

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

546-1

Deuxième édition
Second edition
1987-12

**Régulateurs à signaux analogiques
utilisés pour les systèmes de conduite
des processus industriels**

**Première partie:
Méthodes d'évaluation des performances**

**Controllers with analogue signals
for use in industrial-process control systems**

**Part 1:
Methods of evaluating the performance**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 546-1: 1987

Numéros des publications

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

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

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

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

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

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

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

546-1

Deuxième édition
Second edition
1987-12

**Régulateurs à signaux analogiques
utilisés pour les systèmes de conduite
des processus industriels**

**Première partie:
Méthodes d'évaluation des performances**

**Controllers with analogue signals
for use in industrial-process control systems**

**Part 1:
Methods of evaluating the performance**

© IEC 1987 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	4
PRÉFACE	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Relations fondamentales	8
3.1 Relations entrée/sortie d'un régulateur idéalisé	8
3.2 Limitations	10
3.3 Graduation des cadrans des régulateurs	12
4. Définitions	12
4.1 Bande proportionnelle	12
4.2 Action directe	12
4.3 Action inverse	12
4.4 Ecart total permanent	12
4.5 Régulateur proportionnel (P)	12
4.6 Régulateur proportionnel et par dérivation (PD)	12
4.7 Régulateur proportionnel et par intégration (PI)	12
4.8 Régulateur PID	14
5. Conditions générales d'essais	14
5.1 Conditions d'environnement	14
5.2 Conditions d'alimentation	14
5.3 Impédance de charge	16
5.4 Autres conditions	16
5.5 Stabilisation du signal de sortie du régulateur	16
6. Ecart total permanent	18
6.1 Conditions initiales	18
6.2 Modalités de l'essai	18
7. Affichages et graduations d'échelle	20
7.1 Vérification des graduations de la consigne	20
7.2 Action proportionnelle	20
7.3 Action par intégration	22
7.4 Action par dérivation	24
8. Action des grandeurs d'influence	26
8.1 Conditions initiales	26
8.2 Influences climatiques	26
8.3 Influences mécaniques	28
8.4 Influence de l'alimentation	30
8.5 Perturbations électriques	34
8.6 Charge de sortie (régulateurs électriques seulement)	36
8.7 Essai accéléré de vieillissement	36
9. Caractéristiques du circuit de sortie et consommation de puissance	38
9.1 Energie consommée et fournie	38
9.2 Transfert automatique-manuel	38
9.3 Facteur d'ondulation du signal de sortie	40
10. Réponse harmonique	40
10.1 Objet des essais de réponse harmonique	40
10.2 Modalités de l'essai	40
10.3 Dépouillement des résultats	42
11. Essais divers	42
11.1 Essai de surtension	42
11.2 Résistance d'isolement	44
11.3 Surcharge d'entrée	44
12. Documentation	44
13. Examen technique	44
14. Rapport d'évaluation	44
15. Résumé des essais	46
FIGURE 1	8
FIGURES 2 à 10	52

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1. Scope	7
2. Object	7
3. Basic relations	9
3.1 Input/output relations of idealized controllers	9
3.2 Limitations	11
3.3 Dial graduation of controllers	13
4. Definitions	13
4.1 Proportional band	13
4.2 Direct acting	13
4.3 Reverse acting	13
4.4 Offset	13
4.5 Controller, proportional (P)	13
4.6 Controller, proportional plus derivative (rate) (PD)	13
4.7 Controller, proportional plus integral (reset) (PI)	13
4.8 Controller PID	15
5. General test conditions	15
5.1 Environmental conditions	15
5.2 Supply conditions	15
5.3 Load impedance	17
5.4 Other conditions	17
5.5 Stabilizing the controller output	17
6. Offset	19
6.1 Initial conditions	19
6.2 Test procedure	19
7. Dial markings and scale values	21
7.1 Checking of set point scales	21
7.2 Proportional action	21
7.3 Integral action	23
7.4 Derivative action	25
8. Effect of influence quantities	27
8.1 Initial conditions	27
8.2 Climatic influences	27
8.3 Mechanical influences	29
8.4 Power supply influences	31
8.5 Electrical interferences	35
8.6 Output load (electric controllers only)	37
8.7 Accelerated operational life test	37
9. Output characteristics and power consumption	39
9.1 Consumed and delivered energy	39
9.2 "Automatic"/"Manual" transfer	39
9.3 Ripple content of electrical output	41
10. Frequency response	41
10.1 Application of frequency response tests	41
10.2 Test procedure	41
10.3 Analysis of test results	43
11. Miscellaneous tests	43
11.1 Voltage test	43
11.2 Insulation resistance	45
11.3 Input over-range	45
12. Documentary information	45
13. Technical examination	45
14. Test report	45
15. Summary of tests	47
FIGURE 1	9
FIGURES 2 to 10	52

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**RÉGULATEURS À SIGNAUX ANALOGIQUES
UTILISÉS POUR LES SYSTÈMES DE CONDUITE
DES PROCESSUS INDUSTRIELS**

Première partie: Méthodes d'évaluation des performances

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Sous-comité 65B: Eléments des systèmes, du Comité d'Etudes n° 65 de la CEI: Mesure et commande dans les processus industriels.

Cette deuxième édition remplace la première édition de la Publication 546 de la CEI, parue en 1976.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
65B(BC)43	65B(BC)52

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

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

- Publications n°s 27-2A (1975): Symboles littéraux à utiliser en électronique, Deuxième partie: Télécommunications et électronique, Premier complément.
- 50(351) (1975): Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), Chapitre 351: Commande et régulation automatiques.
- 68-2-1 (1974): Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique, Deuxième partie: Essais — Essais A: Froid.
- 68-2-3 (1969): Essai Ca: Essai continu de chaleur humide.
- 68-2-6 (1982): Essai Fc et guide: Vibrations (sinusoïdales).
- 68-2-31 (1969): Essai Ec: Chute et culbute, essai destiné en premier lieu aux matériels.
- 160 (1963): Conditions atmosphériques normales pour les essais et les mesures.
- 348 (1978): Règles de sécurité pour les appareils de mesure électroniques.
- 381: Signaux analogiques pour systèmes de commande de processus.
- 382 (1971): Signal analogique pneumatique pour des systèmes de conduite de processus.
- 801-3 (1984): Compatibilité électromagnétique pour les matériels de mesure et de commande dans les processus industriels, Troisième partie: Prescriptions relatives aux champs de rayonnements électromagnétiques.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CONTROLLERS WITH ANALOGUE SIGNALS FOR USE IN INDUSTRIAL-PROCESS CONTROL SYSTEMS

Part 1: Methods of evaluating the performance

FOREWORD

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

PREFACE

This standard has been prepared by Sub-Committee 65B: Elements of Systems, of IEC Technical Committee No. 65: Industrial-process Measurement and Control.

This second edition replaces the first edition of IEC Publication 546 issued in 1976.

The text of this standard is based on the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting
65B(CO)43	65B(CO)52

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the Voting Report indicated in the above table.

The following IEC publications are quoted in this standard:

Publications Nos. 27-2A (1975): Letter Symbols to Be Used in Electrical Technology, Part 2: Telecommunications and Electronics, First Supplement.

50(351) (1975): International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 351: Automatic Control.

68-2-1 (1974): Basic Environmental Testing Procedures, Part 2: Tests — Tests A: Cold.

68-2-3 (1969): Test Ca: Damp Heat, Steady State.

68-2-6 (1982): Test Fc and Guidance: Vibration (Sinusoidal).

68-2-31 (1969): Test Ec: Drop and Topple, Primarily for Equipment-type Specimens.

160 (1963): Standard Atmospheric Conditions for Test Purposes.

348 (1978): Safety Requirements for Electronic Measuring Apparatus.

381: Analogue Signals for Process Control Systems.

382 (1971): Analogue Pneumatic Signal for Process Control Systems.

801-3 (1984): Electromagnetic Compatibility for Industrial-process Measurement and Control Equipment, Part 3: Radiated Electromagnetic Field Requirements.

RÉGULATEURS À SIGNAUX ANALOGIQUES UTILISÉS POUR LES SYSTÈMES DE CONDUITE DES PROCESSUS INDUSTRIELS

Première partie : Méthodes d'évaluation des performances

INTRODUCTION

Les méthodes d'évaluation données dans la présente norme sont destinées à être utilisées par les constructeurs pour déterminer les performances de leurs produits, et par les utilisateurs, ou tout organisme d'essai indépendant, pour vérifier les performances spécifiées par le constructeur.

La deuxième partie de la norme, Publication 546-2 de la CEI, décrit une série limitée d'essais utilisables comme essais de réception.

Les conditions d'essais spécifiées dans la présente norme, par exemple la plage de température ambiante, l'alimentation, etc., doivent être prises en considération en l'absence d'autres valeurs agréées par le constructeur et l'utilisateur.

Les essais spécifiés dans la présente norme ne sont pas forcément suffisants pour des instruments spécialement adaptés à des conditions exceptionnellement sévères; inversement, une série d'essais plus restreinte peut convenir à des instruments prévus pour fonctionner dans des conditions plus limitées.

Une liaison des plus étroites entre le constructeur et un organisme d'essai est souhaitable. Les spécifications du constructeur doivent être prises en considération lors de l'élaboration du programme des essais, et il convient d'inviter le constructeur à commenter tant le programme des essais que leurs résultats. Il est recommandé d'inclure ses observations sur les résultats dans tout rapport émanant de l'organisme d'essai.

1. Domaine d'application

La présente norme s'applique aux régulateurs pneumatiques et électriques pour processus industriels utilisant des signaux d'entrée et de sortie analogiques continus, conformes aux normes internationales en vigueur.*

Bien que les essais décrits ci-après concernent les régulateurs utilisant de tels signaux, on notera qu'ils peuvent en principe être appliqués à des régulateurs ayant des signaux différents, à condition que ces signaux soient continus. Ces méthodes d'essais peuvent être utilisées pour des appareils de technologie numérique, sous réserve que leurs signaux d'entrée et de sortie restent analogiques.

2. Objet

La présente norme a pour objet de spécifier des méthodes d'essais uniformes pour l'évaluation des performances des régulateurs à signaux d'entrée et de sortie analogiques pour processus industriels.

Lorsqu'une évaluation complète en accord avec la présente norme n'est pas nécessaire, les essais demandés doivent être effectués et leurs résultats présentés conformément aux parties correspondantes de la norme. Le programme d'essai sera fixé par accord mutuel entre constructeur et utilisateur en tenant compte de la nature et de l'importance particulière du matériel concerné.

* Publications 381 et 382 de la CEI.

CONTROLLERS WITH ANALOGUE SIGNALS FOR USE IN INDUSTRIAL-PROCESS CONTROL SYSTEMS

Part 1: Methods of evaluating the performance

INTRODUCTION

The methods of evaluation given in this standard are intended for use by manufacturers to determine the performance of their products and by users, or independent testing establishments, to verify manufacturers' performance specifications.

Part 2 of the standard, IEC Publication 546-2, describes a limited series of tests which may be used as acceptance tests.

The test conditions specified in this standard, for example the range of ambient temperatures, power supply, etc., shall be used when no other values are agreed upon by the manufacturer and the user.

The tests specified in this standard are not necessarily sufficient for instruments specifically designed for unusually arduous duties. Conversely, a restricted series of tests may be suitable for instruments designed to perform within a limited range of conditions.

It will be appreciated that the closest liaison should be maintained between an evaluating body and the manufacturer. Note shall be taken of the manufacturer's specifications for the instrument when the test program is being decided, and the manufacturer should be invited to comment on both the test program and the results. His comments on the results should be included in any report produced by the testing organization.

1. Scope

This standard applies to pneumatic and electric industrial-process controllers using analogue continuous input and output signals which are in accordance with current international standards.*

It should be noted that while the tests specified herein cover controllers having such signals, they can be applied in principle to controllers having different but continuous signals. These methods of evaluation may also be employed on devices which internally use digital concepts and elements provided the input and output signals are conventional analogue signals.

2. Object

This standard is intended to specify uniform methods of test for evaluating the performance of industrial-process controllers with analogue input and output signals.

When a full evaluation in accordance with this standard is not required, those tests which are required shall be performed and the results reported in accordance with those parts of the standard which are relevant. The testing program should be subject to an agreement between manufacturer and user, depending on the nature and the extent of the equipment under consideration.

* IEC Publications 381 and 382.

3. Relations fondamentales

3.1 Relations entrée/sortie d'un régulateur idéalisé

Sous sa forme la plus simple, la relation entrée/sortie peut être donnée par une équation que l'on présente généralement sous l'une des formes suivantes:

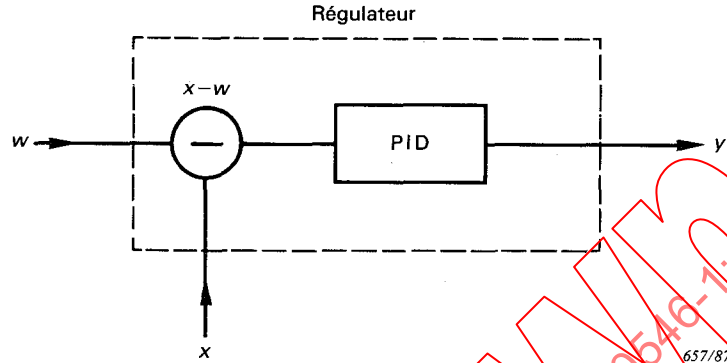


FIG. 1. — Signaux d'entrée et de sortie d'un régulateur idéalisé.

$$y - y_0 = K_p (x - w) + K_I \int_0^t (x - w) dt + K_D \frac{d(x - w)}{dt} \quad (1)$$

$$y - y_0 = K_p \left[(x - w) + \frac{1}{T_I} \int_0^t (x - w) dt + T_D \frac{d(x - w)}{dt} \right] \quad (2a)$$

ou dans le domaine des fréquences:

$$F(j\omega) = K_p \left[1 + \frac{1}{j\omega T_I} + j\omega T_D \right] \quad (2b)$$

Ces équations sont applicables aux régulateurs pour lesquels il n'y a pas d'interaction entre les coefficients K_p , K_I et K_D . Si l'on tient compte de cette interaction, l'équation du régulateur idéalisé peut s'écrire comme suit:

$$y - y_0 = K'_p A \left[(x - w) \frac{1}{AT'_I} \int_0^t (x - w) dt + \frac{T'_D}{A} \frac{d(x - w)}{dt} \right] \quad (3)$$

Dans cette formule, A est le facteur d'interaction qui dépend de la structure du régulateur. On peut souvent l'exprimer de la façon suivante:

$$A = 1 + \frac{T'_D}{T'_I} \quad (4a);$$

$$K'_p = \frac{K_p}{A} \quad (4b);$$

$$T'_I = \frac{T_I}{A} \quad (4c);$$

$$T'_D = A T_D \quad (4d).$$

3. Basic relations

3.1 Input/output relations of idealized controllers

In the most simple form, the relationship may be given by an equation generally presented in one of the following forms:

