope $\Delta U / \Delta t$, defined conventionally between the 30% and 70% points in the output signal graph, represents the slew-rate of the amplifier (see Figure 4, page 45). It should be measured for both positive and negative polarities.

18.8 Temps de récupération

Un courant d'intensité et de durée suffisante pour obtenir la saturation de l'amplificateur est envoyé à son entrée. Ce courant est ramené à une valeur comprise à l'intérieur de l'étendue de mesure de l'appareil. Le temps est mesuré entre le moment où le courant d'entrée commence à baisser et celui où la tension de sortie atteint et reste dans un pourcentage spécifié de la valeur finale (voir le paragraphe 4.5.3.)

Par exemple, on envoie un courant d'entrée nettement supérieur à $I_{c(max)}$ pour que l'appareil atteigne la saturation (par exemple $\pm 10 I_{c(max)}$). L'appareil se bloque au courant de saturation $I_{c sat.}$ (voir la figure 8 ci-dessous) correspondant à un courant relevé $I_r sat.$ et à une tension relevée $U_r sat.$. On arrête le courant d'entrée et on mesure le temps à partir de ce moment jusqu'à l'instant où la tension de sortie devient nulle ou pratiquement nulle (par exemple $\pm 10\% U_{r(max)}$). C'est le temps de récupération $t_{rec.}$ de l'amplificateur après saturation.

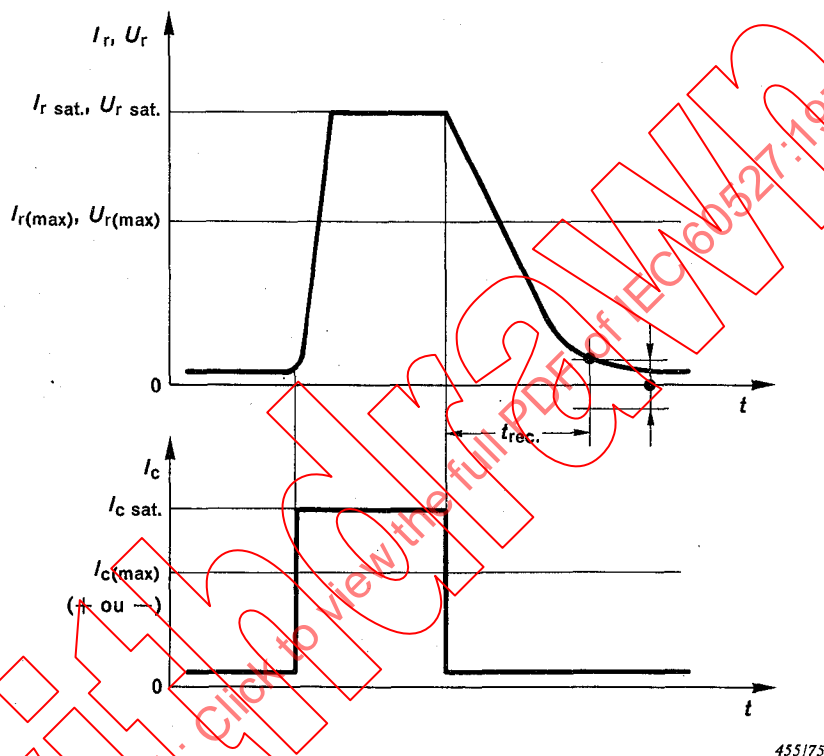


Fig. 8. — Temps de récupération.

19. Erreur de stabilité

19.1 L'erreur de stabilité de l'appareil est déterminée en relevant soit l'écart maximal de l'indication de sortie ΔU , soit la pente maximale de cet écart $\frac{\Delta U}{\Delta t}$ pendant une durée spécifiée.

La durée spécifiée devra être de:

- 1 h pour l'erreur de stabilité à court terme;
- 7 h et 24 h pour les erreurs de stabilité à moyen terme;
- 10 jours pour l'erreur de stabilité à long terme;
- 3 mois pour l'erreur de stabilité à très long terme.

19.2 L'emploi d'un voltmètre enregistreur est pratiquement obligatoire et on a avantage à l'utiliser avec une méthode d'opposition.

Les mesures ne commenceront qu'après un arrêt de l'appareil d'au moins 1 h.

