

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Industrial-process control valves –
Part 9: Test procedure for response measurements from step inputs**

**Vannes de régulation des processus industriels –
Partie 9: Procédure d'essai pour la mesure de la réponse des vannes de
régulation à des signaux d'entrée échelonnés**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2007 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00



IEC 60534-9

Edition 1.0 2007-09

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Industrial-process control valves –

Part 9: Test procedure for response measurements from step inputs

Vannes de régulation des processus industriels –

Partie 9: Procédure d'essai pour la mesure de la réponse des vannes de régulation à des signaux d'entrée échelonnés

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

U

ICS 23.060; 25.040.40

ISBN 2-8318-9280-5

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope and object.....	5
2 Normative references	5
3 Terms and definitions.....	5
4 Symbols	10
5 General test procedures	11
5.1 Test valve conditions.....	11
5.2 Test system.....	11
5.3 Measuring instruments	11
5.4 Process variable.....	12
5.5 Nominal test position.....	13
6 Examples of step response.....	13
7 Tests specified for each of three test environments	15
7.1 Bench tests	15
7.2 Laboratory tests	16
7.3 In-process tests.....	16
8 Detailed test procedures.....	17
8.1 Baseline test	17
8.2 Small-step test	18
8.3 Response-time tests.....	19
9 Presentation of test results	21
9.1 General information.....	21
9.2 Test results	22
9.2.1 Baseline test.....	22
9.2.2 Small-step test	22
9.2.3 Response-time tests.....	22
Annex A (informative) Sliding friction measurement	24
Bibliography.....	26
Figure 1 – Dead band and resolution	6
Figure 2 – Typical step change and response without overshoot.....	14
Figure 3 – Step response with some overshoot.....	15
Figure 4 – Example step and response during baseline test.....	18
Figure 5 – Signal sequence for small-step test.....	19
Figure 6 – Sample signal step sequence for response time tests	20
Figure 7 – Sample data from small-step test ($\Delta s = 0,13 \%$) performed in a process loop	23
Figure 8 – Sample plot showing step response, t_{86} , versus step size for four different valves	23

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

INDUSTRIAL-PROCESS CONTROL VALVES –

Part 9: Test procedure for response measurements from step inputs

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60534-9 has been prepared by subcommittee 65B: Devices, of IEC technical committee 65: Industrial-process measurement and control.

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

FDIS	Report on voting
65B/632/FDIS	65B/639/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The list of all the parts of the IEC 60634 series, under the general title *Industrial-process control valves*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

INDUSTRIAL-PROCESS CONTROL VALVES –

Part 9: Test procedure for response measurements from step inputs

1 Scope and object

This part of IEC 60534 defines the testing and reporting of the step response of control valves that are used in throttling closed-loop control applications. A control valve consists of the complete, ready-to-use assembly of the control valve body, the actuator, and any required accessories. The most probable accessory is a valve positioner.

NOTE For background, refer to technical report ANSI/ISA-TR75.25.02 [6]¹.

The object of this standard is to define how to test, measure, and report control valve response characteristics in an open-loop environment. This information can be used for process control applications to determine how well and how fast the control valve responds to the control valve input signal.

This standard does not define the acceptable control valve performance for process control nor does it restrict the selection of control valves for any application. If this standard is used for evaluation or acceptance testing, the parties may agree to documented variations from these requirements.

The information using the defined test methods is specifically applicable to closed-loop feedback control but may have some application to open-loop control applications. It does not address valves used in on-off control service.

Tests specified in this standard may not be sufficient to measure the performance required for all applications. Not all control valve applications will require this testing.

2 Normative references

The following documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60534-1, *Industrial-process control valves – Part 1: Control valve terminology and general consideration*

IEC 60534-4, *Industrial-process control valves – Part 4: Inspection and routine testing*

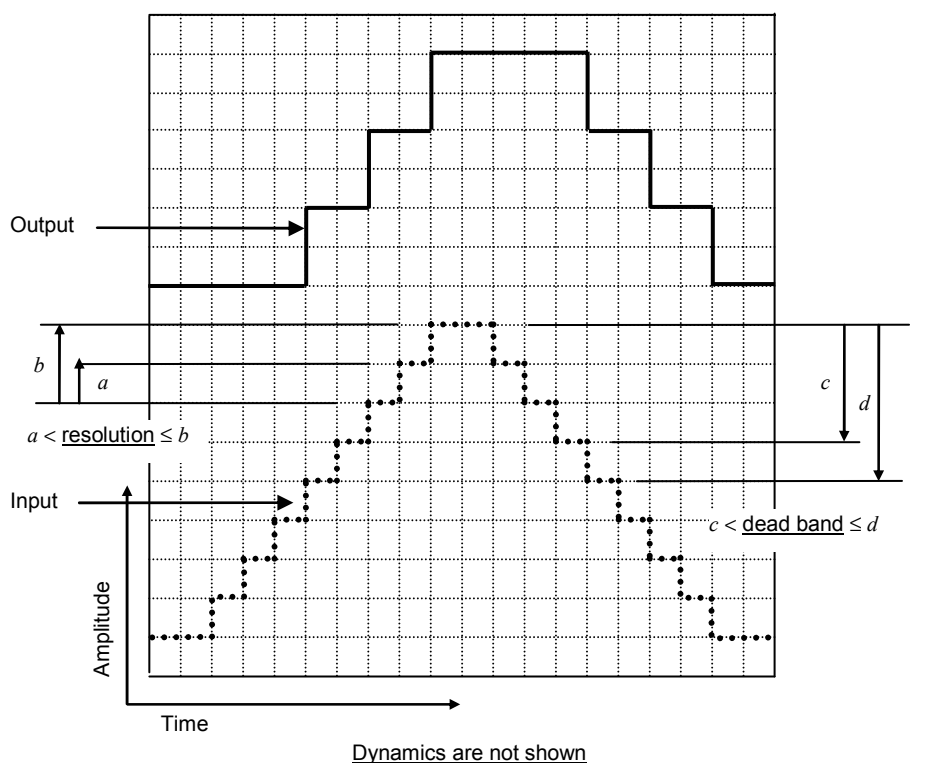
3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions, as well as those given in IEC 60534-1 and other parts of IEC 60534, apply.

NOTE 1 In the specific area of non-linear dynamics, it was determined that some terms defined in IEC 60050-351 or in [5] lacked the precision desired for these documents. Others were inconsistent with the terminology used in the non-linear control literature.

¹ Figures in square brackets refer to the Bibliography.

NOTE 2 Reference [6] explains applicable terms and explores control valve static and dynamic response characteristics important for process control. That information will aid correct interpretation and application of the test results obtained from the tests defined in this standard.