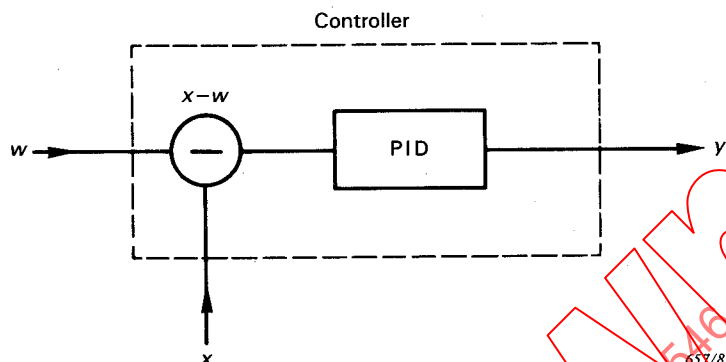


FIG. 1. — Basic signals to/from an idealized controller.

$$y - y_0 = K_p (x - w) + K_I \int_0^t (x - w) dt + K_D \frac{d(x - w)}{dt} \quad (1)$$

$$y - y_0 = K_p \left[(x - w) + \frac{1}{T_I} \int_0^t (x - w) dt + T_D \frac{d(x - w)}{dt} \right] \quad (2a)$$

or in the frequency domain:

$$F(j\omega) = K_p \left[1 + \frac{1}{j\omega T_I} + j\omega T_D \right] \quad (2b)$$

These equations are valid for controllers with no interaction between the factors K_p , K_I and K_D . The equation for idealized controllers with interaction taken into account may be written as:

$$y - y_0 = K'_p A \left[(x - w) \frac{1}{AT'_I} \int_0^t (x - w) dt + \frac{T'_D}{A} \frac{d(x - w)}{dt} \right] \quad (3)$$

In this equation, A is the interaction factor that depends on the structure of the controller. It can often be written as:

$$A = 1 + \frac{T'_D}{T'_I} \quad (4a);$$

$$K'_p = \frac{K_p}{A} \quad (4b);$$

$$T'_I = \frac{T_I}{A} \quad (4c);$$

$$T'_D = A T_D \quad (4d).$$

où:

- t = temps
- y = signal de sortie (grandeur réglante (voir note 1))
- y_0 = signal de sortie au temps $t = 0$ (sortie du régulateur équilibrée)
- x = valeur de la mesure (grandeur réglée (voir note 1))
- w = valeur de la consigne (grandeur de référence (voir note 1))
- K_p = coefficient d'action proportionnelle (voir note 2)
- K_I = coefficient d'action par intégration (voir note 2)
- K_D = coefficient d'action par dérivation (voir note 2)
- T_I = temps d'action par intégration
- T_D = temps d'action par dérivation
- x, w et, par conséquent, y peuvent être des fonctions du temps t
- j = $\sqrt{-1}$
- ω = pulsation
- $\frac{d}{dt}$ = opérateur de dérivation

Notes 1. — Les définitions entre parenthèses viennent de la Publication 27-2A de la CEI.

2. — Les définitions entre parenthèses viennent de la Publication 50 (351) de la CEI.

3. — La présente norme est limitée aux régulateurs P, PI, PD ou PID.

4. — Les coefficients K_p , K_I et K_D peuvent avoir le signe «plus» ou «moins»: on associe généralement «l'action directe» au signe plus, et «l'action inverse» au signe moins.

5. — Les symboles avec primes (K'_p , T'_I , T'_D) sont des valeurs affichées par opposition aux valeurs réelles.

6. — Les constantes de temps d'intégration et de dérivation concernent seulement les actions par intégration et par dérivation pures (Publication 50(351) de la CEI).

Il existe d'autres types de régulateurs, correspondant à d'autres structures; c'est le cas, par exemple, du régulateur dans lequel la dérivation est appliquée, non pas à $(x - w)$, mais uniquement à la valeur de la mesure x .

L'équation (3) devient dans ce cas:

$$y - y_0 = K'_p A \left[(x - w) + \frac{1}{4T'_I} \int_0^t (x - w) dt + \frac{T'_D}{A} \frac{d}{dt}(x) \right] \quad (5)$$

3.2 Limitations

Les équations décrivant la performance d'un régulateur réel sont habituellement différentes des équations (1) à (5) parce qu'elles comportent des constantes de temps et des limitations.

Deux différences typiques par rapport aux équations d'un régulateur idéalisé peuvent être exprimées comme suit:

a) Gain maximal d'action par intégration V_I

Le gain par intégration des régulateurs réels n'étant pas infini, la partie intégrale des équations (1) et (2) est une approximation de la réponse réelle dans le seul cas de fréquences suffisamment élevées. Aux fréquences basses, l'action par intégration d'un régulateur [soit les termes d'intégration de l'équation (2b)] peut être exprimée dans le domaine des fréquences comme suit:

$$F(j\omega) = K_p \frac{V_I}{1 + j\omega T_I V_I} \quad (6)$$

b) Gain maximal d'action par dérivation V_D

Le gain par dérivation des régulateurs réels étant limité, les termes de dérivation des équations (1) et (2) fournissent une approximation de la réponse réelle dans le seul cas de fréquences suffisamment basses. Dans le cas le plus simple, des termes de constante de temps et de proportionnalité pourront s'ajouter.

Le terme de dérivation de l'équation (2b) peut donc être exprimé dans le domaine des fréquences comme suit:

where:

- t = time
- y = output signal (correcting variable (see note 1))
- y_0 = output signal at time $t = 0$ (controller output balance)
- x = measured value (controlled variable (see note 1))
- w = set point value (reference input variable (see note 1))
- K_p = proportional action factor (proportional-action coefficient (see note 2))
- K_I = integral action factor (integral-action coefficient (see note 2))
- K_D = derivative action factor (derivative-action coefficient (see note 2))
- T_I = reset time
- T_D = rate time
- x and/or w and consequently also y can be functions of time t
- j = $\sqrt{-1}$
- ω = angular velocity
- $\frac{d}{dt}$ = differential operator

Notes 1. — Definitions of terms in parentheses are given in IEC Publication 27-2A.

2. — Definitions of terms in parentheses are given in IEC Publication 50 (351).

3. — This standard is limited to P, PI, PD or PID controllers.

4. — The factors K_p , K_I and K_D may have the sign "plus" or "minus"; it is usual to associate "direct action" with the positive sign and "reverse action" with the negative sign.

5. — Symbols with prime (K'_p , T'_I , T'_D) represent nominal values, in contrast to effective values.

6. — Integral-action time constant and derivative-action time constant refer only to pure integral or derivative-action controllers (IEC Publication 50 (351)).

There are controllers with still other structures, for example where the differentiation is applied only to the measured value x , not to $(x - w)$.

Equation (3) becomes thereby:

$$y - y_0 = K'_p A \left[(x - w) + \frac{1}{A T'_I} \int_0^t (x - w) dt + \frac{T'_D}{A} \frac{d}{dt} (x) \right] \quad (5)$$

3.2 Limitations

The equations describing the performance of an actual controller are usually different from equations (1) to (5) because they include time constants and limitations.

Two commonly encountered deviations from the idealized controller equations can be expressed as follows:

a) Maximum integral gain V_I

Because of the finite integral gain of actual controllers, the integral part of equations (1) and (2) is an approximation of the actual response only for sufficiently high frequencies. For low frequencies, a controller may have an integral action [integral term of equation (2b)] expressed in the frequency domain as follows:

$$F(j\omega) = K_p \frac{V_I}{1 + j\omega T_I V_I} \quad (6)$$

b) Maximum derivative gain V_D

Because of the limited derivative gain of actual controllers, the derivative terms of equations (1) and (2) are an approximation of the actual response only for sufficiently low frequencies. In the most simple case, there may be additional time constant and proportional terms.

The derivative term of equation (2b) may then be expressed, in the frequency domain, as follows:

action par dérivation et constante de temps

$$F(j\omega) = \frac{j\omega T_D}{1 + j\omega T} \quad (7)$$

ou

action proportionnelle, action par dérivation et constante de temps

$$F(j\omega) = K_p \frac{1 + j\omega T_D}{1 + j\omega T} \quad (8)$$

où:

T = constante de temps d'un retard du premier ordre

Le rapport $\frac{T_D}{T}$ peut être constant pour toutes les valeurs réglables de T_D (selon la conception du régulateur); dans ce cas, le rapport $\frac{T_D}{T}$ est appelé gain maximal d'action par dérivation ou V_D .

3.3 Graduation des cadrans des régulateurs

Les coefficients et les temps d'action figurant dans les équations données précédemment fournissent une description idéalisée du comportement d'un régulateur. Leurs valeurs peuvent différer des valeurs des graduations marquées sur les cadrans du régulateur. Les relations entre les valeurs des graduations et les valeurs réelles (ce sont les «formules d'interaction») doivent être fournies par le constructeur. Ces relations peuvent être exprimées soit sous forme algébrique, soit sous forme de courbes, tableaux, diagrammes, etc.

4. Définitions

4.1 Bande proportionnelle

La bande proportionnelle X_p des régulateurs linéaires, exprimée en pourcentage, est alors donnée par l'expression:

$$X_p = \frac{100}{K_p} \quad (9)$$

4.2 Action directe

Le signal de sortie y croît avec un accroissement de la valeur mesurée x .

4.3 Action inverse

Le signal de sortie y décroît avec un accroissement de la valeur mesurée x .

4.4 Ecart total permanent

Différence entre la valeur mesurée x et la valeur de consigne w en régime établi.

4.5 Régulateur proportionnel (P)

Régulateur qui produit seulement une régulation par action proportionnelle.

4.6 Régulateur proportionnel et par dérivation (PD)

Régulateur qui produit une régulation par action proportionnelle, plus une action par dérivation.

4.7 Régulateur proportionnel et par intégration (PI)

Régulateur qui produit une régulation par action proportionnelle, plus une action par intégration.

derivative action and time constant

$$F(j\omega) = \frac{j\omega T_D}{1 + j\omega T} \quad (7)$$

or

proportional action, derivative action and time constant

$$F(j\omega) = K_p \frac{1 + j\omega T_D}{1 + j\omega T} \quad (8)$$

where:

T = time constant of a first order time delay

The ratio $\frac{T_D}{T}$ may be constant for all adjustable values of T_D (depending upon the design of the controller). The ratio $\frac{T_D}{T}$ is then called maximum derivative gain or V_D .

3.3 Dial graduation of controllers

The action factors and action times as used in the equations shown above give an idealized description of the performance of a controller. Their values may differ from the values which are the graduations marked on the dials of the controller. The relationship between the dial graduations and the effective values, i.e. the "interaction formula", shall be provided by the manufacturer. The relationship may be expressed in algebraic form or by graphs, tables, diagrams, etc.

4. Definitions

4.1 Proportional band

The proportional band X_p of a linear controller, expressed in per cent, is given by the expression:

$$X_p = \frac{100}{K_p} \quad (9)$$

4.2 Direct acting

Output y increases with increase in the measured value x .

4.3 Reverse acting

Output y decreases with increase in the measured value x .

4.4 Offset

The steady-state deviation between measured value x and set point w .

4.5 Controller, proportional (P)

A controller which produces proportional control action only.

4.6 Controller, proportional plus derivative (rate) (PD)

A controller which produces proportional plus derivative control action.

4.7 Controller, proportional plus integral (reset) (PI)

A controller which produces proportional plus integral control action.

4.8 Régulateur PID

Régulateur à actions composées qui produit une régulation par action proportionnelle, plus une action par intégration et plus une action par dérivation.

5. Conditions générales d'essais

5.1 Conditions d'environnement

Les conditions de référence spécifiées dans la présente norme sont en accord avec la Publication 160 de la CEI.

5.1.1 Conditions ambiantes recommandées pour les mesures

Plage de température	de 15 °C à 35 °C
Humidité relative	de 45 % à 75 %
Pression atmosphérique	de 860 mbar à 1 060 mbar
Champ électromagnétique	valeur à indiquer, si nécessaire.

La vitesse maximale de variation de température admissible au cours de l'essai sera de 1 °C en 10 min. Ces conditions peuvent être conformes aux conditions normales de fonctionnement.

5.1.2 Atmosphère normale de référence

Température	20 °C
Humidité relative	65 %
Pression atmosphérique	1 013 mbar

Cette atmosphère normale de référence est l'atmosphère à laquelle sont ramenées, par le calcul, les valeurs obtenues par des mesures effectuées dans d'autres conditions atmosphériques. Il est cependant reconnu que, très souvent, une correction par calcul pour l'humidité n'est pas possible. Dans ce cas, l'atmosphère normale de référence ne tient compte que de la température et de la pression.

Cette atmosphère est conforme aux conditions normales de fonctionnement de référence généralement indiquées par le constructeur.

5.1.3 Conditions atmosphériques normales pour les mesures d'arbitrage

Lorsqu'on ne connaît pas les facteurs de correction à utiliser pour ramener les paramètres qui varient en fonction des conditions atmosphériques aux conditions atmosphériques normales et lorsque les mesures effectuées dans la plage recommandée de conditions atmosphériques ambiantes ne sont pas satisfaisantes, des mesures répétées peuvent être effectuées dans des conditions atmosphériques réglées dans des limites étroites.

Pour les besoins de cette norme, les conditions atmosphériques normales pour les mesures d'arbitrage sont les suivantes:

	Valeur nominale	Tolérance
Température	20 °C	± 2 °C
Humidité relative	65 %	± 5 %
Pression atmosphérique	860 mbar à 1 060 mbar	-

Pour les atmosphères tropicales ou subtropicales ou d'autres atmosphères spéciales, des conditions atmosphériques pour les mesures d'arbitrage sont données, en variante, dans la Publication 160 de la CEI.

5.2 Conditions d'alimentation

5.2.1 Valeurs de référence

Valeurs indiquées par le constructeur, ou convenues entre constructeur et utilisateur.

4.8 Controller PID

A controller with compound action which produces proportional, plus integral, plus derivative actions.

5. General test conditions

5.1 Environmental conditions

Reference conditions specified in this standard are in accordance with IEC Publication 160.

5.1.1 Recommended range of ambient conditions for test measurements

Temperature range	15 °C to 35 °C
Relative humidity	45 % to 75 %
Atmospheric pressure	860 mbar to 1 060 mbar
Electromagnetic field	value to be stated, if relevant

The maximum rate of ambient temperature change permissible during any test shall be 1 °C in 10 min. These conditions may be equivalent to normal operating conditions.

5.1.2 Standard reference atmosphere

Temperature	20 °C
Relative humidity	65 %
Atmospheric pressure	1 013 mbar

This standard reference atmosphere is that atmosphere to which values measured under any other atmospheric conditions are corrected by calculation. It is recognized, however, that in many cases a correction factor for humidity is not possible. In such cases, the standard reference atmosphere takes account of temperature and pressure only.