Le courant d'entrée sera réglé à $\frac{I_{(max)}}{2}$ pendant les mesures et l'instant origine est donné par la fin du temps de stabilisation préalable (voir le paragraphe 4.6.5).

18.8 Restoration time

A current of sufficient strength and duration to saturate the amplifier is supplied at the input. This current is reduced to a value within the range of the instrument. The time is measured between the moment of reduction and the moment when the output reaches and remains within a specified percentage of the final value (see Sub-clause 4.5.3).

For example, a current much stronger than $I_{c(max)}$ ($\pm 10 I_{c(max)}$ for example) is supplied at the input to reach saturation. The instrument is blocked to a saturation current $I_{e sat.}$ (see Figure 8 below) corresponding to the reading of a current $I_{r sat.}$ and of a voltage $U_{r sat.}$. The input current is stopped and the time is measured between the moment of stopping and the moment when the output voltage reaches zero or nearly zero ($\pm 10\% U_{r(max)}$ for example). This duration is the restoration time $t_{res.}$ of the amplifier after saturation.

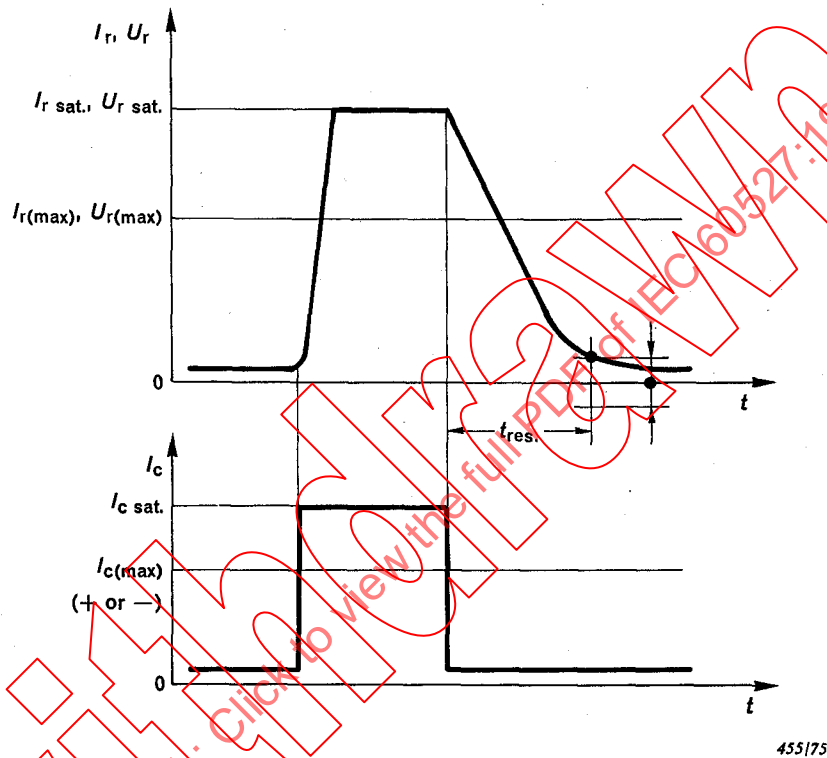


FIG. 8. — Restoration time.

19. Stability error

19.1 The instrument stability error is determined by noting either the output indication maximum deviation ΔU or the maximum slope of this deviation $\frac{\Delta U}{\Delta t}$ during a specified time interval.

The specified time interval shall be:

- 1 h for short-term stability error;
- 7 h and 24 h for middle-term stability error;
- 10 days for long-term stability error;
- 3 months for very long-term stability error.

19.2 The use of a recording voltmeter is essential in practice and it is advantageous to use it in an opposition method.

The measurements shall not start until the instrument has been switched off for at least 1 h.

The input current shall be set at $\frac{I_{(max)}}{2}$ during the measurements and the drift figures are taken after a period equal to the previous stabilization time (see Sub-clause 4.6.5).

La figure 9, ci-dessous, représente l'allure générale d'un enregistrement.

On note les valeurs des différentes dérives relevées que l'on exprime en ΔU (ou $\frac{\Delta U}{\Delta t}$) en x heures ou en $\frac{\Delta U}{U}$ (ou en $\frac{\Delta U/U}{\Delta t}$).