IEC 1630/07

Figure 1 – Dead band and resolution

3.1 closed-loop time constant

time constant of the closed-loop response of a control loop, used in tuning methods such as Internal Model Control (IMC) and Lambda Tuning and is a measure of the performance of a control loop

3.2 dead band

finite range of values within reversal of the input variable does not produce any noticeable change in the output variable

[IEC 60534-4, 3.2]

3.3 dead time

time interval between the instant when a variation of an input variable is produced and the instant when the consequent variation of the output variable starts

3.4 dynamic response

time-dependent output signal change resulting from a defined time-dependent input signal change

NOTE Commonly used input signal changes include impulse, pulse, step, ramp, and sinusoid [4]. Dynamic means that the control valve is moving. Dynamic response can be measured without process loading in bench-top tests, with simulated or active loading in a flow laboratory or under normal process operating conditions.

3.5**gain ratio** G_R

response gain G_Z divided by the response gain G_{Z02} determined from the multi-step test performed with a step size of 2 %. The ideal gain ratio equals 1,0 for tests about any nominal position

$$G_R = G_Z/G_{Z02}$$

NOTE Measuring the gain ratio may not be possible if a digital positioner with pulse-modulated output is involved in the system since, on such positioners, the gain measurement may give infinite values.

3.6**input step size** Δs

difference between the beginning and ending signal in a step change expressed as a per cent of the signal span

3.7**limit cycle**

oscillation caused by the non-linear behaviour of a feedback system

NOTE 1 These oscillations are of fixed amplitude and frequency and can be sustained in a feedback loop even if the system input change is zero. In linear systems, an unstable oscillation grows theoretically to infinite amplitude, but non-linear effects limit this growth [3].

NOTE 2 The occurrence of the limit cycle may be dependent on current valve position.

3.8**non-linear system**

system whose response depends on the amplitude and the nature of the input signal, as well as the initial conditions of the system. As an example, a non-linear system can change from being stable to unstable by changing the size of the input signal

NOTE When a non-linear system is driven towards a set point by feedback control action, it is likely to develop a limit cycle. The amplitude and frequency of such limit cycles are a function of the nature of the non-linearities which are present, and the effective gain of the feedback control action. As the gain of the feedback is increased, the frequency of the limit cycle is likely to increase. More aggressive gain increases may produce behaviour such as bifurcation, frequency doubling and eventually chaotic behaviour.

3.9**overshoot**

for a step response, the maximum transient deviation from the final steady-state value of the output variable, expressed as a percentage of the difference between the final and the initial steady-state values

3.10**relative travel** h

ratio of the travel at a given opening to the rated travel

[IEC 60534-1, 4.5.4]

3.11**resolution**

smallest step increment of input signal in one direction for which movement of the output is observed, expressed as a percentage of the input span

NOTE The term “valve resolution” in this standard means the tendency of a control valve to move in finite steps in responding to step changes in the input signal applied in the same direction. This happens when the control valve sticks in place, having stopped moving after the previous step change.

3.12

step response

time history of a variable after a step change in the input. In this standard, the step response can be stem position, flow, or another process variable

3.13

response flow coefficient

C_R

apparent flow coefficient as determined by testing in an operating type environment. The data available in the operating environment may differ from the laboratory data required by valve sizing standards

NOTE 1 Flow coefficients in current use are K_V and C_V depending upon the system of units. For further information, refer to IEC 60534-1.

NOTE 2 It will be noted that the dimensions and units on each of the following defined flow coefficients are different. However, it is possible to relate these flow coefficients numerically. This relationship is as follows:

$$\frac{K_V}{C_V} = 0,865$$

3.14

response gain

G_Z

ratio of the steady-state magnitude of the process change, ΔZ , divided by the signal step, Δs , that caused the change. One special reference response gain is defined as that calculated from the 2 % step size response time test which is designated as G_{Z02}

$$G_Z = \Delta Z / \Delta s$$

$$G_{Z02} = \Delta Z_{02} / \Delta s_{02}$$

3.15

sampling interval

Δt_s

time increment between sampled data points which is the inverse of the sampling rate, f_0

$$\Delta t_s = 1/f_0$$

NOTE As used in this standard, since more than one variable is being sampled, it is the time between the sets of sampled data. Ideally, all variables in one set are sampled at the same time. If data is recorded using analogue equipment, the time constant for the recording equipment should be less than, or equal to, the maximum allowed Δt_s .

3.16

sampling rate

f_0

rate at which data samples are taken or the number of samples per unit time (see 3.15)

3.17

sliding friction

F_R or T_R

force or torque required to maintain motion in either direction at a prescribed input signal ramp rate

3.18**static**

means without motion or change [4]; readings are recorded after the device has come to rest. Static performance can be measured either without process loading (bench-top tests), with simulated or active loading, or under process operating conditions

NOTE This kind of test is sometimes called a dynamic test [4] which may cause confusion. The static behaviour characteristics identified as important to the control valve performance are the dead band, the resolution, and the valve travel gain.

3.19**steady state**

state of a system which is maintained after all transient effects have subsided as long as all input variables remain constant

3.20**step change**

nearly instantaneous step change made to an input signal of a dynamic system with the intention of stimulating a step response of the dynamic system. Such a test is used to characterize the step response of the dynamic system

3.21**step change time**

Δt_{sc}
time between the start of a signal input step and attainment of its maximum value

3.22**step test**

application of a step change to an input signal in order to test the step response dynamics

3.23**step response time**

t_{86}
interval of time between initiation of an input signal step change and the moment that the response of a dynamic reaches 86,5 % of its full steady-state value. The step response time includes the dead time before the dynamic response

3.24**stiction (static friction)**

resistance to the start of motion, usually measured as the difference between the driving values required to overcome static friction upscale and downscale [5]

3.25**time constant**

τ
time required to complete 63,2% (i.e. $1-1/e$) of the total change of the output of a first-order linear system produced by a step-wise variation of the input variable

NOTE The term is used in this standard to describe the dynamic characteristics of the analogue measuring instruments.

3.26**valve travel gain**

change in closure member position divided by the change in input signal, both expressed in percentage of full span

$$G_X = \Delta X / \Delta s$$

3.27**valve system approximate time constant** τ'

time constant of a first-order response without dead time, which may fit the actual control valve step response reasonably well. The approximate time constant is defined to provide a basis for comparison of the valve with other time constants, such as the closed-loop time constant for the control loop

NOTE 1 A first-order system reaches 86,5 % of its final step response value in two time constants; the approximate time constant is considered to be one-half of the step response time, t_{86} .