This atmosphere is equivalent to the normal reference operating conditions usually identified by the manufacturer.

5.1.3 Standard atmosphere for referee measurements

When correction factors to adjust atmospheric-condition-sensitive parameters to their standard reference atmosphere value are unknown, and measurements under the recommended range of ambient atmospheric conditions are unsatisfactory, repeated measurements under closely controlled atmospheric conditions may be conducted.

For the purpose of this standard, the following atmospheric conditions are given for referee measurements.

	Nominal value	Tolerance
Temperature	20 °C	± 2 °C
Relative humidity	65 %	± 5 %
Atmospheric pressure	860 mbar to 1 060 mbar	—

For tropical, sub-tropical or other special requirements, alternate referee atmospheres are given in IEC Publication 160.

5.2 Supply conditions

5.2.1 Reference values

The values specified by the manufacturer or agreed upon between user and manufacturer.

5.2.2 Tolérances

1) Alimentation électrique

- tension nominale $\pm 1\%$
- fréquence nominale $\pm 1\%$
- distorsion harmonique inférieure à 5% (en courant alternatif)
- facteur d'ondulation inférieur à 0,2% (en courant continu)

2) Alimentation pneumatique

- pression nominale $\pm 1\%$
- température de l'air d'alimentation température ambiante $\pm 2^\circ\text{C}$
- humidité de l'air d'alimentation point de rosée inférieur d'au moins 10°C à la température du régulateur
- sans huile, ni poussière.

Note. — De l'air avec moins de 1 ppm d'huile et ne renfermant pas de particules d'un diamètre supérieur à $3\text{ }\mu\text{m}$ est considéré comme propre.

5.3 Impédance de charge

Utiliser comme valeur de référence la valeur indiquée par le constructeur.

Pour les régulateurs électriques, si le constructeur indique plusieurs valeurs, l'impédance de charge doit être prise égale à:

- la valeur minimale spécifiée par le constructeur pour les régulateurs avec signal de sortie en tension continue;
- la valeur maximale admissible pour les régulateurs avec signal de sortie en courant continu.

Pour les régulateurs pneumatiques, en l'absence d'autres valeurs spécifiées par le constructeur, l'impédance de charge utilisée doit être composée d'une tuyauterie rigide, d'une longueur de 8 m, d'un diamètre intérieur de 4 mm, suivi d'une capacité de 20 cm^3 .

Note. — Ce dispositif est particulièrement indiqué pour les essais statiques sur les régulateurs pneumatiques. Pour les essais dynamiques, on peut remplacer la capacité de 20 cm^3 par une capacité de 100 cm^3 .

5.4 Autres conditions

- Signaux d'entrée: absence de tensions parasites induites ou de fluctuations de pression susceptibles d'affecter les résultats de la mesure.
- Position du régulateur en fonctionnement: position normale spécifiée par le constructeur. Cependant, il convient que la position du régulateur ne varie pas de plus de $\pm 3^\circ$ suivant chaque axe pendant toute la durée de l'essai.
- Influences mécaniques extérieures: elles doivent être négligeables.

La précision des systèmes de mesure utilisés pour les essais doit être indiquée dans le rapport d'essai. Il convient qu'elle soit au moins quatre fois meilleure que celle du régulateur essayé.

5.5 Stabilisation du signal de sortie du régulateur

Pour les besoins des essais suivants, le régulateur peut être stabilisé de la façon suivante (voir figure 2a*, page 52):

- 1) Mettre le régulateur en fonctionnement en boucle fermée en plaçant le commutateur en position B. Mettre le régulateur en position d'action inverse, ou régler à -1 le gain de l'amplificateur différentiel.

* Un filtre est parfois nécessaire pour la stabilité.

5.2.2 Tolerances

- 1) Electrical supply
 - rated voltage $\pm 1\%$
 - rated frequency $\pm 1\%$
 - harmonic distortion (a.c. supply) less than 5%
 - ripple content (d.c. supply) less than 0.2%
- 2) Pneumatic supply
 - rated pressure $\pm 1\%$
 - supply air temperature ambient temperature $\pm 2^\circ\text{C}$
 - supply air humidity dew point at least 10°C below controller temperature
 - oil and dust free.

Note. — An oil content not greater than 1 part per million and absence of dust particles greater than $3\ \mu\text{m}$ is considered to be an "oil and dust free" supply.

5.3 Load impedance

The value given by the manufacturer shall be used as the reference value.

For electric controllers, if the manufacturer gives more than one value, the load impedance shall be taken equal to:

- the minimum value specified by the manufacturer for controllers with direct voltage output signal;
- the maximum permissible value for controllers with direct current output signal.

Unless otherwise stated by the manufacturer, for pneumatic controllers, an 8 m length of 4 mm internal diameter rigid pipe followed by 20 cm³ capacity shall be used for load impedance.

Note. — This arrangement is specified for steady-state tests on pneumatic controllers. For dynamic tests, a 100 cm³ capacity may be used in place of the 20 cm³.

5.4 Other conditions

- Input signals: spurious induced voltages or pressure fluctuations which may affect the measurement shall not be present.
- Controller position during operation: normal mounting position specified by the manufacturer. Throughout each test, however, the mounting position of the controller should not change by more than $\pm 3^\circ$ about any axis.
- External mechanical constraints: they shall be negligible.

The limit of error of the measuring systems used for the tests shall be stated in the test report and should be smaller than or equal to one-fourth of the stated limit of error of the instrument tested.

5.5 Stabilizing the controller output

For the purpose of the following tests, the controller may be stabilized in the following manner (see Figure 2a*, page 52).

- 1) Set the controller in a closed loop configuration by putting the switch in position B. Set the controller for reverse action, or the differential amplifier to a gain of -1 .

* Damping is sometimes necessary for stabilization.

- 2) Ajuster la bande proportionnelle à la valeur spécifiée ou, à défaut, à 100%, si possible.
- 3) Ajuster l'action par dérivation à la valeur minimale (temps de dérivation minimale ou mise hors circuit).
- 4) Ajuster l'action par intégration à la valeur maximale (temps d'intégration minimal).
- 5) Ajuster la consigne à 50%.
- 6) Ajuster, si nécessaire, le générateur de polarisation n° 3 de manière à obtenir la valeur de sortie désirée.

6. Ecart total permanent

Cet essai s'applique uniquement aux régulateurs à action par intégration. Utiliser, pour cet essai, la configuration du circuit représentée à la figure 2a, ou un schéma équivalent.

Appliquer le signal de consigne w et la valeur de la mesure x à l'entrée d'un appareil de mesure différentiel. Placer le commutateur de sélection en position B de façon à obtenir une configuration stable en boucle fermée.

En changeant la valeur de la polarisation du générateur n° 3, on peut faire varier le signal de sortie y du régulateur sur toute l'échelle, pour chaque valeur de consigne w du régulateur et de la mesure x .

6.1 Conditions initiales

Les conditions initiales sont celles qui sont indiquées à l'article 5.

6.2 Modalités de l'essai

6.2.1 Influence sur l'écart total permanent de la variation de la valeur X_p

- Si les échelles du régulateur à essayer ne sont pas directement graduées en termes de coefficient d'action proportionnelle, de temps d'action par intégration et de temps d'action par dérivation, les relations liant les valeurs marquées aux paramètres utilisés dans la présente norme devront être précisées. Utiliser la méthode indiquée dans le présent article, l'appareil étant réglé sur la graduation d'échelle correspondant aux valeurs spécifiées.
- Le régulateur étant stabilisé comme indiqué au paragraphe 5.5, ajuster le générateur de polarisation n° 3 de manière à obtenir la valeur de sortie à 50%. Après avoir laissé au régulateur un temps suffisant pour que sa sortie se stabilise, mesurer l'écart total permanent.
- Répéter la mesure avec la bande proportionnelle ajustée à sa valeur minimale, puis à sa valeur maximale (ou aux valeurs correspondant aux graduations d'échelle les plus proches du minimum et du maximum).
- Ajuster la bande proportionnelle à 100%. Répéter la mesure telle que décrite ci-dessus pour toutes les neuf combinaisons des trois valeurs de la consigne: 10%, 50% et 90% et des trois valeurs de sortie: 10%, 50% et 90% de l'intervalle de sortie.
- Commuter le régulateur en position d'action directe. En même temps, ajuster le gain de l'amplificateur différentiel à -1 . Mesurer l'écart total permanent avec $X_p = 100\%$, $w = 50\%$ et $y = 50\%$.
- On peut effectuer des relevés complémentaires avec d'autres valeurs de la bande proportionnelle ou de la consigne en des points particuliers, afin d'interpoler entre certains relevés précédents lorsqu'il y a des variations importantes de l'écart total permanent.
- Noter l'écart total permanent en pourcentage de l'intervalle de mesure.

6.2.2 Influence de la variation des valeurs des temps d'action par intégration et par dérivation

Ajuster le point de consigne w à 50%, la sortie y à 50% et la bande proportionnelle X_p à 100%.

- 2) Set the proportional band to 100% if possible and unless specified otherwise.
- 3) Set the derivative action for minimum effect (minimum rate time or off).
- 4) Set the integral action for maximum effect (minimum reset time).
- 5) Set the set point to 50%.
- 6) If necessary, adjust the bias of generator No. 3 in order to obtain the desired output.

6. Offset

This test applies only to controllers with integral action. The circuit arrangement shown in Figure 2a or an equivalent arrangement shall be used.

The set point w and the measured value x shall be connected to the input of a differential measuring device. The selector switch shall be set in position B, thus obtaining a stable "closed loop" condition.

Changing the bias of generator No. 3 allows the controller output y to be varied over the full span for any value of the controller set point value w and measured value x .

6.1 Initial conditions

Initial conditions shall be as specified in Clause 5.

6.2 Test procedure

6.2.1 Offset at different values of X_p

- If the controller being tested has scale markings not directly in terms of proportional band, or reset and rate times, the relationship of such markings to the parameters used in this standard needs to be established. The method specified in this clause shall be used with the instrument set to the scale markings which correspond to the values specified.
- With the controller stabilized in accordance with Sub-clause 5.5, adjust the bias of generator No. 3 until the output is 50%. After allowing sufficient time for the controller output to stabilize, measure the offset.
- The measurement shall be repeated with the proportional band adjusted to the minimum value and then to the maximum value (or to the nearest scale markings).
- Set the proportional band to 100%. Repeat measurements as described above for all nine combinations of the three values of the set point: 10%, 50% and 90% of span and the three values of output: 10%, 50% and 90% of span.
- Switch the controller to direct action. At the same time adjust the gain of the differential amplifier to -1 . Measure offset with $X_p = 100\%$, $w = 50\%$ and $y = 50\%$.
- Further measurements may be made with other values of the proportional band or of the set point at special points, in order to interpolate between some preceding readings where there are significant variations in the offset.
- Offset shall be reported expressed in per cent of span of measured value.

6.2.2 Effect of changes of reset and rate time

Adjust set point w to 50%, output y to 50% and proportional band X_p to 100%.

Le temps d'action par intégration étant réglé à sa valeur minimale, faire varier le temps d'action par dérivation de sa valeur minimale à sa valeur maximale en passant par une valeur intermédiaire (par exemple 0,1 min, 0,5 min et 2,5 min).

Le temps d'action par dérivation étant réglé à sa valeur minimale, faire varier le temps d'action par intégration de sa valeur minimale à sa valeur maximale en passant par une valeur intermédiaire (par exemple 0,2 min, 2 min et 20 min).

Mesurer l'écart total permanent dans chaque cas.

7. Affichages et graduations d'échelle

7.1 Vérification des graduations de la consigne

La majorité des régulateurs pourvus d'un générateur interne de valeur de consigne possèdent des bornes accessibles où le signal de consigne peut être mesuré. Dans ce cas, exécuter l'essai suivant:

Positionner l'indicateur de valeur de consigne successivement en regard de repères 0%, 20%, 40%, 50%, 60%, 80% et 100% et relever les valeurs correspondantes du signal de consigne émis. Faire le même essai en lectures descendantes, c'est-à-dire 100%, 80%, etc., jusqu'à 0%.

Répéter l'essai ci-dessus au moins trois fois.

Déterminer les erreurs à partir des lectures précédentes et les exprimer en pourcentage de l'intervalle de consigne.

Les valeurs suivantes sont calculées:

- 1) Erreur moyenne à la montée: moyenne arithmétique des erreurs pour chaque point de mesure, mesurée à la montée, et pour chaque cycle de mesure.
- 2) Erreur moyenne à la descente: moyenne arithmétique des erreurs pour chaque point de mesure, mesurée à la descente, et pour chaque cycle de mesure.
- 3) Erreur moyenne: moyenne arithmétique de toutes les erreurs à la montée et à la descente, pour chaque point de mesure.
- 4) Hystérésis: différence entre les valeurs de l'erreur moyenne à la montée et de l'erreur moyenne à la descente pour chaque point de mesure.

Note. — Pour les régulateurs ne permettant pas la mesure extérieure du signal de consigne, des essais particuliers seront définis en accord avec le constructeur.

7.2 Action proportionnelle

Il convient d'utiliser pour cet essai la configuration du circuit représentée à la figure 2a, page 52, ou un schéma équivalent.

7.2.1 Conditions initiales

Les conditions de référence sont celles qui sont spécifiées à l'article 5.

7.2.2 Modalités de l'essai

- Ajuster le point de consigne à 50%. Mettre à 100% la bande proportionnelle (ou au repère le plus proche de cette valeur).
- Stabiliser le signal de sortie à 50%.
- Ajuster l'action par intégration à son effet minimal (temps d'action maximal, ou suppression pure de l'action par intégration quand elle est possible).
- Ajuster l'action par dérivation à son effet minimal (temps d'action minimal ou suppression pure de l'action par dérivation quand elle est possible).
- Commuter le circuit en boucle ouverte (position A du commutateur) et remettre le régulateur en position directe.

With reset time set to its minimum value, change rate time from its minimum value to an intermediate value and then to the maximum value (for example 0.1 min, 0.5 min and 2.5 min).

With the rate time set to minimum value, change the reset time from its minimum value to an intermediate value and then to the maximum value (for example 0.2 min, 2 min, and 20 min).

The offset shall be measured for each condition.

7. Dial markings and scale values

7.1 Checking of set point scales

The majority of controllers with internal set point sources have accessible terminals where the effective set point signal can be measured. When this is so, the following test shall be carried out:

The set point indicator shall be set in turn to the 0%, 20%, 40%, 50%, 60%, 80%, and 100% markings of its scale and the corresponding values of the generated set point signal shall be measured. The procedure shall then be repeated for settings in descending order, i.e., 100%, 80%, etc., down to 0%.

The above procedure shall be repeated at least three times.

Determine the difference between the indicator reading and the generated value at each setting. Express the difference in per cent of the set point span.