On peut aussi indiquer $e_t = 100 \frac{\Delta U}{U_{(\max)}}$ ou $100 \frac{\Delta U}{a}$ (voir le paragraphe 12.3).

19.3 Si l'on recherche plus de précision, le courant d'entrée peut être produit avantageusement par une chambre d'ionisation adaptée à la mesure, exposée au rayonnement d'une source radioactive de grande période. Cette méthode présente l'avantage d'éliminer la dérive du générateur de courant, qui peut être gênante pour les courants faibles et les dérives à long terme.

Note. — Généralement, on peut relever sur l'enregistrement obtenu la valeur maximale crête à crête des fluctuations basse fréquence de U autour de la valeur moyenne.

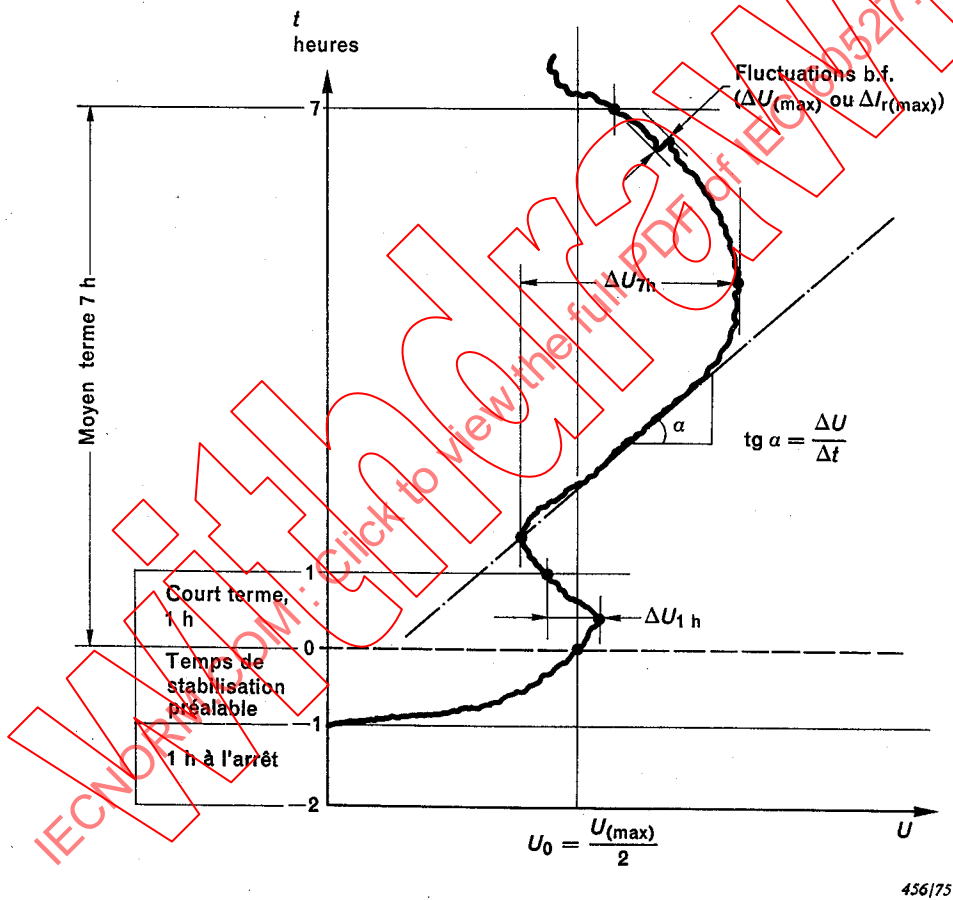


FIG. 9. — Erreur de stabilité.

20. Fluctuations de l'indication de sortie

Ce sont les variations basse et haute fréquence de l'indication de sortie observées soit lorsque le courant d'entrée est nul, entrée blindée, soit lorsque $I = \frac{I_{(\max)}}{2}$ par exemple.