NOTE 2 The use of the approximate time constant in no way implies that the response of the control valve is first-order. The step response of the control valve is typically complex, having dead time initially, followed by potentially complex dynamics before the steady state is achieved. t_{86} includes the dead time in the initial part of the response, as well as the possibility of slower settling in the last portion of the response. Some valve positioner designs attempt to achieve a slow-down in the final part of the response in order to limit overshoot. τ' attempts to produce a simple linear time constant approximation of the control-valve dynamic response, which can be compared to the closed-loop time constant of the control loop on the same basis in time-constant units. It should be noted that as the portion of t_{86} that is dead time increases, this approximation becomes less ideal.

3.28**wait time** Δt_w

time spent after a step input change waiting for the response to come to the new steady-state value

3.29**X-Y plot**

plot of the output excursions plotted against input excursions. Input-output plots are useful for defining the steady-state characteristics of non-linearities

4 Symbols

Symbol	Description	Unit
C_R	Response flow coefficient (K_v or C_v)	Various (see IEC 60534-1)
Δs	Input step size	% of input range
Δs_{02}	Reference input step size of 2 %	% of input range
Δt_s	Sample interval	s
Δt_{sc}	Step change time	s
Δt_w	Wait time	s
ΔX	Change of closure member position	% rated travel
ΔZ	Process variable change	% of process output
ΔZ_{02}	Process variable change at 2 % input change	% of process output
f_0	Sampling rate	1/s
F_R	Friction force	N
G_R	Gain ratio	1
G_X	Valve travel gain	1
G_Z	Response gain	1
G_{z02}	Response gain at 2 % step input	1
n_{down}	Number of steps (falling signal) in a response time test sequence	1
n_{up}	Number of steps (rising signal) in a response time test sequence	1
h	Relative travel	%
τ	Time constant	s

Symbol	Description	Unit
T_R	Friction torque	Nm
t_{86}	Step response time	s
t_{86B}	Base response time	s
t_{861}	Step response time (increasing signal)	s
t_{862}	Step response time (decreasing signal)	s
t_d	Dead time	s

5 General test procedures

5.1 Test valve conditions

The test valve shall be set to its desired test configuration. This includes configuring the valve assembly with the desired packing type and condition, the positioner if applicable, and the actuator configuration. The positioner configuration shall include any applicable adjustments or parameters (at digital positioners). In some cases, preliminary tests may be performed such as testing to assure there is no excessive overshoot. (Excessive overshoot is not defined here and the amount allowed may vary according to the application but shall be reported.) All applicable characteristics of the valve configuration that would affect test results shall be reported (see 7.1)

5.2 Test system

Testing to determine the response of a control valve requires a signal generator or source and instruments to measure the input signal, the position of the closure member and, for laboratory testing or in-process testing, the desired response variable. The response variable could be derived from other variables that may need to be measured as well.

The tests can be performed manually with appropriate instrumentation but computers are recommended for all, or at least part, of the testing and analyses.

When measuring response time, data shall be collected fast enough to give good time resolution using the requirements for the sampling interval, Δt_s , given in equation (1). Measurement of static behaviour (dead band, gain, and resolution) generally does not depend on sample interval and can be performed using existing field instrumentation, with the sample interval reported.

For a control valve with a pneumatic input signal, the input signal shall be measured as close as possible to the device input port to avoid input distortion caused by the piping. The total time for the complete input signal step change, Δt_{sc} , shall meet the requirements given in equation (2).

The valve position should be measured as close as possible to the closure member or at least at a location that closely approximates the closure member position within the resolution limits given in 5.3. Care should be taken to avoid measurement errors due to excessive elastic deformation, clearances, linkages, etc. In all cases, the location of measurement points shall be reported.

5.3 Measuring instruments

The measurement of each output variable, which includes the combined effects of transducers, any signal conditioning equipment, and recording equipment shall meet the following minimum requirements.

$$\Delta t_s \leq \frac{t_{86}}{20} \text{ or } 0,5 \text{ s, whichever is less} \quad (1)$$

$$\Delta t_{sc} \leq \frac{t_{86}}{20} \quad (2)$$

$$\text{Time constant } \tau \leq \frac{t_{86}}{20}$$

Instrumentation used to measure the static parameters dead band, gain, and resolution need not meet these requirements but time constants, Δt_s and Δt_{sc} , shall be reported.

NOTE 1 Since t_{86} is dependent on the step size, measuring equipment with a shorter time constant, τ , may be required on smaller step sizes.

NOTE 2 For in-process tests, the flow-meter time constant should not be $\tau \leq \frac{t_{86}}{20}$, unless it is used to measure t_{86} .

If installed in-process instrumentation used to measure t_{86} does not meet these requirements, an external position transducer and recording equipment which meet the above requirements are recommended.

$$\text{Instrument resolution} \leq \left(\frac{\text{valve resolution}}{3} \right), \left[\text{preferably} \leq \left(\frac{\text{valve resolution}}{10} \right) \right]$$

Inaccuracy $\leq 5\%$ of full-scale value, preferably $\leq 2\%$ of full-scale value.

NOTE 3 The full-scale value is the range of the measured variable known or estimated as the control valve goes from 0 % to 100 % open.

5.4 Process variable

For laboratory and in-process dead-band and resolution testing, a process variable shall be measured, if possible, in addition to the input signal and the position. Reference [6] provides guidance for choosing the best process variable out of those that may be available at a specific plant or laboratory.

The response flow coefficient, C_R , shown below, is a simplified flow coefficient recommended for use as the process variable, if measurement of the variables necessary to calculate it is possible. It is used here because an accurate determination of C is outside the scope of this standard and may not be feasible in many plant and in some laboratory environments. Measurements of dead band and resolution using C_R would equal those using C since changes would be equal within the typical change of input signal. This assumes the flow through the control valve is fully turbulent and not choked. This response flow coefficient is calculated according to equations (3) or (4).

For incompressible flow

$$C_R = \frac{Q}{N_1} \sqrt{\frac{\rho_1/\rho_0}{\Delta p}} \quad (3)$$

where

Q is the liquid flow rate;

ρ_1/ρ_0 is the relative density ($\rho_1/\rho_0 = 1,0$ for water at 15 °C);

Δp is the pressure drop across the valve;

$N_1 = 1$, if C_R is expressed as K_v in m³/h, Q in m³/h and ΔP in bar;

$N_1 = 0,865$, if C_R is expressed as C_v in gpm, Q in m³/h and ΔP in bar;

Or, for compressible fluid flow,

$$C_R = \frac{W}{N_6 Y \sqrt{x p_1 \rho_1}} \quad (4)$$

where

W is the mass flow rate;

p_1 is the upstream absolute pressure in bar;

x is the pressure drop ratio $x = \frac{\Delta p}{p_1}$ where Δp is the pressure drop;

$Y = 1 - \frac{x}{3 F_\gamma X_T}$, where $F_\gamma X_T$ can be assumed to be 0,7;

$N_6 = 31,6$, if C_R is expressed as K_v in m^3/h , W in kg/h and ΔP in bar;

$N_6 = 27,3$, if C_R is expressed as C_v in gpm , Q in kg/h and ΔP in bar

NOTE If the flow through the control valve is not fully turbulent, or choked, such as may occur during "in-process testing", the actual C could be calculated using the normal flow equations for control valve sizing (IEC 60534-2-1).