Compute the following:

- 1) Average upscale error – the arithmetic mean of the errors at each point of measurement for the upscale readings of each measurement cycle.
- 2) Average downscale error – the arithmetic mean of the errors at each point of measurement for the downscale readings of each measurement cycle.
- 3) Average error – the arithmetic mean of all upscale and downscale errors at each point of measurement.
- 4) Hysteresis – the difference between the average upscale error and the average downscale error at each point of measurement.

Note. — For controllers with no accessible set point connections, suitable test procedures should be agreed upon with the manufacturer.

7.2 Proportional action

The circuit arrangement shown in Figure 2a, page 52, or an equivalent arrangement should be used.

7.2.1 Initial conditions

The reference conditions are as specified in Clause 5.

7.2.2 Test procedure

- Adjust the set point to 50%. Set the proportional band at 100% (or the nearest scale marking).
- Stabilize the output at 50%.
- Adjust integral action to minimum effect (maximum reset time or off, if available).
- Adjust derivative action to minimum effect (minimum rate time or off, if available).
- Open the loop connection (switch in Position A), and set controller action to direct action mode.

- En agissant sur la valeur du signal d'entrée (de mesure), faire varier le signal de sortie du minimum au maximum et relever les couples des valeurs des signaux d'entrée et de sortie.

Commencer les mesures par une valeur de mesure égale à 50%, puis continuer par les valeurs de 30%, 70%, 10%, 90%, 0% et 100%, en respectant cet ordre.

- Exécuter cet essai le plus rapidement possible et en une seule fois, afin de réduire les effets résiduels dus à l'action par intégration.
- Répéter les mesures ci-dessus pour les deux affichages extrêmes de la bande proportionnelle. Pour les mesures effectuées avec la bande proportionnelle inférieure à 100%, régler successivement le signal de mesure pour obtenir en sortie et dans l'ordre 50%, 30%, 70%, 10%, 90%, 0% et 100%.
- Répéter ces mesures avec la bande proportionnelle égale à 100%, mais avec le régulateur en position d'action inverse.
- Représenter, sur un graphique similaire à celui qui est représenté à la figure 3, page 54, la variation des signaux de sortie en fonction de la valeur de la mesure (en pourcentage).

Le coefficient moyen d'action proportionnelle (K_p) doit être déterminé pour chaque valeur de la bande proportionnelle affichée, à l'aide de la pente de la meilleure droite (voir figure 3).

La bande proportionnelle (X_p) doit être déterminée en tenant compte des points d'intersection des courbes de la figure 3 avec les axes 0% et 100% des valeurs des signaux de mesure et des signaux de sortie. Exprimer l'erreur en pourcentage de la valeur nominale affichée sur le cadran.

Note. — Si les actions par intégration et par dérivation résiduelles provoquent des difficultés de mesure, on appliquera les signaux de mesure par échelon d'un niveau à l'autre des valeurs du signal de mesure indiquées plus haut et on enregistrera les valeurs des signaux de mesure et de sortie comme indiqué à la figure 4, page 55. On effectuera, à partir de ces enregistrements, les calculs décrits à la figure 4.

7.2.3 Zone morte

La zone morte doit être mesurée en cherchant quelle valeur maximale du signal de mesure peut être appliquée sans provoquer de variation mesurable du signal de sortie.

Effectuer cet essai en boucle ouverte, comme indiqué au paragraphe 7.2.2 pour les cinq premières opérations.

Faire osciller lentement le signal correspondant à la valeur de mesure, en commençant par une amplitude de 0,1%. Puis augmenter l'amplitude jusqu'à ce que le signal de sortie commence à osciller. Cette amplitude doit être considérée comme la zone morte et doit être exprimée en pourcentage de l'intervalle de mesure.

Il est inutile de mesurer des zones mortes inférieures à 0,1%. Si nécessaire, cet essai peut être répété avec le régulateur en position d'action inverse.

7.3 Action par intégration

7.3.1 Conditions initiales

Les conditions initiales sont celles qui sont spécifiées à l'article 5.

7.3.2 Modalités de l'essai

Le circuit représenté à la figure 2a, page 52, peut être utilisé. Effectuer cet essai en boucle ouverte, c'est-à-dire avec le commutateur de sélection en position A. Le générateur 2 doit être réglé pour engendrer un échelon qui provoquera une augmentation de 10% de l'intervalle de mesure.

- Agir sur le générateur 2 afin de stabiliser le signal de sortie du régulateur à une valeur de 10%.

- Vary the measured value signal over the range necessary to change the output from minimum to maximum and note the corresponding measured value and output signals.

Measurements shall start with a measured value signal of 50% and subsequent signals of 30%, 70%, 10%, 90%, 0%, 100% in that order.

- This procedure shall be carried out without interruption and as rapidly as possible to minimize the effects of residual integral action.
- These measurements shall be repeated with the proportional band set at the two extreme scale markings. For measurements at proportional band settings smaller than 100%, measured value signals shall be used such that the corresponding output signals are 50%, 30%, 70%, 10%, 90%, 0% and 100%.
- Measurement shall be repeated at 100% proportional band setting, but with controller set to reverse action.
- A graph of the output signal plotted against the measured value signal (as percentages) shall be plotted as in Figure 3, page 54.

The average proportional action factor (K_p) shall be determined for each proportional band setting from the slope of the best fitting straight line (see Figure 3).

The proportional band (X_p) shall be determined from the points of intersection of the characteristics, as plotted in Figure 3, with the 0% and 100% measured value and output lines, as appropriate. The error shall be expressed as a percentage of the nominal value set on the dial. (Dial marking error.)

Note. — When the residual integral and derivative actions cause difficulties, measured value signals should be applied as steps between the levels of measured value outlined above. Measured value and output signals should be recorded as shown in Figure 4, page 55, and computations carried out on the recorded traces as shown in Figure 4.

7.2.3 Dead band

The dead band shall be measured by determining the largest change of measured value that can be applied without causing a detectable change of output.

This test shall be carried out in open loop, as described in Sub-clause 7.2.2 for the first five steps.

A slowly oscillating measured value signal shall be applied, starting with an amplitude of 0.1%. Increase the measured value signal amplitude until the output just begins to respond. This amplitude of the measured value signal shall be considered as the dead band, which shall be expressed as a percentage of the measured value signal span.

It is unnecessary to continue to test below dead bands less than 0.1%. This test may be repeated in reverse action if considered necessary.

7.3 Integral action

7.3.1 Initial conditions

The initial conditions are those specified in Clause 5.

7.3.2 Test procedure

A suitable circuit is shown in Figure 2a, page 52. This test shall be carried out in open loop, i.e. with the selector switch in position A. Generator 2 shall be set to provide a step function of about 10% of measured value span.

- The controller output shall be stabilized at 10% value by adjusting the initial output of generator 2.

- Pour le premier essai, ajuster la valeur du temps d'action par intégration au maximum de sa graduation. Pour l'essai suivant, ajuster la valeur du temps d'action par intégration au minimum de sa graduation, puis à une valeur intermédiaire de la graduation (par exemple 20 min, 0,2 min et 2 min).
- Introduire une variation échelon en provoquant l'émission d'un échelon à partir du générateur 2.
- Enregistrer la variation du signal de sortie jusqu'à 100% de l'intervalle de ce signal.
- Stabiliser le régulateur à 90% de l'intervalle du signal de sortie. Introduire une variation échelon négative d'amplitude égale à celle utilisée pour l'échelon positif précédent.
- Enregistrer le signal de sortie jusqu'à 0% de l'intervalle du signal de sortie.
- Déterminer le temps d'action par intégration T_I sur les courbes enregistrées, suivant la figure 5, page 56, ce temps étant le temps compris entre, d'une part, l'intersection de l'interpolation dans le sens des abscisses et des ordonnées décroissantes de l'asymptote D_2 et du niveau initial du signal de sortie et, d'autre part, l'instant initial t_0 .
- La différence entre les graduations affichées et les temps d'action par intégration déterminés à partir des courbes enregistrées doit être notée en pourcentage des valeurs nominales pour des échelons en montant et en descendant.

Les essais spécifiés dans ce paragraphe ne permettent pas toujours de chiffrer les performances réelles de l'action par intégration, en particulier lorsqu'il existe un dispositif de limitation de l'action par intégration.

S'il en est ainsi, des essais appropriés doivent être définis par accord entre l'organisme chargé de l'essai et le constructeur.

7.4 Action par dérivation

7.4.1 Conditions initiales

Les conditions initiales sont celles qui sont spécifiées à l'article 5, sauf que l'action par intégration est ajustée de manière à avoir l'effet minimal (temps d'intégration maximal ou suppression pure de l'action par intégration quand elle est possible).

7.4.2 Modalités de l'essai

Le circuit représenté à la figure 2a (commutateur en position A), page 52, peut être utilisé pour cette mesure. Se servir du générateur 2 comme générateur de rampe ajusté de manière à obtenir une augmentation de 10% de l'intervalle de mesure dans un temps pratiquement égal au temps d'action par dérivation que l'on désire mesurer.

- Stabiliser le signal de sortie à environ 10%.
- Pour le premier essai, ajuster d'abord le temps d'action par dérivation au minimum de sa graduation. Pour l'essai suivant, ajuster d'abord le temps d'action par dérivation au maximum de sa graduation et enfin à une valeur intermédiaire de la graduation (par exemple 0,1 min, 2,5 min et 0,5 min).
- Au temps t_0 , déclencher le signal de rampe et enregistrer les deux tracés semblables à ceux de la figure 6, page 57.
- Le temps d'action par dérivation T_D doit être directement déduit de ces enregistrements, comme il est mis en évidence sur la figure 6.
- Répéter cet essai avec le signal de rampe dans le sens opposé en partant d'un signal de sortie stabilisé au départ à environ 90%.
- La différence entre les valeurs du temps d'action par dérivation déduites de la courbe, à la

- For the first test, adjust reset time to its maximum graduated value. For the next test adjust the reset time to its minimum graduated value, and finally adjust the reset time to an intermediate graduated value (for example 20 min, 0.2 min, and 2 min).
- A step change of the measured value signal shall be introduced by triggering the step function of generator 2.
- The change of the output signal up to 100% of span shall be recorded.
- The controller output shall be stabilized at 90% of span. A negative step change in the measured value signal equal in magnitude to the positive step used previously shall be introduced.
- The change of the output signal to 0% of span shall be recorded.
- From the recordings taken determine the reset time T_I as shown in Figure 5, page 56, as the time between the crossing of the backward extrapolation of asymptote D_2 and the initial output level and the time t_0 .
- The difference between the dial markings and the reset times determined from the recordings is to be reported for upward and downward steps in per cent of nominal value.

The tests in this clause do not always enable the actual performance of the integral action to be measured, particularly if a device for limiting integral action is provided.

If this is so, appropriate tests shall be agreed upon between the manufacturer and the evaluating body.

7.4 Derivative action

7.4.1 Initial conditions

Initial conditions are as specified in Clause 5, except set the integral action for minimum effect (maximum reset time, or off).

7.4.2 Test procedure

A suitable circuit for this measurement is shown in Figure 2a, page 52 (switch in position A). Generator 2 shall be set as a ramp function generator giving an increase of 10% of measured value span in a time approximately equal to the rate time being measured.

- The output signal shall be stabilized at approximately 10%.
- For the first test, adjust rate time to its minimum graduated value. For the next test, adjust rate time to its maximum graduated value, and finally adjust rate time to an intermediate graduated value (for example 0.1 min, 2.5 min, and 0.5 min).
- At time t_0 , the ramp signal shall be triggered and two graphs similar to those of Figure 6, page 57, shall be recorded.
- The rate time T_D shall be directly read from these graphs as shown in Figure 6.
- This test shall be repeated with the ramp signal applied in the opposite direction with an output signal stabilized initially at approximately 90%.
- The difference between the dial markings and the rate times determined from the

montée aussi bien qu'à la descente, et les valeurs affichées sur le cadran sera exprimée en pourcentage de la valeur nominale et notée.

Note. — Cet essai ne permet pas toujours de chiffrer la qualité de l'action par dérivation; en particulier, il ne permet pas de chiffrer le gain maximal du fait de l'action par dérivation (voir article 10).

8. Action des grandeurs d'influence

Mesurer successivement l'action, sur la valeur de l'écart total permanent, d'un certain nombre de grandeurs d'influence, appliquées séparément. Les résultats doivent être exprimés en pourcentage de l'intervalle de mesure nominal.

Quand le point de consigne est élaboré à l'intérieur de l'appareil, mesurer, dans chaque cas, l'effet des diverses grandeurs d'influence. Lorsque cela est souhaité, on peut aussi mesurer l'effet des diverses grandeurs d'influence sur les paramètres tels que l'action proportionnelle, l'action par intégration et l'action par dérivation.

8.1 Conditions initiales

Les conditions initiales sont celles qui sont spécifiées dans l'article 5. Effectuer tous les essais décrits ci-après en boucle fermée, sauf indication contraire.

En utilisant un montage analogue à celui de la figure 2a, page 52, ajuster les temps d'action par intégration et par dérivation à leurs valeurs minimales.

Note. — Si nécessaire, on peut exiger de déterminer l'effet des grandeurs d'influence pour des valeurs de V plus fortes que T_I et T_D .

8.2 Influences climatiques

8.2.1 Température ambiante (voir Publication 68-2-1 de la CEI)

Mesurer l'écart total permanent aux températures de fonctionnement maximales et minimales recommandées par le constructeur, ainsi qu'à, successivement, chacun des paliers des températures ambiantes ci-après, à condition qu'ils se situent à l'intérieur de la plage de température qui vient d'être définie: $+20^{\circ}\text{C}$ (référence), 0°C , -10°C , -25°C , $+20^{\circ}\text{C}$, $+40^{\circ}\text{C}$, $+55^{\circ}\text{C}$, $+20^{\circ}\text{C}$. L'ordre de succession des paliers indiqués doit être respecté. A la fin de ce premier cycle, effectuer un deuxième cycle de température identique au premier. Le réglage du régulateur ne sera pas retouché pendant l'ensemble de ces deux cycles.

La tolérance sur la valeur de la température doit être de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ pour chacun des paliers. Il convient d'attendre, à chaque palier (normalement quelques heures), le laps de temps nécessaire pour que la température de toutes les parties du régulateur soit stabilisée.

Noter toute variation de l'écart total permanent en pourcentage de l'intervalle de mesure pour une variation de température de 10°C , ainsi que la température correspondant à chaque variation notée.

8.2.2 Humidité (seulement pour les régulateurs électriques) (voir Publication 68-2-3 de la CEI)

Maintenir le régulateur pendant au moins 24 h dans une enceinte à la pression atmosphérique à une température de $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$, avec une humidité relative égale à $93 \pm 2\%$.

