

**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 Énergie 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:

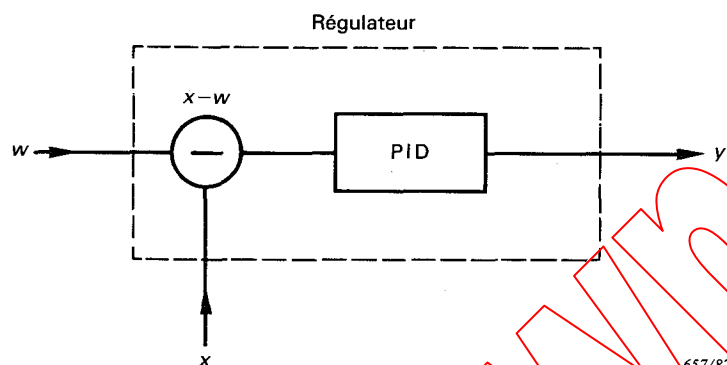


FIG. 1. — Signaux d'entrée et de sortie d'un régulateur idéalisé.

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

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

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:

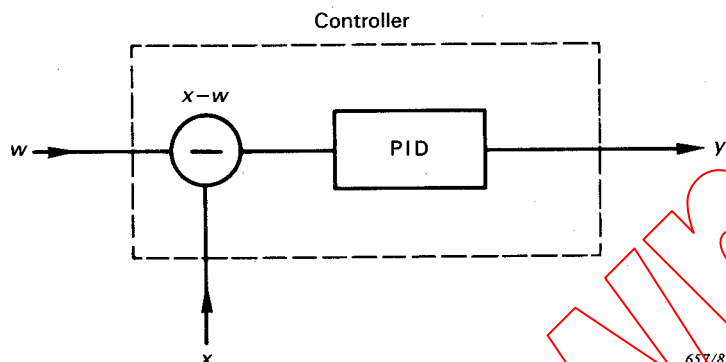


FIG. 1. — Basic signals to/from an idealized controller.

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

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

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:

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

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:

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

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%.