To calculate the percentage change of the process variable when using the response-flow coefficient, defined by equations (3) or (4), the maximum value of C_R (at 100 % valve opening) shall be measured, estimated, or determined from manufacturer-supplied data. The value of C_R at 100 % valve opening used shall be stated in the test results.

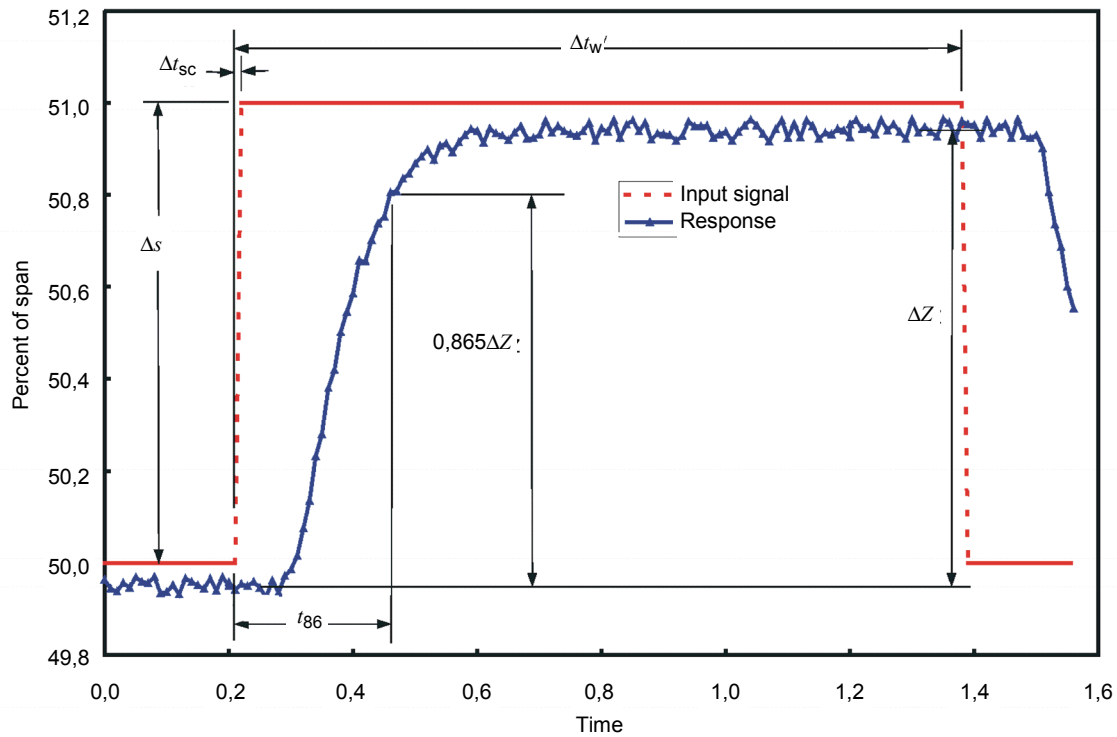
The measured process variable will often fluctuate significantly during the course of the testing because of normal fluctuations due to disturbances, etc., in the process itself or because of electrical noise in a plant environment or because of measurement noise. Curve fitting or averaging routines can therefore be applied to the data around key points such as the point where t_{86} occurs and where the total magnitude of the step change is measured. If the tests are performed manually, this may have to be done visually from a plot. In all cases, the raw data shall be plotted and if curve-fitting procedures are applied, the curve-fit data should be plotted along with the raw data. This could be used later or by others to verify calculations as required.

5.5 Nominal test position

The tests shall typically be performed at 50 % valve opening and at other positions that may be specified in lieu of, or in addition to, this position. Testing at additional, or other, positions may be desirable for valve types known to have anomalies at openings other than 50 %. In-process testing may require testing only at the current operating position plus and minus allowed step sizes. All nominal positions at which tests are performed shall be recorded.

6 Examples of step response

Figure 2 and Figure 3 show examples of responses due to input step changes. The response shown in Figure 2 has no overshoot while the one in Figure 3 does. In these figures, there is some measurement noise superimposed on the signal. The input signal is shown along with the response which could be the valve position or a process variable.



IEC 1631/07

Figure 2 – Typical step change and response without overshoot

When the valve input signal suddenly changes, the valve begins to respond (if the input signal change is large enough) after some delay or dead time, t_d . The response then begins moving toward its final value like that shown, often exponentially. The signal is held constant after the step for a specified amount of time, Δt_w , to allow the response to reach its final new steady-state value. The response time, t_{86} , is defined as the time it takes for the response to reach 86,5 % of its final value from the initiation of the step.