A la fin de cette période, mesurer et noter l'écart total permanent en pourcentage de l'intervalle de mesure. Les régulateurs destinés à fonctionner dans une ambiance saturée doivent être soumis à l'essai additionnel suivant:

Le régulateur étant toujours en fonctionnement, abaisser la température en dessous de 25°C en un temps non inférieur à 1 h. L'enceinte doit rester fermée, de sorte que la saturation se produise au cours de cette période. Mesurer à nouveau l'écart total permanent dans ces conditions.

recordings are to be reported for upward and downward ramps in per cent of nominal value.

Note. — This test does not always enable the actual performance of the derivative action to be measured and, in particular, it does not measure the maximum gain due to the derivative action (see Clause 10).

8. Effect of influence quantities

The effect on the offset of a number of influence quantities, taken individually, shall be measured. Results shall be expressed as percentage of nominal span.

When the set point value is generated internally, the effect of the various influence quantities on it under each condition shall be measured. If desired, the effects of the various influence quantities on parameters such as proportional, integral and derivative action may also be measured.

8.1 Initial conditions

Initial conditions are those specified in Clause 5. All tests described below shall be carried out in closed loop configuration unless otherwise stated.

Using a circuit similar to that of Figure 2a, page 52, adjust the reset and rate times to their minimum values.

Note. — Effects of influence quantities may be tested if requested at higher values of T_I and T_D .

8.2 Climatic influences

8.2.1 Ambient temperature (see IEC Publication 68-2-1)

The offset shall be measured at the maximum and minimum operating temperatures recommended by the manufacturer and, if they are included in this operating range, at each of the following ambient temperatures in turn: +20°C (reference), 0°C, -10°C, -25°C, +20°C, +40°C, +55°C, +20°C in the order given, and without any further adjustment of the controller settings. After the first cycle, a second temperature cycle identical to the first shall be performed without readjustment of the controller.

The tolerance for each temperature shall be $\pm 2^\circ\text{C}$. Sufficient time (usually a few hours) shall be allowed for stabilization of the temperature at all parts of the controller.

Any change in offset is to be reported, together with the corresponding temperature, in per cent of measured value span per 10°C .

8.2.2 Humidity (electric controllers only) (see IEC Publication 68-2-3)

The controller shall be maintained for a period of at least 24 h in a chamber at atmospheric pressure, at a temperature of 40_{-2}^0C with a relative humidity of $93 \pm 2\%$.

At the end of this period offset shall be measured and reported in per cent of measured value span. Controllers intended for use where saturation can occur shall be subjected to the following additional test:

After the measurement at 93% relative humidity the temperature shall be allowed to fall to below 25°C in not less than 1 h. The chamber shall remain closed so that saturation shall take place during this period. Offset shall again be measured in this condition.

Après cet essai, procéder à un examen visuel de l'appareil, de façon à mettre éventuellement en évidence les amorçages, les accumulations d'eau de condensation, la détérioration des constituants, etc.

8.3 Influences mécaniques

8.3.1 Position de montage

Mesurer la variation de l'écart total permanent provoquée par des inclinaisons de $\pm 10^\circ$ par rapport à la position de référence du régulateur. Effectuer quatre mesures correspondant à des inclinaisons appliquées alternativement dans deux plans respectivement perpendiculaires.

Si une inclinaison de $\pm 10^\circ$ est excessive de par la conception même du régulateur, l'essai est effectué en appliquant la variation d'inclinaison maximale admise par le constructeur. Dans les cas d'utilisation en position non horizontale, des essais seront faits aussi dans cette position.

8.3.2 Chocs

Effectuer cet essai conformément à la procédure décrite dans l'essai Ec de la Publication 68-2-31 de la CEI.

La procédure «chute sur une face» doit être appliquée comme suit.

Le régulateur, placé dans sa position normale d'utilisation sur une surface lisse, dure et rigide, de béton ou d'acier, est basculé autour d'une de ses arêtes inférieures jusqu'à ce que la distance entre l'arête opposée et la surface d'essai soit de 25 mm, 50 mm ou 100 mm (valeur choisie par accord entre le constructeur et l'utilisateur), ou jusqu'à ce que l'angle formé par la face inférieure du spécimen et la surface d'essai soit de 30° , si cette dernière condition est moins sévère. On le laisse ensuite tomber librement sur la surface d'essai.

Le régulateur est soumis à une chute autour de chacune de ses arêtes inférieures.

A la fin de l'essai, examiner visuellement si le régulateur a été endommagé et mesurer l'écart total permanent.

8.3.3 Vibrations mécaniques

La procédure générale de l'essai est conforme à celle qui est décrite dans la Publication 68-2-6 de la CEI.

Conformément aux instructions du constructeur pour l'installation normale, le régulateur est monté sur une table vibrante et soumis à des vibrations sinusoïdales appliquées successivement suivant trois axes trirectangles dont l'un correspond à la verticale. La rigidité de la table vibrante, du plateau et des différents supports de montage doit être telle que l'impulsion vibratoire est transférée à l'instrument avec le minimum de pertes.

L'essai comporte trois phases distinctes successives:

Première phase. Recherche initiale des résonances

Cette phase a pour but d'étudier la réponse du régulateur aux vibrations, de déterminer les fréquences de résonance et de rassembler les informations qui seront nécessaires pour la recherche finale des résonances et, le cas échéant, pour l'épreuve d'endurance sur les fréquences de résonance.

Au cours du balayage en fréquence, noter les valeurs de fréquence donnant lieu:

- a) soit à des variations significatives de l'écart total permanent,
- b) soit à des résonances mécaniques.

Noter les valeurs de fréquence pour lesquelles on a $Q > 2$, de façon à les comparer aux valeurs trouvées au cours de la recherche finale des résonances prescrites ci-après.

Note. — Le facteur Q est le rapport de l'amplitude de la résonance à celle du stimulus.

After this test, a visual inspection shall be conducted to check for effects of flashover, accumulation of condensation, deterioration of components, etc.

8.3 *Mechanical influences*

8.3.1 *Mounting position*

The change in offset caused by $\pm 10^\circ$ inclinations from the reference mounting position of the controller shall be measured. Measurements shall be made with tilt applied in both directions in turn about two horizontal axes at right angles to each other.

Where a $\pm 10^\circ$ inclination is excessive due to the design of the controller, the maximum variation in inclination permitted by the manufacturer shall be used. In cases where the intended mounting position is not horizontal, tests shall be conducted to establish the performance of the controller in this attitude.

8.3.2 *Shock*

This test shall be made in accordance with the test procedure Ec of IEC Publication 68-2-31.

The procedure of "dropping onto a face" shall be applied as follows:

With the controller in its normal position on a smooth, hard, rigid surface of concrete or steel, it shall be tilted about one bottom edge so that the distance between the opposite edge and the test surface is 25 mm, 50 mm or 100 mm (value chosen by agreement between manufacturer and user), or so that the angle made by the bottom and the test surface is 30° , whichever condition is the less severe. It shall then be allowed to fall freely onto the test surface.

The controller shall be subjected to one drop about each of the four bottom edges.

After this test, the controller shall be examined for any damage and the offset measured.

8.3.3 *Mechanical vibration*

The general procedure for this test complies with that described in IEC Publication 68-2-6.

The controller shall be mounted, in accordance with the manufacturer's instructions for normal installation, on a vibration table and subjected to sinusoidal vibrations in each of three mutually perpendicular axes in turn, one of which shall be the vertical axis. The rigidity of the vibration table, of the mounting plate and of any mounting brackets used for supporting the instrument shall be such that the impulse is transferred to the instrument with the minimum of loss.

There are three distinct stages in this test:

First stage: Initial resonance search

The object of this stage is to investigate any changes in controller performance due to vibration, to determine resonance frequencies and to collect information which is necessary for final resonance search and for endurance conditioning at resonance frequencies if necessary.

During the vibration, frequencies causing:

- a) significant changes in offset, or
- b) mechanical resonances, shall be noted.

All the frequencies at which resonances with a Q-factor greater than 2 occur shall be noted in order to be compared with those found during the final resonance search specified below.

Note. — Q-factor is the amplitude of resonance divided by amplitude of drive vibration.

Le balayage en fréquence doit être continu et logarithmique. La vitesse de balayage doit être d'environ 0,5 octave par minute. Il convient que la gamme de fréquence à utiliser pour l'évaluation des régulateurs pour processus industriels soit choisie dans le tableau ci-dessous suivant le type de conditions de fonctionnement et le genre de l'installation et qu'elle fasse l'objet d'un accord entre constructeur et utilisateur.

Conditions de fonctionnement

Installation	Fréquence des vibrations (Hz)	Amplitude crête à crête (mm)	Accélération crête à crête (m/s ²)
Salle de contrôle (usage général)	10 à 60	0,07	9,8
Montage «in situ» (vibrations peu sévères)	60 à 150		

Deuxième phase: Epreuve d'endurance

Effectuer à nouveau l'essai qui vient d'être décrit, mais uniquement à la fréquence de résonance la plus significative trouvée au cours de la première phase.

La durée totale de cette phase doit être de 3 h, réparties de façon égale non seulement dans la direction où les résonances ont été détectées, mais également dans les deux autres directions.

Si, au cours de la première phase, aucune fréquence de résonance n'a pu être mise en évidence, balayer la totalité de la gamme considérée.

Troisième phase: Recherche finale des résonances

Effectuer la recherche des résonances suivant les mêmes modalités que la recherche initiale, avec les mêmes caractéristiques vibratoires. Toute différence significative avec la première phase sera notée.

Mesures finales

A la fin de l'essai, vérifier le bon état mécanique du régulateur. Noter la variation éventuelle de l'écart total permanent en pourcentage de l'intervalle de mesure.

8.4 Influence de l'alimentation

8.4.1 Variations de l'alimentation

Cet essai doit être effectué en mesurant les variations affectant l'écart total permanent provoquées par toutes les combinaisons des variations spécifiées, ci-après, des grandeurs d'alimentation (ce qui représente neuf séries de mesures dans le cas d'une alimentation en courant alternatif, et trois séries de mesures dans le cas d'une alimentation en courant continu).

1) Tension ou pression de l'air

- a) valeur nominale
- b) +10% ou la limite spécifiée par le constructeur si elle est inférieure
- c) -15% ou la limite spécifiée par le constructeur si elle est inférieure

2) Fréquence

- a) valeur nominale
- b) +2% ou la limite spécifiée par le constructeur si elle est plus étroite
- c) -10% ou la limite spécifiée par le constructeur si elle est plus étroite

Reprendre les essais avec le signal de sortie égal à 100%, la tension et la fréquence étant à leur valeur minimale pour les régulateurs électriques et la pression étant minimale dans le cas des régulateurs pneumatiques.

Frequency sweeping shall be continuous and logarithmic. The sweep rate shall be approximately 0.5 octave per minute. The frequency ranges to be used for the evaluation of industrial process controllers should be taken from the table below and selected according to the type of operating conditions and kind of installation and agreed upon between manufacturer and user.

Operating conditions

Installation	Vibration frequency (Hz)	Peak amplitude (mm)	Peak acceleration (m/s ²)
Control room (general application)	10 to 60	0.07	9.8
Field (low vibration level)	60 to 150		

Second stage: Endurance conditioning

The test described above shall be repeated, but only at the most significant resonance frequency found during the first stage.

The total duration of this stage shall be 3 h evenly distributed not only in the direction where resonances have been found, but also in the two other directions.

If no resonance frequency has been found during the first stage, the vibration frequency shall be swept continuously through the whole frequency range being considered.

Third stage: Final resonance search

The final resonance search shall be made in the same way as the initial resonance search and with the same vibration characteristics. Any significant differences from the initial resonance search shall be noted.

Final measurements

The satisfactory mechanical condition of the controller shall be verified at the end of the test. Any change of offset shall be noted and reported in percent of measured value span.

8.4 Power supply influences

8.4.1 Power supply variations

This test shall be carried out by measurement of the changes in offset caused by all combinations of the following variations in the power supply (i.e., nine sets of measurements for a.c. supplies and three sets of measurements for d.c. supplies).

1) Voltage or air pressure

- a) nominal value
- b) +10% or the manufacturer's limit, if less
- c) -15% or the manufacturer's limit, if less

2) Frequency

- a) nominal value
- b) +2% or the manufacturer's limit, if narrower
- c) -10% or the manufacturer's limit, if narrower.

The test shall be repeated with 100% output. For electrical controllers the supply voltage and supply voltage frequency shall be minimum. For pneumatic controllers the supply pressure shall be minimum.

8.4.1.1 *Dérive après mise sous tension (interruption de longue durée)*

Maintenir le régulateur sans alimentation pendant 24 h, aucun signal d'entrée ne lui étant appliqué. Les conditions ambiantes doivent être conformes à l'article 5.

Appliquer alors l'alimentation et le signal de mesure, ainsi que la valeur de consigne (s'il y a lieu) ajustée à 50% de l'intervalle de mesure. Noter la valeur de l'écart total permanent après 5 min et après 1 h.

8.4.1.2 *Interruption de courte durée (régulateurs électriques uniquement)*

Effectuer cet essai en boucle ouverte, la sortie du régulateur étant réglée à 50% de l'étendue de l'échelle.

Interrompre l'alimentation pendant:

5 ms, 20 ms, 100 ms, 200 ms, 500 ms

Provoquer cette interruption soit plusieurs fois au moment où la tension d'alimentation alternative atteint sa valeur de crête, soit 10 fois à des instants choisis au hasard au cours de la période de la tension d'alimentation.

Réaliser l'essai avec le temps d'action par intégration ajusté à sa valeur maximale et le temps d'action par dérivation à sa valeur minimale.

Noter les valeurs suivantes:

- variation transitoire maximale du signal de sortie;
- temps requis par le signal de sortie pour atteindre la valeur de régime permanent à 1% près;
- variation permanente du signal de sortie (éventuellement).

8.4.1.3 *Baisse de la tension d'alimentation (seulement pour les régulateurs électriques)*

Le régulateur étant en boucle ouverte et réglé pour la valeur 100% du signal de sortie, la tension d'alimentation est réduite à 75% de sa valeur nominale pendant 5 s. La variation du signal de sortie ainsi que l'amplitude et la durée de tout phénomène transitoire doivent être notées.

8.4.1.4 *Surtensions transitoires d'alimentation (seulement pour régulateurs électriques)*

Les impulsions de tension sont produites par la décharge d'un condensateur ou par tout autre moyen donnant une forme d'onde équivalente et se superposent à la tension d'alimentation. L'énergie du condensateur doit être de 0,1 J et l'amplitude des surtensions successivement égale à 100%, 200%, 300% et 500% (en pourcentage de la tension d'alimentation en valeur efficace.)

La capacité du condensateur se calcule d'après les valeurs d'énergie et d'amplitude.

Il convient de protéger les circuits d'alimentation au moyen d'un filtre convenable, comprenant au moins une inductance de 500 μ H capable de supporter le courant en ligne.

Appliquer, soit deux impulsions de chaque amplitude au moment où la tension d'alimentation atteint sa valeur de crête, soit un minimum de dix impulsions à des instants répartis de façon aléatoire par rapport à la tension d'alimentation. Enregistrer, le cas échéant, les phénomènes transitoires et les variations permanentes affectant le signal de sortie.