20.1 Si l'on ne dispose pas d'une sortie directe, on ne peut que lire la variation maximale sur le galvanomètre et on indiquera $\Delta I_{r(\max)}$ de part et d'autre de I_{ro} , ou $\pm \frac{\Delta I_{r(\max)}}{2}$ pour $I_{ro} = \frac{I_{(\max)}}{2}$ par exemple.

Figure 9 below shows a typical recording.

The different drift values are noted and expressed as ΔU (or $\frac{\Delta U}{\Delta t}$) in x hours or as $\frac{\Delta U}{U}$ (or as $\frac{\Delta U/U}{\Delta t}$).

Also $e_t = 100 \frac{\Delta U}{U_{(\max)}}$ or $100 \frac{\Delta U}{a}$ may be obtained (see Sub-clause 12.3).

19.3 When greater precision is desired, it may be advantageous to generate the input current by an ionization chamber adapted to the measurement, irradiated by a long half-life radioactive source. This method has the advantage of avoiding the current generator drift, which might be disturbing in the cases of low currents and long-term drift measurements.

Note. — Generally, it is possible to observe the maximum peak-to-peak value of the low-frequency fluctuations of U around its mean value on the recording.

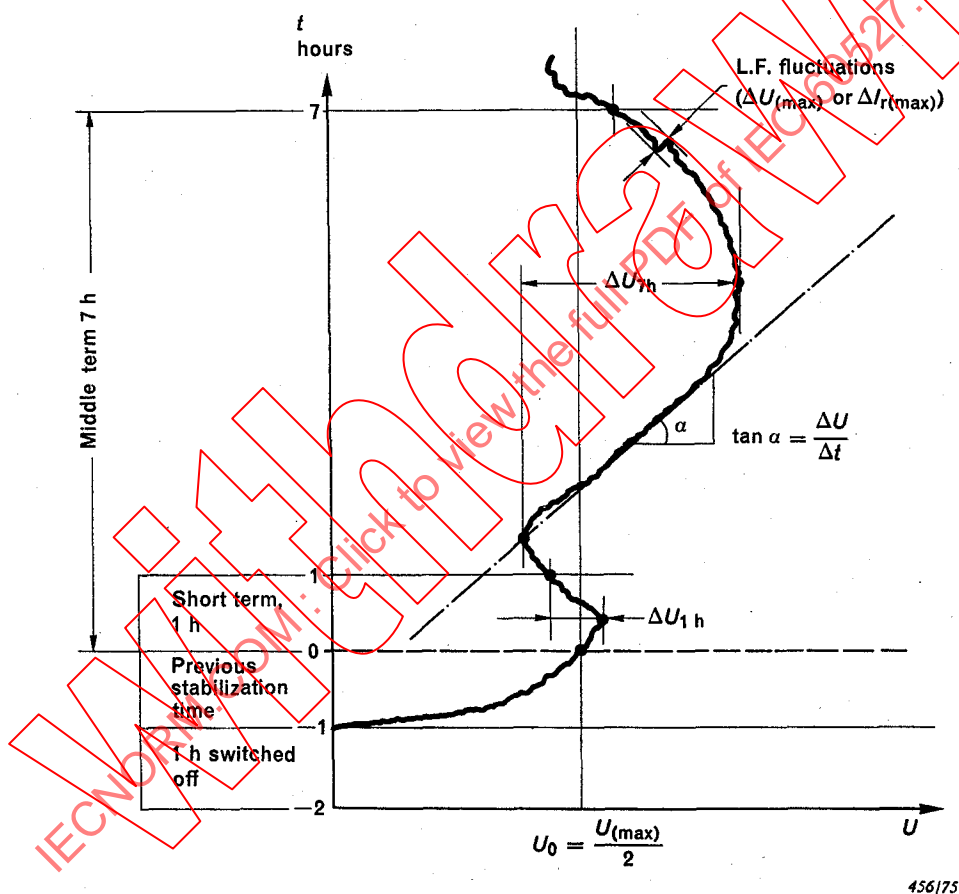


FIG. 9. — Stability error.

20. Output indication fluctuations

These are the high- and low-frequency output indication variations observed either with a zero input current, shielded input, or when $I = \frac{I_{(\max)}}{2}$ for example.