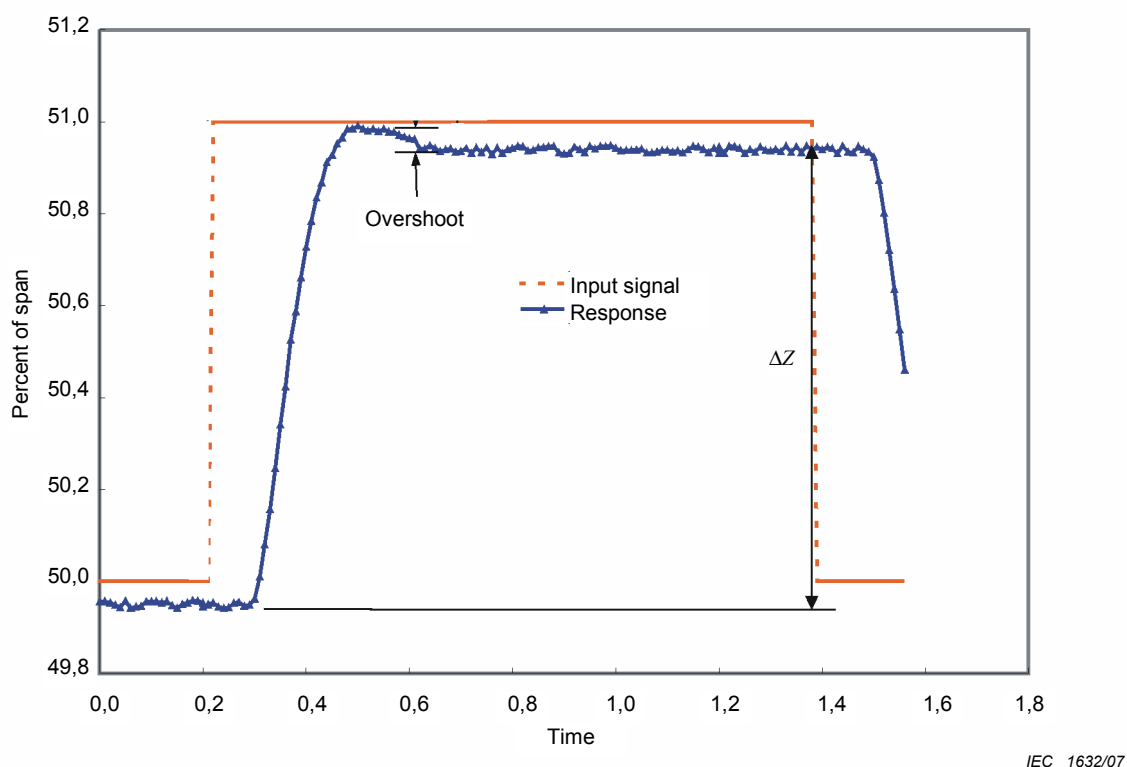


Figure 3 – Step response with some overshoot

7 Tests specified for each of three test environments

Detailed test procedures required for each of the three test environments are listed in the following subclauses along with special recommendations and precautions.

7.1 Bench tests

Bench tests are usually the simplest to perform and often provide much useful information. The results, however, can be significantly different from results from laboratory or in-process tests because there is no flow [6]. The following requirements shall apply.

a) Valve configuration

Complete valve with packing configuration that would be specified for intended service. The valve may or may not be pressurized, but packing should be tightened as it normally would be for typical, or specially defined, conditions. The procedure used for tightening the packing shall follow the manufacturer's instructions meeting the requirements given in IEC 60534-4 and shall be documented. The positioner configuration (if applicable) shall include all relevant adjustments or parameters.

The nominal valve position shall be set at 50 % unless otherwise specified.

Actuator assemblies can also be tested separately (not attached to the valve body assembly) when permitted by the user and preconditioned to all applicable points. Actuator assemblies shall also be installed in a test fixture that includes a normal control valve packing box unless the manufacturer and the user agree to alternative procedures. The packing shall be tightened according to the manufacturer's specifications. The test report shall clearly identify the actuator tested, the test fixture used, the stem friction measured or estimated as available, the procedure used to tighten the packing, and the operating temperatures and pressures.

If a valve is tested in a condition other than that described above, that condition shall be described.

b) Special considerations

Tapping or vibrating the valve under test is not allowed unless required and specified in the test report.

With the valve under test pressure (if applicable), the cycle valve shall be opened then closed 10 times. Then the total friction shall be measured (see Annex A).

c) Measured variables

Input signal and relative travel.

d) Applicable test procedures

Baseline test (see 8.1), small-step tests (see 8.2), and response-time tests (see 8.3)

7.2 Laboratory tests

Laboratory tests are performed in a laboratory with flow. The flow shall be fully turbulent and not choked unless otherwise specified and noted. These tests represent in-process tests more closely than bench tests. The following requirements shall apply.

a) Valve configuration

Complete valve mounted in flow line with packing tightened as it normally would be for typical conditions unless specified otherwise.

The nominal valve position shall be set at 50 % unless otherwise specified.

With the valve running under flow with test fluid, the cycle valve shall be opened then closed 10 times while measuring pressure drops and flows. Then total friction shall be measured (see Annex A).

b) Special considerations

No tapping or extra vibration is permitted. However, there will be some vibration with the flow, which may be measured, especially if it appears to influence the test results.

c) Measured variables

Input signal, relative travel and process variable

d) Applicable procedures

Baseline test (see 8.1), small-step test (see 8.2), and response-time test (see 8.3).

7.3 In-process tests

In-process tests give valve response in actual, or close-to-actual, process conditions. The range of test conditions may be more limited than that possible in laboratory testing, however. It may also be more difficult to get good measurements. Valve input and measurements of some process variables can sometimes be taken direct from existing plant instrumentation if it

has the required time constant, sampling rate, resolution, and accuracy. The following requirements shall apply.

a) Valve configuration

Complete valve running at designated process conditions. Total friction shall be measured or estimated, giving the method of estimation. Tests shall be performed at the required positions and conditions. Sometimes, only operation close to the existing operating conditions may be permitted.

b) Special considerations

Limitations in plant operation procedures or safety requirements may not allow the complete test as defined here.

c) Measured variables

Input signal, relative travel, and process.

d) Applicable procedures

Baseline test (see 8.1), small-step test (see 8.2), and response-time test (see 8.3).

8 Detailed test procedures

8.1 Baseline test

The baseline test is normally conducted first but is an optional test. It is used to evaluate measurement noise, the presence of limit cycling of the valve or other similar behaviour, and to determine the baseline response time, t_{86b} . Figure 4 shows the input signal and an example of the position and the response during the test. The following steps are included in this test.

- Set the control signal to the desired base value and allow the valve to come to its steady-state condition. When performing in-process tests, the control signal will normally already be at the desired setting and the controller will be put on manual.
- Monitor variables for 3 min using a sample interval, Δt_s , no longer than $0,5 \text{ s}$ or $\frac{t_{86}}{4}$, whichever is shorter.
- Step input up 2 % and continue monitoring variables for another 1 min or longer.
- Repeat stepping in 2 % increments up until there is movement, then step one more time to get the full response.
- Step input down by 2 % and continue monitoring variables for 1 min.
- Repeat stepping down 2 % increments until the valve position returns to approximately its starting position.
- Evaluate the data for evidence of limit cycling. If there is any, estimate the peak-to-peak magnitude and period of the limit cycling.
- For the last 1 min segment in the up direction, determine the response time, t_{861} . If there is overshoot, measure its magnitude and the elapsed time from the step initiation until reaching the final position.
- For the last 1 min segment, after stepping down, determine the response time, t_{862} . If there is overshoot, measure its magnitude and the elapsed time from the step initiation until reaching the final position.

- Determine the base response time t_{86b} as the greater of t_{861} or t_{862} (see Figure 4).

If there was any overshoot, determine the overshoot and the overshoot time from the largest overshoot for the increasing or decreasing input signal steps.