8.4.1.5 *Protection contre l'inversion de la tension d'alimentation*

Dans le cas d'un régulateur comportant une protection contre l'inversion de la tension d'alimentation, on applique au régulateur la tension d'alimentation maximale inverse admissible. Après correction du branchement, noter toute variation de l'écart total permanent.

8.4.1.1 *Start-up drift (long interruption)*

The controller shall be maintained for a period of 24 h with the power switched off and no input applied. Ambient conditions shall be in accordance with Clause 5.

The power supply (and the measured value and, if relevant, set point input) shall then be switched on with the set point adjusted to 50% of span. The offset shall be noted after 5 min and 1 h.

8.4.1.2 *Short interruption (electric controllers only)*

The test shall be performed in open loop with the controller output balanced at 50% of span.

The power shall be interrupted for:

5 ms, 20 ms, 100 ms, 200 ms, 500 ms

This interruption shall be induced either several times when the supply a.c. voltage reaches its peak value or 10 times at random.

This test shall be performed with reset time set to its maximum value and rate time set to its minimum value.

The following values shall be noted:

- the maximum transient change in output;
- the time taken for the output to reach and remain within 1% of its steady-state value;
- any permanent change in output.

8.4.1.3 *Power supply depression (electric controllers only)*

With the controller in open loop configuration, output stabilized at 100% span, the power supply voltage shall be reduced to 75% of nominal value for a period of 5 s. The change in output and the amplitude and duration of any transient shall be recorded.

8.4.1.4 *Power supply transient overvoltages (electric controllers only)*

Voltage spikes shall be generated by capacitor discharge or by means giving equivalent waveform and superimposed on the mains supply. The capacitor energy shall be 0.1 J and the spike amplitudes 100%, 200%, 300% and 500% overvoltage (percentage of mains r.m.s. voltage).

The appropriate capacity of the capacitor can be calculated from the energy and the amplitude.

The power supply lines shall be protected by a suitable suppression filter, consisting at least of a choke of 500 μ H, capable of carrying the line current.

Two pulses of each amplitude phased to mains peak voltage or alternatively at least ten pulses randomly phased with respect to the mains supply shall be applied. Any transients appearing at the output of the controller and any permanent output changes shall be recorded.

8.4.1.5 *Reverse supply protection*

For a controller incorporating protection against power supply reversal, the maximum allowed reverse power supply voltage shall be applied. After correctly reconnecting the power supply, offset shall be measured again and any change in offset reported.

8.5 Perturbations électriques

Les essais des paragraphes 8.5.1, 8.5.2, 8.5.3, 8.5.4 et 8.5.5 sont effectués en boucle ouverte avec une bande proportionnelle $X_p = 100\%$, un temps d'action par intégration T_I maximal (effet minimal) et un temps d'action par dérivation T_D minimal (effet minimal).

8.5.1 Influence en mode commun (figure 7, page 58)

Cet essai n'est applicable qu'aux régulateurs dont les entrées et sorties électriques sont isolées par rapport à la terre.

Pour les régulateurs comportant un isolement entrée/sortie, la borne négative de sortie doit être mise à la terre lorsque la perturbation en mode commun est appliquée aux bornes d'entrée et vice versa.

Il convient qu'un régulateur n'ayant pas de borne de terre soit monté normalement dans un châssis ou un rack lui-même relié à la terre et qui sera à son tour utilisé comme terre pendant les essais.

L'essai consiste à mesurer les variations du signal de sortie provoquées par l'application d'un signal en courant alternatif de 250 V en valeur efficace et de fréquence égale à la fréquence du réseau entre la terre et chacune des bornes d'entrée et de sortie, prises successivement. Si le constructeur spécifie une valeur inférieure à 250 V, c'est cette valeur qui doit être retenue pour l'essai. Dans tous les cas, faire varier le déphasage du signal perturbateur de 0° à 360° par rapport à la tension d'alimentation du régulateur.

Le même essai doit être ensuite effectué en substituant cette fois une tension continue à la tension alternative. Une tension égale à la plus faible des deux valeurs suivantes: 50 V courant continu, ou 1 000 fois l'intervalle de mesure, doit être appliquée, avec l'une et l'autre polarité. Si le constructeur spécifie une valeur inférieure à 50 V, c'est cette valeur inférieure qui doit être appliquée. Comme précédemment, la tension ne doit être appliquée qu'aux bornes de sortie qui sont isolées par rapport à la terre.

Au cours des essais de perturbation en mode commun, le régulateur doit être alimenté à partir d'une source de signaux d'entrée qui n'est pas affectée par les signaux de mode commun. Pour les régulateurs dont le signal d'entrée est un courant, la source de signaux doit être une source de courant dont les bornes de sortie sont reliées en parallèle par un condensateur de capacité au moins égale à 10 μF . Pour les régulateurs dont le signal d'entrée est une tension, la source de signaux doit être une source de tension dont l'impédance de sortie ne doit pas excéder 100 Ω pour la fréquence d'alimentation.

Noter toute variation en régime permanent du signal de sortie ainsi que l'amplitude de l'ondulation induite.

Note. — Les essais de perturbation en mode commun sont aussi couramment réalisés en appliquant simultanément le signal d'essai aux deux bornes d'entrée ou de sortie. Si l'impédance entre les bornes est faible comparativement à l'impédance par rapport à la terre, les deux méthodes d'essai conduiront à des résultats équivalents. La méthode décrite ci-dessus a été choisie en vue d'apporter une certaine cohérence entre les méthodes d'essai de différents laboratoires et les résultats correspondants, cela pour une large gamme d'appareils.

8.5.2 Influence en mode série (voir figure 8, page 59)

L'essai consiste à mesurer la variation du signal de sortie provoquée par l'injection, dans le signal d'entrée électrique, d'un courant alternatif à la fréquence du réseau. Faire varier le déphasage du signal injecté de 0° à 360° par rapport à la tension d'alimentation du régulateur.

Pour les régulateurs à entrée en tension (voir figure 8a, page 59), la tension de mode série doit être graduellement augmentée jusqu'à obtention d'une variation moyenne du signal de sortie de 0,5% de l'intervalle de sortie ou jusqu'à ce que la tension en mode série atteigne 1 V crête de crête, selon la première valeur obtenue. Si le constructeur spécifie une valeur

8.5 Electrical interferences

Tests 8.5.1, 8.5.2, 8.5.3, 8.5.4 and 8.5.5 shall be conducted in open loop, with proportional band $X_p = 100\%$. Reset time $T_I =$ maximum setting (minimum effect) and rate time $T_D =$ minimum setting (minimum effect).

8.5.1 Common mode interference (Figure 7, page 58)

This test is only applicable to a controller with electrical inputs and outputs which are isolated from earth.

For controllers which incorporate input/output isolation, the negative output terminal shall be earthed while the common mode interference is applied to the input terminals, and vice versa.

For a controller which is not provided with an earthing terminal, it should be mounted in the normal manner onto an earthed frame or panel, which should be used as the earth for the purposes of this test.

The test shall be carried out by measurement of the changes in output caused by superposition of a sine wave signal of 250 V r.m.s. at mains frequency between earth and each input and output terminal in turn. If the manufacturer specifies a value less than 250 V, then this lower value shall be used instead. The phase of the interfering signal shall be varied over 360° with respect to the phase of the mains input to the controller power supply.

The test shall then be repeated using a direct instead of an alternating voltage. A potential of 50 V d.c. or 1 000 times the input span, whichever is less, shall be used, both positive and negative potentials being applied. If the manufacturer specifies a value less than 50 V, this lower value shall be used. The voltage shall only be applied to output terminals which are isolated from earth.

During the common mode interference tests the controller shall be supplied from a signal source which is not affected by the common mode signal. For a current input controller the signal source shall be a current source with not less than $10\ \mu\text{F}$ capacitance connected across its output terminals. For a voltage input controller the signal source shall be a voltage source with an output impedance no greater than $100\ \Omega$ at mains frequency.

Any change in steady-state output is to be reported together with any ripple induced on the output signal.

Note. — Common mode interference tests are also commonly conducted by connecting the test signal to both input or both output terminals simultaneously. If the impedance between terminals is low relative to impedance to earth, both test methods yield equivalent results. The method described above has been chosen to promote consistency of methods and results among testing agencies for a wide range of devices.

8.5.2 Series mode interference (see Figure 8, page 59)

This test shall be carried out by measuring the output change caused by the injection into the electrical input of an alternating current at mains frequency. The phase of the injected signal shall be varied over 360° relative to the phase of the mains supply to the controller.

For voltage-input controllers (see Figure 8a, page 59), the series mode voltage shall be increased gradually until the change of the mean output signal equals 0.5% of span or until the amplitude of the series mode signal reaches 1 V peak whichever occurs first. If the manufacturer specifies a maximum value of less than 1 V peak, then this lower value shall be used. The

maximale inférieure à 1 V, c'est cette valeur qui doit être retenue pour l'essai. Noter la tension de mode commun donnant une variation de 0,5% du signal de sortie ainsi que la composante alternative.

Pour les régulateurs à entrée en courant (voir figure 8b, page 59), on utilisera un courant de mode série qu'on augmentera progressivement jusqu'à une valeur limite égale à 10% de l'intervalle de mesure. Injecter ce signal perturbateur dans le signal d'entrée par toute méthode compatible avec les impédances du circuit, par exemple avec l'amplificateur sommateur représenté dans la figure 8b.

8.5.3 *Mise à la terre*

Cet essai n'est applicable qu'aux régulateurs dont les entrées et sorties électriques sont isolées de la terre.

L'essai consiste à mesurer la variation en régime permanent du signal de sortie provoquée par la mise à la terre successive de chaque borne d'entrée et de sortie.

8.5.4 *Perturbations radioélectriques*

L'essai de l'influence sur le signal de sortie d'une perturbation radio-électrique fera l'objet d'un accord entre constructeur et utilisateur (voir Publication 801-3 de la CEI).

8.5.5 *Perturbations provoquées par un champ magnétique*

Le but de cet essai est de déterminer l'influence d'un champ électrique alternatif de même fréquence que la source d'alimentation sur le signal de sortie d'un régulateur. Il n'est pas applicable aux régulateurs ne mettant en jeu que les signaux pneumatiques.

Soumettre le régulateur à un champ magnétique de 400 A/m (en valeur efficace), dirigé parallèlement à l'axe principal de l'appareil.

Noter toute variation en régime permanent du signal de sortie ainsi que l'amplitude de l'ondulation induite dues au champ et cela pour un signal de sortie égal à 10% et à 90% de l'intervalle de sortie. Répéter l'essai en dirigeant le champ parallèlement à deux axes mutuellement perpendiculaires et perpendiculaires à l'axe précédent.

Note. — On peut obtenir un champ magnétique voisin de 400 A/m au centre ou près du centre d'une bobine circulaire de 1 m de diamètre, comportant 80 tours et dans laquelle circulent 5 A.

8.6 *Charge de sortie (régulateurs électriques seulement)*

La variation de l'écart total permanent provoquée par une variation de l'impédance de charge entre la valeur minimale et la valeur maximale spécifiées par le constructeur doit être mesurée en boucle fermée, après stabilisation du régulateur conformément à l'article 5.

Sauf indication contraire de la part du constructeur, effectuer un essai à impédance nulle (court-circuit) et un essai à impédance infinie (à vide), la durée de l'essai étant de 5 min et l'écart total permanent étant mesuré après rétablissement de la charge de référence.

Note. — S'assurer que le changement d'impédance ne modifie pas la boucle de contre-réaction vers l'entrée du régulateur.

8.7 *Essai accéléré de vieillissement*

8.7.1 *Conditions initiales*

Le schéma de principe de cet essai est indiqué sur la figure 2a, page 52, avec le commutateur en position B, où le générateur 3 est réglé pour délivrer un signal sinusoïdal.

Les conditions initiales sont celles qui sont spécifiées à l'article 5.

8.7.2 *Modalités de l'essai*

Effectuer cet essai en boucle fermée.

Mettre le régulateur en fonctionnement continu pendant un minimum de 7 jours, avec un signal de mesure sinusoïdal de fréquence 0,5 Hz et d'amplitude crête à crête égale à $\pm 25\%$ de

amplitude of the series mode signal corresponding to 0.5% effect shall be recorded. The a.c. component of the output signal shall also be recorded.

For current-input controllers (see Figure 8b, page 59) a series mode current signal shall be used, increased gradually to a limiting value of 10% of span peak. The interference signal should be mixed with the input signal, in a method which is compatible with the circuit impedances involved. An example of such a method using a summing amplifier with a current output is illustrated in Figure 8b.

8.5.3 Earthing

This test is applicable only to controllers with electrical inputs and outputs which are isolated from earth.

The test shall be carried out by measurement of the steady-state change of the output signal caused by earthing each input and output terminal in turn.

8.5.4 Radio interference

Test of the effect on the output of radio frequency interference shall be the subject of specific agreement between manufacturer and user. (See IEC Publication 801-3.)

8.5.5 Magnetic field interference

The purpose of this test is to determine the effect of a mains frequency alternating field on the output of a controller. It is not applied to controllers using pneumatic signals only.

The controller shall be exposed to a magnetic field of 400 A/m (r.m.s.) which is directed along the major axis of the instrument.

The effect of the field on the mean d.c. level and on the ripple content of the output shall be determined for output signals of 10% and 90% span. The test shall be repeated with the magnetic field directed along two additional axes mutually perpendicular to the first.

Note. — A magnetic field of approximately 400 A/m will be obtained at or near the centre of a circular coil of 1 m diameter, having 80 turns and carrying 5 A.

8.6 Output load (electric controllers only)

The change of offset caused by a change of load impedance from the minimum to the maximum values specified by the manufacturer shall be measured in closed loop configuration, with the controller stabilized as in Clause 5.

Unless otherwise specified by the manufacturer, a zero load impedance test (short circuit) and an infinite load impedance test (open circuit) shall be performed for 5 min and the offset measured after restoring reference load.

Note. — It should be ensured that the change in load impedance does not directly cause a change in the feedback loop to the controller input.

8.7 Accelerated operational life test

8.7.1 Initial conditions

A suitable circuit for this test is shown in Figure 2a, page 52, with the selector switch in position B and with Generator 3 set to provide a sinusoidal signal.

Initial conditions are as specified in Clause 5.

8.7.2 Test procedure

This test shall be carried out in closed loop.

The controller shall be operated continuously for at least 7 days with a sinusoidal measured value signal of frequency 0.5 Hz and a peak-to-peak amplitude equal to $\pm 25\%$ of span

l'intervalle de mesure et centré à 50%. Interrompre le signal sinusoïdal chaque jour pour permettre la mesure de l'écart total permanent avec une fréquence suffisante pour en détecter la variation.

Noter la valeur maximale de variation de l'écart total permanent.