20.1 When a direct output is not available on an instrument, only a reading of the maximum variation on the galvanometer is possible and $\Delta I_{r(\max)}$ on each side of I_{r0} or $\pm \frac{\Delta I_{r(\max)}}{2}$ will be indicated for $I_{r0} = \frac{I_{(\max)}}{2}$ for example.

20.2 Si on dispose d'une sortie directe, les fluctuations haute fréquence sont lues sur un oscilloscope à grande sensibilité (1 à 5 mV/cm par exemple) et de bande passante à 3 dB supérieure à 4 MHz dont on aura pris soin de régler la brillance du spot à sa valeur maximale. On indiquera la valeur maximale crête à crête observée

$$\Delta U_{\text{HF(max)}} \text{ pour } I = 0 \text{ et pour } I = \frac{I_{(\text{max})}}{2}.$$

Les fluctuations basse fréquence sont lues sur un enregistreur de bande passante à 3 dB d'environ 1 Hz, et on indiquera la valeur maximale crête à crête observée $\Delta U_{\text{BF(max)}}$ pour: $I = 0$ et pour $I = \frac{I_{(\text{max})}}{2}$.

On peut aussi indiquer $F = 100 \frac{\Delta U}{U_{(\text{max})}}$ ou $100 \frac{\Delta U}{a}$ (voir le paragraphe 12.3).

20.3 On peut également mesurer la valeur du bruit à la sortie de l'amplificateur au moyen d'un voltmètre de valeur efficace et éventuellement d'un amplificateur sélectif.

20.4 Les variations du signal de sortie sous l'influence de la fréquence du réseau alternatif peuvent être étudiées. On indique alors $e_f = 100 \frac{\Delta U}{U_{(\text{max})}}$ ou $100 \frac{\Delta U}{a}$ (voir le paragraphe 12.3). Les essais sont analogues à ceux de l'article 21 ci-après, mais on fait varier la fréquence du réseau dans des limites spécifiées (1%, voir le tableau I).

21. Variations en fonction de la tension d'alimentation

Les essais correspondants sont en principe exécutés avec un courant d'entrée réglé à $\frac{I_{(\text{max})}}{2}$ et avec un courant de sortie nul.

21.1 Alimentation directe par le réseau alternatif

On règle successivement la tension d'alimentation de l'amplificateur aux valeurs: U_N (tension nominale), $U_N + 10\%$, $U_N - 10\%$. On relève la valeur de U correspondante. La figure 10, page 56, représente l'allure d'un enregistrement obtenu avec un appareil qui présente une dérive à court terme importante.

Le choix de la valeur de U à retenir peut présenter quelques difficultés, car s'il est toujours possible de s'affranchir des fluctuations en traçant une courbe moyenne « lissant la courbe réelle », il faut définir une méthode permettant de s'affranchir de la dérive.

On opérera comme suit:

a) Si l'appareil présente peu ou pas de dérive, la courbe moyenne sera une droite parallèle à l'axe. L'ordonnée de cette droite définira U_1 pour $U_N + 10\%$ et U_2 pour $U_N - 10\%$.

b) Si la dérive est relativement importante (comme à la figure 10, page 56), la courbe moyenne n'est pas parallèle à l'axe, mais peut être décomposée en un tronçon curviligne suivi d'un tronçon linéaire.

On prendra pour U la valeur correspondant au début de la partie linéaire, ce point étant soit déterminé au jugé, soit défini comme l'intersection de la courbe moyenne et d'une droite de pente égale à la dérive à court terme que l'on superpose à la partie linéaire de la courbe moyenne.

On indique la valeur du coefficient total de variation en fonction de la tension d'alimentation:

$$K_{u(\text{tot.})} = \frac{U_1 - U_2}{U_N} = \frac{|\Delta U_+| + |\Delta U_-|}{U_N} = \frac{\Delta U_{(\text{tot.})}}{U_N}$$

Ce coefficient diffère du coefficient de variation maximal en fonction de la tension d'alimentation:

$$K_{u(\text{max})} = \pm \frac{|\Delta U_{(\text{max})}|}{U_N}$$

que l'on peut indiquer aussi, de même que $e_u = 100 \frac{\Delta U_{(\text{max})}}{U_{(\text{max})}}$ ou $100 \frac{\Delta U_{(\text{max})}}{a}$ (voir le paragraphe 12.3).