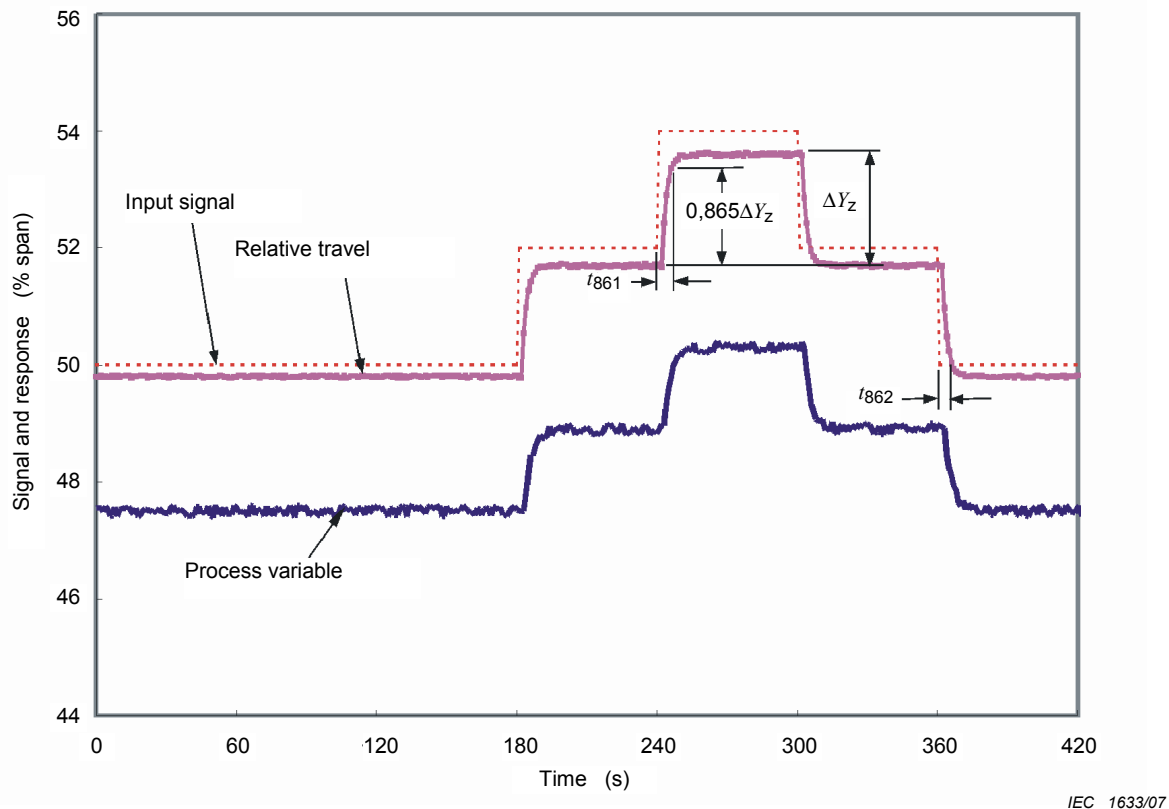


Figure 4 – Example step and response during baseline test

8.2 Small-step test

The small-step test is performed to determine dead band and resolution. This test may be omitted by agreement if the response-time test provides the required information to the required accuracy. Figure 5 shows the signal versus time for a typical small-step test. It begins after setting the input signal to the nominal value and waiting at least 3 min if the optional baseline test was not run or 30 s if the baseline test was run (the small-step test may begin right after the optional baseline test).

From this point, step up Δs and then wait a specified time, Δt_w . Monitor input signal, position, and (for laboratory and in-process testing) process variable (or variables necessary to determine response flow coefficient, C_R) with a sampling interval of Δt_s . Continue this process for n steps. At this point, wait another two time periods, $2\Delta t_w$, then decrease the signal n number of steps, and wait Δt_w after each step. Wait another $2\Delta t_w$ again, and repeat the same series of steps up and down.

The parameters Δs , Δt_w , Δt_s , and Δt_{sc} shall meet the following criteria.

$$\Delta s \leq \frac{1}{2} \text{ (smaller of resolution or dead band)}$$

NOTE Since approximate resolution and dead band may not be known beforehand, one can use $\Delta s = 0,1$ % full scale and then verify afterwards that the specified conditions have been met. It is possible that dead band and resolution are smaller than the limit-cycle peak-to-peak magnitude. If that is the case, the true dead band and resolution cannot be measured but their values can be stated to be no greater than the limit-cycle peak-to-peak magnitude.

$$n \geq \text{greater of 4 or the quantity } \left\lceil \frac{1,2(\text{dead band} + \text{resolution})}{\Delta_s} \right\rceil$$

This requirement should assure that there be at least one step in addition to the step causing initial movement.

$$\Delta t_s \leq \text{lesser of } \left(\frac{t_{86b}}{20} \text{ or } 0,5 \text{ s} \right)$$

NOTE If t_{86b} is not available because the optional baseline test was not run, an approximate t_{86} may have to be determined using $\Delta t_s = 0,5$ or a lower value during this test and then adjusting Δt_s accordingly, using $2t_{86}$ in place of t_{86b} .

$\Delta t_w \geq 4$ (process measurement time constant) or ≥ 30 s if the process measurement time constant is not known

$$\Delta t_{sc} \leq \frac{t_{86b}}{20}$$

See above note if the baseline test was not performed.