9. Caractéristiques du circuit de sortie et consommation de puissance

9.1 *Energie consommée et fournie*

9.1.1 *Généralités*

Il convient d'effectuer les essais successivement avec et, lorsque l'appareil s'y prête, sans dispositif de commutation automatique-manuel. Quand l'essai est effectué avec un dispositif de commutation automatique-manuel, seul le modèle de dispositif recommandé par le constructeur du régulateur doit être utilisé.

9.1.2 *Conditions initiales*

Le schéma de montage de la figure 2a, page 52, (commutateur en position B) peut être utilisé pour cet essai.

Les conditions initiales sont celles qui sont spécifiées à l'article 5.

9.1.3 *Débit d'air fourni ou évacué (régulateurs pneumatiques)*

Tirer différents débits d'air de la conduite de sortie du régulateur et mesurer l'écart total permanent pour chaque débit fourni. Envoyer ensuite différents débits d'air dans la conduite de sortie du régulateur et mesurer l'écart total permanent pour chaque débit évacué (voir figure 2b, page 53, par exemple).

Tracer ensuite, conformément à la figure 9, page 60, la courbe de l'écart total permanent en fonction du débit. Ce graphique permet de déterminer:

- 1) le débit maximal fourni pour un écart total permanent de 50%;
- 2) le débit maximal évacué pour un écart total permanent de 50%;
- 3) l'écart total permanent pour un débit fourni de 0,2 m³/h et de 0,4 m³/h*;
- 4) l'écart total permanent pour un débit évacué de 0,2 m³/h et de 0,4 m³/h*.

Une discontinuité de la courbe caractéristique de débit est appelée «zone morte du relais de sortie» ou «zone d'insensibilité» (voir figure 9). Exprimer la variation correspondante de l'écart. Déterminer également les débits correspondants (fournis ou évacués).

9.1.4 *Consommation d'air en régime permanent (régulateurs pneumatiques)*

Mesurer, après stabilisation de différentes valeurs de la pression de sortie, la consommation totale du régulateur dont la sortie est connectée à une capacité étanche pour empêcher une fuite d'air. Indiquer la valeur maximale du débit.

9.1.5 *Puissance consommée (régulateurs électriques)*

L'impédance de charge étant à sa valeur de référence et la valeur de consigne ajustée à 90% de l'intervalle de mesure, mesurer, en voltampères, la puissance consommée par le régulateur à la valeur nominale de la fréquence et de la tension, et puis à la valeur minimale de la fréquence et la valeur maximale de tension, spécifiées par le constructeur. Effectuer cet essai une fois en mode automatique et une fois en mode manuel.

9.2 *Transfert automatique-manuel*

Les performances du transfert manuel-automatique et vice versa seront évaluées comme convenu entre constructeur et utilisateur. (Il est suggéré de mesurer tout changement en

* Les mètres cubes sont ramenés aux conditions normales de pression et de température.

centered on 50%. The sinusoidal signal shall be interrupted daily to permit values of the offset to be measured sufficiently frequently to determine any change.

The maximum change in offset shall be noted.

9. Output characteristics and power consumption

9.1 Consumed and delivered energy

9.1.1 General

Tests should be carried out both with and, where applicable, without an auto-manual station. When testing with the auto-manual station, only that type of auto-manual station recommended by the controller manufacturer should be used.

9.1.2 Initial conditions

A suitable arrangement for conducting this test is shown in Figure 2a, page 52, (switch in position B).

Initial conditions are as specified in Clause 5.

9.1.3 Air flow delivered or exhausted (pneumatic controllers)

Varying flows of air shall be bled from the controller output line and the offset measured for each delivered flow rate. Varying flows of air shall then be blown into the controller output line and the offset measured for each exhausted flow rate in an arrangement such as that shown in Figure 2b, page 53.

The offset shall then be plotted against flow in accordance with Figure 9, page 60. Determine from this graph:

- 1) maximum delivered flow for a 50% offset;
- 2) maximum exhausted flow for a 50% offset;
- 3) offset when delivering a flow of $0.2 \text{ m}^3/\text{h}$ and $0.4 \text{ m}^3/\text{h}^*$;
- 4) offset when exhausting a flow of $0.2 \text{ m}^3/\text{h}$ and $0.4 \text{ m}^3/\text{h}^*$.

A discontinuity in the flow characteristic is termed "the output relay dead zone" (see Figure 9). The corresponding change in offset shall be reported. The corresponding air flows (delivered or exhausted) shall also be determined.

9.1.4 Steady-state air consumption (pneumatic controllers)

With the controller stabilized at various values of output and the output connected to a sealed capacity to ensure no flow from the output connection, the air supply to the controller shall be measured and the maximum flow recorded.

9.1.5 Power consumption (electric controllers)

With the load impedance adjusted to its reference value and the set point at 90% span, the power consumed by the controller shall be measured in voltamperes at the nominal voltage and frequency, and then at the maximum voltage and minimum frequency specified by the manufacturer. This test shall be carried out first in the "automatic" position, then in the "manual" position.

9.2 "Automatic"/"Manual" transfer

Assess the performance of the "Automatic"/"Manual" transfer facility and the "Manual"/"Automatic" transfer facility as agreed upon between user and manufacturer. (It is

* Cubic metres at normal conditions of temperature and pressure.

régime permanent de la sortie causé par le transfert ainsi que la valeur de crête du régime transitoire.)

9.3 Facteur d'ondulation du signal de sortie

Avec le régulateur en configuration de boucle fermée, la valeur de crête à crête et la valeur efficace de toute ondulation contenue dans le signal de sortie, ainsi que dans la composante correspondant à la fréquence de l'alimentation doivent être mesurées pour des signaux de sortie de 10%, 50% et 90%.

Lorsque des signaux impulsionnels sont superposés au signal de sortie, il est nécessaire de spécifier la bande passante de l'appareil de mesure utilisé et d'effectuer les mesures dans les conditions de charge nominales avec une capacité de charge fixée conventionnellement à 500 pF.

10. Réponse harmonique

10.1 Objet des essais de réponse harmonique

Trois caractéristiques importantes de l'appareil peuvent être déterminées au moyen de ces essais:

- 1) La fréquence de coupure supérieure de l'action proportionnelle. Pour cette détermination, régler la bande proportionnelle à 100%, le temps d'action par intégration à sa valeur maximale (effet minimal) et le temps d'action par dérivation à sa valeur minimale (effet minimal).
- 2) Le gain maximal de l'action par intégration à basse fréquence. Pour cette détermination, régler la bande proportionnelle à 100%, le temps d'action par intégration à sa valeur minimale (effet maximal) et le temps d'action par dérivation à sa valeur minimale (effet minimal).
- 3) Le gain maximal de l'action par dérivation à fréquence élevée. Pour cette détermination, régler la bande proportionnelle à 100%, le temps d'action par intégration à sa valeur maximale (effet minimal), le temps d'action par dérivation à la valeur maximale de la graduation du cadran de réglage (effet maximal).

Note. — Il existe d'autres méthodes d'analyse dynamique qui peuvent être plus rapides et plus efficaces que la méthode décrite ci-après. L'essai d'analyse harmonique, donné ci-dessus, a donc été volontairement simplifié de façon à pouvoir être effectué au moyen d'appareils couramment disponibles.

10.2 Modalités de l'essai

Essayer le régulateur avec les accessoires prévus par le constructeur pour un fonctionnement normal: relais et dispositifs de transfert pour la commutation manuel-automatique.

Le régulateur étant en boucle fermée (voir figure 2a, page 52), le commutateur étant en position B, le générateur 3 réglé pour émettre des signaux sinusoïdaux, ajuster la valeur de consigne à environ 50% de l'intervalle de mesure.

Un signal sinusoïdal doit être injecté à l'entrée du régulateur pour jouer le rôle de signal de mesure. L'amplitude de ce signal doit être assez faible pour éviter toute distorsion de la sortie.

La gamme de fréquence à explorer doit être fonction des caractéristiques du régulateur et doit permettre de déterminer ω_1 et ω_2 par leurs lignes droites asymptotiques (généralement entre 10 Hz et 10^{-3} Hz) (voir figure 10, page 61).

Les valeurs mesurées du signal de sortie et du signal d'entrée doivent être simultanément enregistrées à plusieurs fréquences, et les valeurs relatives du gain doivent en être déduites. En variante, on peut utiliser un analyseur de spectre.

proposed to report transient peak amplitude and steady-state change in output after the transfer.)

9.3 *Ripple content of electrical output*

With the controller in closed loop configuration, the peak-to-peak and r.m.s values and the mains frequency component of any a.c. ripple content of the output shall be measured with 10%, 50% and 90% output signals.

When pulse signals are superimposed on the output signal, it is necessary to specify the passband of the measuring instrument used, and to carry out the measurements under rated load conditions with a load capacitance fixed by convention at 500 pF.

10. **Frequency response**

10.1 *Application of frequency response tests*

Three important instrument characteristics can be determined from these tests:

- 1) High frequency cut-off of proportional action. For this test, the proportional band shall be set to 100%, reset time to maximum value (minimum effect), rate time to minimum value (minimum effect).
- 2) Maximum integral gain at low frequency. For this test the proportional band shall be set to 100%, reset time to minimum (maximum effect), rate time to minimum value (minimum effect).
- 3) Maximum derivative gain at high frequency. For this test, the proportional band shall be set to 100%, reset time to maximum value (minimum effect), rate time to maximum scale graduation (maximum effect).

Note. — Other methods of dynamic analysis which may be faster and more effective than the method described below are available. The above harmonic test has therefore been expressly simplified so that it may be carried out using the most commonly available apparatus.

10.2 *Test procedure*

The controller shall be tested with the equipment provided by the manufacturer for normal operation: manual-automatic transfer switch relays and transfer devices.

With the controller in closed loop configuration as in Figure 2a, page 52, switch in position B, generator 3 set for sinusoidal signal, the set point shall be set to approximately 50% of span.

A sinusoidal signal shall be applied to the controller as measured value signal. The amplitude of this signal shall be sufficiently low to avoid distortion of the output.

The frequency range to be explored shall depend on the design of the controller and shall allow the measurement of ω_1 and ω_2 by their asymptotes (generally from 10 Hz to 10^{-3} Hz) (see Figure 10, page 61).

Measured value signals and output signals shall be recorded simultaneously at several frequencies and the results used to determine relative gain values. Alternatively a spectrum analyser may be used.

10.3 Dépouillement des résultats

Tracer les courbes de Bode (amplitude-fréquence) pour un nombre suffisant de valeurs mesurées des coefficients K_p , K_I , K_D , par exemple celles en accord avec le paragraphe 10.1 correspondant aux combinaisons suivantes:

K_p	Bande proportionnelle (%)	T_I	T_D
1	100	Maximum (ou hors service)	Minimum (ou hors service)
1	100	Minimum	Minimum (ou hors service)
1	100	Maximum (ou hors service)	Valeur graduée Maximale

Note. — D'autres essais d'analyse harmonique peuvent être effectués pour déterminer d'autres paramètres.

Les courbes de Bode ainsi obtenues sont comparées à celles correspondant à l'équation (2b) (voir paragraphe 3.1).

Note. — Pourvu que les valeurs ω_1 , ω_2 , ω_3 et ω_4 soient suffisamment éloignées l'une de l'autre, une bonne approximation est donnée par:

$$T_1 = \frac{1}{\omega_1} = T_I$$

$$T_2 = \frac{1}{\omega_2} = T_D$$

En outre:

$$T_3 = \frac{1}{\omega_3} \text{ et } T_4 = \frac{1}{\omega_4}$$

doivent être relevées.

La figure 10, page 61, représente les valeurs de K_p et $K_p (1 + V_D)$, où V_D est le gain maximal d'action par dérivation, et $K_p (1 + V_I)$ où V_I est le gain maximal d'action par intégration.

11. Essais divers

11.1 Essai de surtension (voir Publication 348 de la CEI)

Effectuer les essais de surtension avec une tension d'essai sensiblement sinusoïdale et dont la fréquence est celle de l'alimentation du régulateur.

Appliquer la tension d'essai entre les deux bornes d'alimentation connectées ensemble et reliées à la terre. Connecter les autres bornes entre elles et les relier à la terre.

La tension à vide de l'appareillage d'essai doit être d'abord réglée à zéro puis connectée au régulateur. Le transformateur utilisé pour cet essai doit avoir une capacité d'au moins 500 VA.

Augmenter lentement la tension d'essai jusqu'à la valeur spécifiée (voir tableau ci-dessous) par échelons suffisamment petits pour qu'aucune surtension transitoire appréciable ne se produise, puis la maintenir à cette valeur pendant 1 min et ensuite la diminuer lentement jusqu'à zéro.

Tension d'alimentation alternative ou continue (valeur efficace) (V)	Tension d'essai (kV)
≤ 60	0,5
> 60 à 130	1,0
> 130	1,5

10.3 Analysis of test results

The Bode diagram (amplitude-frequency) shall be plotted for a sufficient number of measured values of factors K_p , K_I , K_D . For example, in accordance with 10.1 the combinations shown below:

K_p	Proportional band (%)	T_I	T_D
1	100	Maximum (or off)	Minimum (or off)
1	100	Minimum	Minimum (or off)
1	100	Maximum (or off)	Maximum scale graduation

Note. — Further frequency tests may be done to investigate alternative control parameters.

The Bode diagram thus obtained is compared to the Bode diagram corresponding to equation (2b) (see Sub-clause 3.1).

Note. — Provided that the values of ω_1 , ω_2 , ω_3 and ω_4 are far enough apart from each other, a fair approximate calculation is:

$$T_1 = \frac{1}{\omega_1} = T_I$$

$$T_2 = \frac{1}{\omega_2} = T_D$$

In addition:

$$T_3 = \frac{1}{\omega_3} \text{ and } T_4 = \frac{1}{\omega_4}$$

shall be given.

Figure 10, page 61, shows the values K_p and $K_p (1 + V_D)$ where V_D is the maximum derivative gain, and $K_p (1 + V_I)$ where V_I is the maximum integral gain.

11. Miscellaneous tests

11.1 Voltage test (see IEC Publication 348)

Isolation tests shall be performed with a test voltage of substantially sinusoidal waveform, its frequency being that of the power supply used by the controller.

The test voltage shall be applied between the two power supply terminals (which shall be connected together) and earth. The remaining terminals shall be connected together and to earth.

The no-load voltage of the testing apparatus shall be initially set to zero test voltage and then connected to the controller under test. The transformer used for this test shall have a capacity of at least 500 VA.

The test voltage shall be raised gradually to its specified value (see table below), so that no appreciable transient overvoltages occur. The test voltage shall be maintained at its maximum value for 1 min. It shall then be gradually reduced to zero.

Supply voltage d.c or a.c. r.m.s. (V)	Test voltage (kV)
≤ 60	0.5
> 60 to 130	1.0
> 130	1.5

11.2 *Résistance d'isolement*

Mesurer la résistance d'isolement entre chaque borne du circuit d'alimentation et la terre. Effectuer la mesure avec une tension continue de 500 V, sauf si le constructeur spécifie une valeur inférieure. Lorsque les bornes de sortie de l'appareil sont isolées par rapport à la terre, mesurer la résistance d'isolement par rapport à la terre, à la tension maximale spécifiée par le constructeur.

Note. — En accord avec le constructeur, cet essai peut, dans certains cas, ne pas être effectué, par exemple lorsqu'il s'agit d'une alimentation à très basse tension.

11.3 *Surcharge d'entrée*

Dans les conditions de référence (voir article 5) et en utilisant le montage de la figure 2a, page 52, avec commutateur en position B (boucle fermée), régler, au moyen du générateur de polarisation n° 3, le signal de mesure à 50% de surcharge (c'est-à-dire à une valeur égale à 150% de l'intervalle de mesure) pendant 1 min. Régler ensuite le signal de mesure à 50% de l'intervalle de mesure et, au bout de 5 min, stabiliser la sortie à 50% et mesurer l'écart total permanent. Pour les appareils utilisant des signaux à zéro décalé (par exemple 0,2 bar à 1,0 bar, 4 mA à 20 mA), répéter l'essai, le signal de mesure étant réglé à zéro (le zéro réel et non 0% de l'intervalle de l'échelle).

Si possible, effectuer également cet essai pour une surcharge de 50% sur la valeur de consigne w .

12. **Documentation**

Le constructeur doit fournir au laboratoire d'évaluation les notices d'installation, de mise en service, d'exploitation, d'entretien et de dépannage du régulateur. La liste des pièces de rechange et une liste des pièces de rechange qu'il est recommandé de garder en stock doivent également être fournies.

Le constructeur doit également indiquer la formule théorique donnant la meilleure expression des caractéristiques entrée/sortie du régulateur.

Pour satisfaire à la présente norme, certaines opérations doivent être effectuées selon la procédure indiquée par le constructeur. La personne qui effectue l'évaluation peut ainsi commenter la bonne adaptation et la clarté de ces instructions.

13. **Examen technique**

Examiner les détails de conception ou de réalisation du régulateur susceptibles de constituer des points faibles en exploitation.

Cet examen doit porter par exemple sur le degré de protection mécanique des parties actives, l'interchangeabilité des pièces de rechange avec des pièces d'origine, la protection contre les intempéries, la facilité d'inversion de l'action de régulation, etc.

Autant que possible, effectuer également une estimation de la qualité des composants et matériaux.

14. **Rapport d'évaluation**

Outre les résultats d'essais, présentés conformément aux prescriptions de cette norme, le rapport d'essai doit mentionner les points suivants:

- date et lieu des essais;
- référence à la présente norme;
- caractéristiques d'identification de l'appareil essayé (type, modèle, numéro de série, etc.);
- conditions de référence et d'essai, telles qu'elles sont définies dans la norme;
- incidents éventuels susceptibles d'avoir influencé les résultats;
- remarques du constructeur sur les essais et leurs résultats.

11.2 *Insulation resistance*

The insulation resistance between each power supply terminal and earth shall be measured. Unless the manufacturer specifies a lower value, this measurement shall be made using a direct voltage of 500 V. In those cases where the instrument output terminals are isolated from earth, the insulation resistance to earth shall be measured at the maximum voltage specified by the manufacturer.

Note. — This test may be omitted by agreement with the manufacturer when, for example, the power supply is extra-low voltage.

11.3 *Input over-range*

Under reference conditions (see Clause 5) and using the circuit shown in Figure 2a, page 52, with the switch in position B (closed loop), the measured value signal shall be set to 50% overload (i.e., to a value equal to 150% of span) for 1 min by adjustment of the bias generator No. 3. The measured value signal shall then be set to 50% of span and after 5 min the output shall be stabilized at 50% and the offset measured. For instruments using elevated zero signals (e.g. 0.2 bar to 1.0 bar, 4 mA to 20 mA), the test shall be repeated with measured value signals set to 0 (actual 0, not 0% of span).

This test shall be carried out also, if possible, with 50% overload induced on the set point w .

12. **Documentary information**

The manufacturer shall supply to the evaluating body information for installation, commissioning, operation, routine maintenance and repair of the controller. A spare parts list together with a recommendation of the spare parts to be held in stock shall also be supplied.

The manufacturer shall also state the theoretical formula giving the best expression of the input/output characteristics of the controller.

This standard specifies that certain operations shall be carried out in the manner specified by the manufacturer. Thus, the evaluator may comment on the suitability and clarity of the instructions.

13. **Technical examination**

Design or constructional details of the controller likely to cause troublesome operation shall be examined.

This examination shall involve, for instance: degree of enclosure of the working parts, interchangeability of spare parts with original parts, weatherproofing, reversal of control action, etc.

As far as possible, an assessment of the quality of the components and material used should also be made.

14. **Test report**

In addition to the test results, presented in accordance with this standard, the test report shall include the following:

- date and place of tests;
- reference to this standard;
- identification characteristics of the instrument tested (type, model, serial No., etc.);
- reference and test conditions, as specified in the standard;
- any significant occurrences likely to have influenced the results;
- manufacturer's comments on the tests and the test results.

15. Résumé des essais

Désignation	Renseignements à fournir		Se référer à l'article ou au paragraphe
	Unités	Observations	
1. Ecart total permanent	% de l'intervalle de mesure	Ecart total permanent maximal, positif et négatif pour trois réglages de la bande proportionnelle: 100%, minimal et maximal (ou les graduations les plus proches)	6
2. Valeur de consigne	% de l'intervalle de consigne	Différences entre valeurs indiquées et mesurées pour les valeurs de consigne suivantes: 0%, 20%, 40%, 50%, 60%, 80% et 100% dans le sens croissant puis décroissant. Répéter ce cycle au moins trois fois et calculer l'erreur moyenne et l'hystérésis	7.1
3. Coefficient d'action proportionnelle	Rapport (sans dimension)	Rapports obtenus en réglant la bande proportionnelle à 100%, au minimum et au maximum	7.2
Erreur de graduation	% de la valeur graduée	Ecart par rapport à la graduation	7.2.2
4. Zone morte	% de l'intervalle de mesure	Valeur maximale d'entrée ne provoquant pas de variations sensibles de la sortie	7.2.3
5. Temps d'action par intégration	Minutes	Temps relevés en ajustant les valeurs maximales, minimales et intermédiaires pour des variations d'entrée positives et négatives	7.3
Erreur de graduation	% de la valeur graduée	Ecart par rapport à la graduation	7.3.2
6. Temps d'action par dérivation	Minutes	Temps relevés en ajustant les valeurs maximales, minimales et intermédiaires pour des variations d'entrée positives et négatives	7.4
Erreur de graduation	% de la valeur graduée	Ecart par rapport à la graduation	7.4.2
7. Température ambiante	% de l'intervalle de mesure par 10°C	Variations de l'écart total permanent aux températures maximale et minimale de fonctionnement et pendant les cycles de température spécifiés	8.2.1
8. Humidité	% de l'intervalle de mesure	Variation de l'écart total permanent	8.2.2
9. Position de montage	% de l'intervalle de mesure par 10°	Variation de l'écart total permanent pour une inclinaison de 10° dans chacune des quatre orientations	8.3.1
10. Chocs	% de l'intervalle de mesure	Variation de l'écart total permanent résultant d'une chute sur une face. Variation résultant d'une chute libre sur chacune des quatre arêtes inférieures après basculement de 30° ou d'une hauteur spécifiée et agréée	8.3.2
11. Vibrations mécaniques	% de l'intervalle de mesure	Recherche des résonances 1) 10 Hz à 60 Hz, 0,07 mm 2) 60 Hz à 150 Hz, 9,8 m/s ² Epreuve d'endurance aux fréquences de résonance pendant 3 h Vérification du bon état mécanique et des variations de l'écart total permanent	8.3.3
12. Variations de l'alimentation (tension ou pression de l'air)	% de l'intervalle de mesure	Variations de l'écart total permanent provoquées par des variations de +10% et -15% de la tension ou de la pression de l'air	8.4.1

15. Summary of tests

Designation	Information to be provided		Refer to clause or sub-clause
	Units	Remarks	
1. Offset	% of span of measured value	Maximum positive and negative offset for proportional band at three settings: 100%, minimum and maximum (or the nearest scale markings)	6
2. Set point scale	% of span of set point	Difference between indicated values and measured values at set points of 0%, 20%, 40%, 50%, 60%, 80% and 100% increasing and decreasing. Repeat the cycle at least three times and calculate values for average error and hysteresis	7.1
3. Proportional action factor	Ratio (non-dimensional)	Ratio for proportional band set at 100%, minimum and maximum	7.2
Dial marking error	% dial marking	Deviation from dial marking	7.2.2
4. Dead band	% of span of measured value	Maximum change in input for no detectable change in output	7.2.3
5. Reset time	Minutes	Value of time at maximum, minimum and intermediate nominal settings, for positive and negative changes in input	7.3
Dial marking error	% dial marking	Deviation from dial marking	7.3.2
6. Rate time	Minutes	Value of time at maximum, minimum and intermediate nominal settings, for positive and negative changes in input	7.4
Dial marking error	% dial marking	Deviation from dial marking	7.4.2
7. Ambient temperature	% of span of measured value per 10°C	Change in offset at maximum and minimum operating temperatures and during specified temperature cycles	8.2.1
8. Humidity	% of span of measured value	Change in offset	8.2.2
9. Mounting position	% of span of measured value per 10°	Change in offset due to 10° tilt in each of four directions in turn	8.3.1
10. Shock	% of span of measured value	Change in offset due to dropping onto a face. Change due to falling freely after tilting on each of the four bottom edges by 30° or by a specified and agreed distance	8.3.2
11. Mechanical vibration	% of span of measured value	Resonance search 1) 10 Hz to 60 Hz, 0.07 mm 2) 60 Hz to 150 Hz, 9.8 m/s ² Endurance run at resonances for 3 h Check mechanical condition and change in offset	8.3.3
12. Power supply variations (voltage or air pressure)	% of span of measured value	Change in offset for variations of +10% and -15% of voltage or air pressure	8.4.1

Désignation	Renseignements à fournir		Se référer à l'article ou au paragraphe
	Unités	Observations	
13. Variations de l'alimentation (fréquence)	% de l'intervalle de mesure	Variations de l'écart total permanent provoquées par des variations de fréquence de + 2% et - 10%	8.4.1
14. Variations de l'alimentation (Dérive après mise sous tension (interruption de longue durée))	% de l'intervalle de mesure	Variations de l'écart total permanent, mesurées 5 min et 1 h après avoir appliqué l'alimentation, le régulateur étant resté auparavant non alimenté pendant 24 h; cela pour une valeur de consigne à 50% de son intervalle	8.4.1.1
15. Variations de l'alimentation (interruption de courte durée)		Pour des interruptions de 5 ms, 20 ms, 100 ms, 200 ms et 500 ms et pour des temps d'action par intégration et d'action par dérivation minimaux	8.4.1.2
	% de l'intervalle du signal de sortie	Variation transitoire maximale du signal de sortie	
	Secondes	Temps au bout duquel le signal de sortie reste à 1% près de sa valeur stabilisée	
	% de l'intervalle du signal de sortie	Variation permanente du signal de sortie	
16. Baisse de la tension d'alimentation	% de l'intervalle de sortie	Variation du signal de sortie après baisse de l'alimentation à 75% de sa valeur	8.4.1.3
17. Surtensions transitoires d'alimentation	% de l'intervalle de sortie	Phénomènes transitoires et variations du courant continu de sortie provoqués par les pointes de tension d'amplitude et de durée spécifiées superposées à la tension d'alimentation	8.4.1.4
18. Protection contre l'inversion de la tension d'alimentation	% de l'intervalle de mesure	Variation de l'écart total permanent après correction des connexions	8.4.1.5
19. Influence en mode commun	% de l'intervalle du signal de sortie	Variations en régime permanent du signal de sortie ou de toute amplitude de l'ondulation résultant d'un signal alternatif de 250 V en valeur efficace à la fréquence du réseau, appliqué successivement entre la terre et chacune des bornes d'entrée et de sortie (la phase du signal variant de 360° par rapport à celle du réseau d'alimentation) Répéter l'essai avec 50 V courant continu ou 1 000 fois l'intervalle du signal d'entrée	8.5.1
20. Influence en mode série	% de l'intervalle du signal de sortie	Variation du signal de sortie résultant d'un signal alternatif 1 V crête à crête à la fréquence du réseau d'alimentation, appliqué en série aux bornes d'entrée (la phase du signal variant de 360° par rapport à celle du réseau d'alimentation)	8.5.2
21. Mise à la terre	% de l'intervalle de sortie	Variation permanente du signal de sortie résultant de la mise à la terre successive de chacune des bornes d'entrée et de sortie	8.5.3
22. Perturbations radioélectriques		Selon spécification du constructeur	8.5.4
23. Perturbations électromagnétiques	% de l'intervalle de sortie	400 A/m à 10% et à 90% de l'intervalle de sortie	8.5.5

Designation	Information to be provided		Refer to clause or sub-clause
	Units	Remarks	
13. Power supply variations (frequency)	% of span of measured value	Change in offset for frequency variations of +2% and -10%	8.4.1
14. Power supply variations (start-up drift (long interruption))	% of span of measured value	Change in offset after 5 min and 1 h from switching on after being off for 24 h. For set point at 50% of span	8.4.1.1
15. Power supply variations (short interruption)		For interruptions of 5 ms, 20 ms, 100 ms, 200 ms, 500 ms at and for maximum reset and minimum rate times	8.4.1.2
	% of span of output	Maximum transient change in output	
	Seconds	Time for output to stay within 1% of steady-state value	
	% of span of output	Permanent change in output	
16. Power supply depression	% of span of output	Change in output after depressing supply to 75%	8.4.1.3
17. Power supply transient overvoltages	% of span of output	Transient and d.c. output changes for specified amplitudes and durations of voltage spikes superimposed on the mains supply	8.4.1.4
18. Reverse supply protection	% of span of measured value	Change in offset after correct reconnection	8.4.1.5
19. Common mode interference	% of span of output	Change in steady-state output or any ripple due to a 250 V r.m.s. a.c. mains frequency signal (varying the phase 360° with respect to mains) applied between earth and each input and output terminal in turn	8.5.1
		Repeat with 50 V d.c. or 1 000 times input span	
20. Series mode interference	% of span of output	Change in output due to 1 V peak-to-peak a.c. mains frequency signal (varying the phase 360° with respect to mains) applied in series with the input terminals	8.5.2
21. Earthing	% of span of output	Change in output signal due to earthing each input and output terminal in turn	8.5.3
22. Radio interference		As specified by manufacturer	8.5.4
23. Magnetic field interference	% of span of output	400 A/m at 10% and 90% of output span	8.5.5