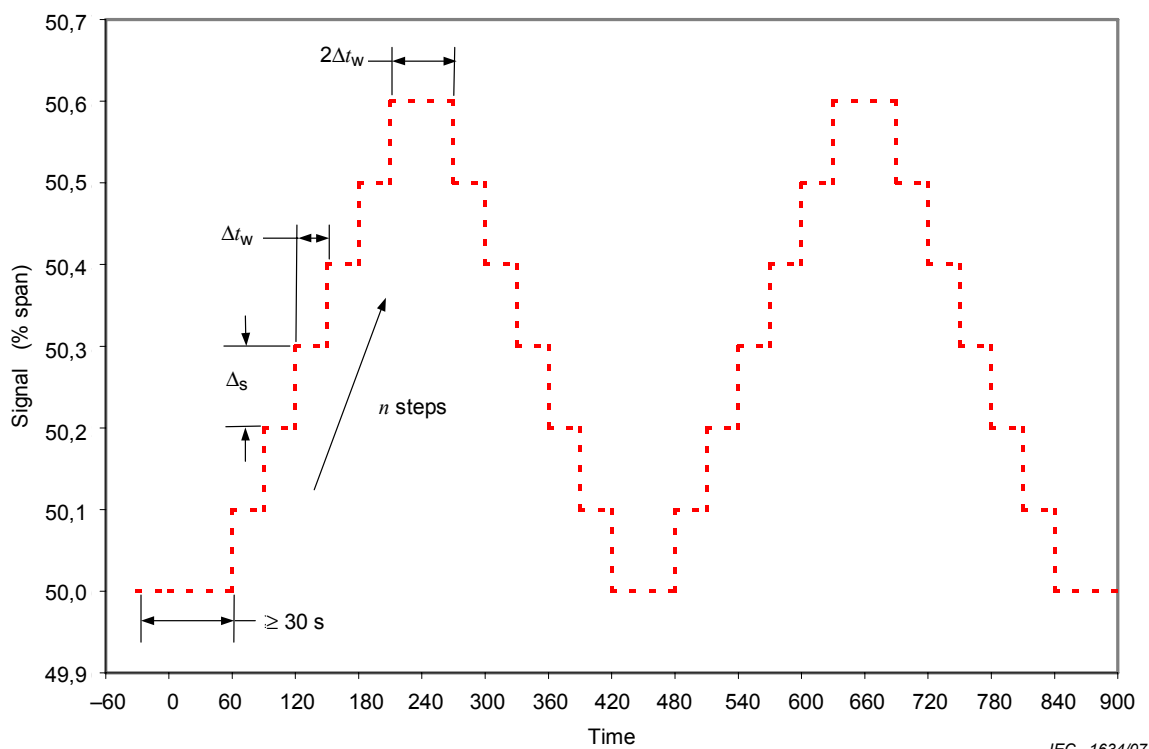
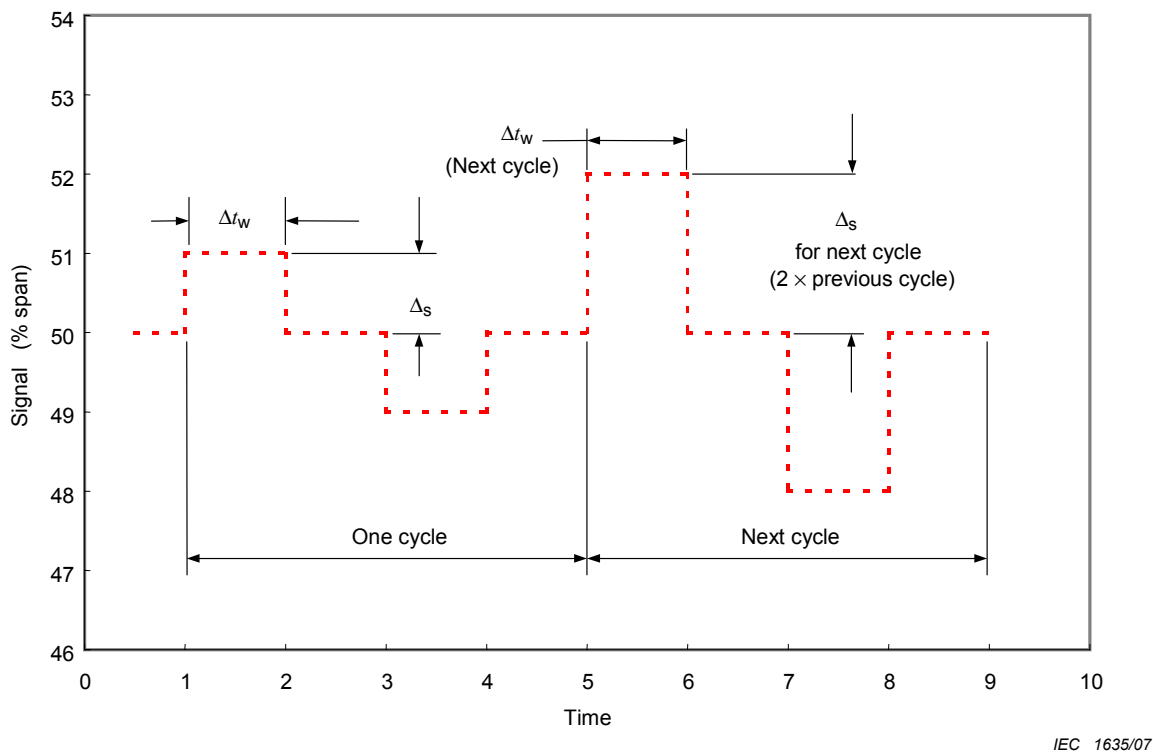


Figure 5 – Signal sequence for small-step test

8.3 Response-time test

The response-time test consists of a series of steps designed to determine the response time, t_{86} , versus step size, Δ_s , at each of an increasing sequence of step sizes. Response-time tests can also provide approximate values for dead band and resolution. If less precise values for dead band and resolution are acceptable, response-time tests may be used in place of small-step tests. The wait time at the nominal input signal at the beginning can also be increased to 2 min to determine limit cycling rather than performing the optional baseline test.



NOTE The normal nominal position of 50 % is shown but may have other values as required.

Figure 6 – Sample signal step sequence for response time tests

For each step size, a step (or series of steps) up, two (or series of steps) steps down, and then a step (or series of steps) up, each single step followed by a wait time Δt_w , shall be taken. The number of steps down, n_{down} , is two times the number of steps up n_{up} ; so the signal returns the nominal value after the second set of steps up.

The input signal and relative travel are recorded during each step.

Figure 6 shows a case where the number of steps up, n_{up} , equals one, the number of steps down, n_{down} , equals two, and the number of steps back up, n_{up} , equals one.

The step size for the first response test shall be set equal to the smallest step size equal to, or just greater than, the resolution (or dead band if it is smaller) from the step-size sequence listed below.

If the small-step test was not run and the step-response test is used to determine the approximate dead band and resolution, the step size for the first response test shall be 0,1 % (unless dead-band and resolution magnitudes or requirements are known to be higher).

Step size sequence: $\Delta s = 0,1 \%$; $0,2 \%$; $0,5 \%$; $1,0 \%$; $2,0 \%$; $5,0 \%$ and $10,0 \%$ of input signal span.

Then continue with the next larger step size until a response-time test has been performed with the step size set to each succeeding step size in the above sequence (unless limited by operation conditions). Larger step sizes such as 20 % and 50 % may be used if desired and if operation conditions allow for this.

For example, if the resolution is found to be 0,3 % and is smaller than the dead band, response-time tests shall be performed with Δs set to 0,5 %, 1 %, 2 %, 5 %, and 10 % of the

input signal span. (The maximum step size may have to be limited in laboratory and in-process testing in order not to disturb the process or to avoid water hammer, etc.)

The minimum number of steps up, n_{up} , required for each step size is set below so the total input signal change (the number of steps times the step size) in one direction exceeds the quantity 1,2 (dead band + resolution).

$$n_{up} \geq \left\lceil \frac{1,2(\text{dead band} + \text{resolution})}{\Delta s} \right\rceil$$

This should assure that the signal changes enough to overcome dead band and to move at least one more time in the same direction. Very small step sizes may therefore require more steps.

$$n_{down} = 2n_{up}$$

$$\Delta t_w \geq 5 \times t_{86}$$

Since t_{86} is not known for the particular step size in advance, the minimum allowed Δt_w for the previous, smaller, step can normally be used to meet this requirement.

$$\Delta t_s \leq \frac{t_{86}}{20}$$

$$\Delta t_{sc} \leq \frac{t_{86b}}{20}$$

Values of t_{86} are then determined for each step size from the position data and can be tabulated or presented in a plot. The requirements are listed below.

Data from each response-time test is used to determine the gain G_z by taking the response, ΔZ from a step near the end of a series of steps in the same direction where there appears to be a full response, and dividing by Δs . The gain found from the 2 % response-step test, G_{z02} , is used as a reference gain to determine the gain ratio $G_R = \frac{G_z}{G_{z02}}$.

Δs – for the first response time test, Δs shall be set equal to the smallest step size equal to, or just greater than, the dead band from the step-size sequence.

9 Presentation of test results

9.1 General information

The following general information about the test piece is required in the presentation of test results. Any other conditions affecting the test results (such as deviations from recommended conditions) shall be reported.

- Description of the tested valve, actuator, and positioner, including name of manufacturer, model, serial number, single- or double-acting, and air action.
- Description of the test equipment used, including time constants of transducers and signal conditioning instruments used to measure each variable, names of persons testing and reducing data, and date of test.

- Valve calibration results: signal range, range of valve position, and packing system (for example, tightened to the normal operating state, as defined by the manufacturer), positioner gain and cam characteristic (or positioner parameters) as applicable.
- For laboratory and in-process tests, the process variable including the location of measurement devices and the range used to calculate the percentage of span shall be identified. The description of the process variable should also include an estimate of the response time between the valve movement and the measured change in the response variable.

Where possible, the friction load shall be measured (Annex A) and reported. On the valve assembly, the point where the position measurement is taken relative to the closure member shall be identified. The settings of any other adjustable parameters that could affect the rest of the results shall be recorded.

9.2 Test results

Test results shall be presented in tabular and graphical formats that identify the minimum requirements indicated below as applicable. Figure 7 and Figure 8 are example plots showing results from small-step tests and step-response tests.

9.2.1 Baseline test

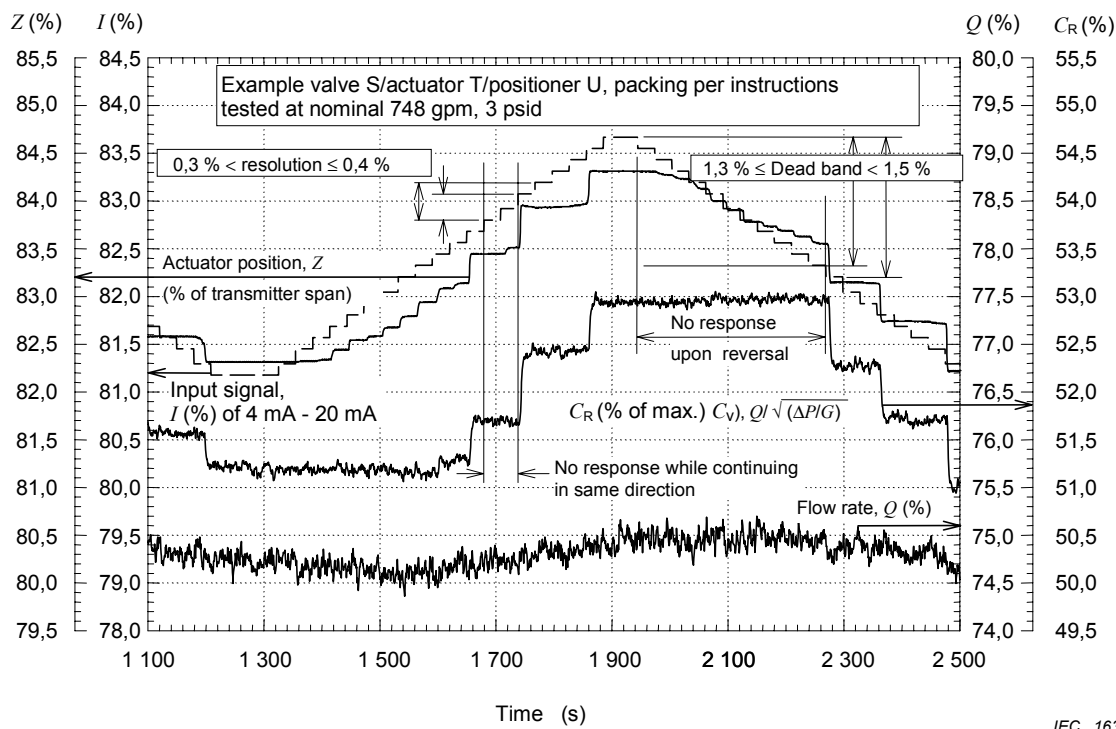
- Relative travel, h
- Test parameters Δt_s and Δt_{sc}
- Test results t_{86} , limit cycling peak-to-peak magnitude and period (if any), and overshoot magnitude, and settling time

9.2.2 Small-step test

- Relative travel, h
- Test parameters Δt_s , Δt_{sc} , Δt_w , Δs , and n
- Test results dead band and resolution
- Limit cycling peak-to-peak magnitude and period (if any) if baseline test not performed

9.2.3 Response-time tests

- Relative travel, h
- Test parameters Δt_s , Δt_{sc} , Δt_w , n_{up} , n_{down} and Δs for each step size used
- Test results – for each step: t_{86} , overshoot magnitude, and time, and gain ratio $\frac{G_z}{G_{z02}}$
- Limit cycling peak-to-peak magnitude and period (if any) if baseline test is not performed
- Range of dead band and resolution if small-step tests is not performed
- Results of additional tests or additional data or characteristics may be included at the manufacturer's option or user's request.



NOTE The calculated values of dead band and resolution shown are based on the response coefficient C_R calculated from Q (which was not a true representation of the valve response) and the valve pressure drop (ΔP). It should be noted that the measured relative travel, h , would not be a true representation of valve response in this case, possibly because of lost motion between the position measurement point and the closure member.

Figure 7 – Sample data from small-step test ($\Delta s = 0,13\%$) performed in a process loop

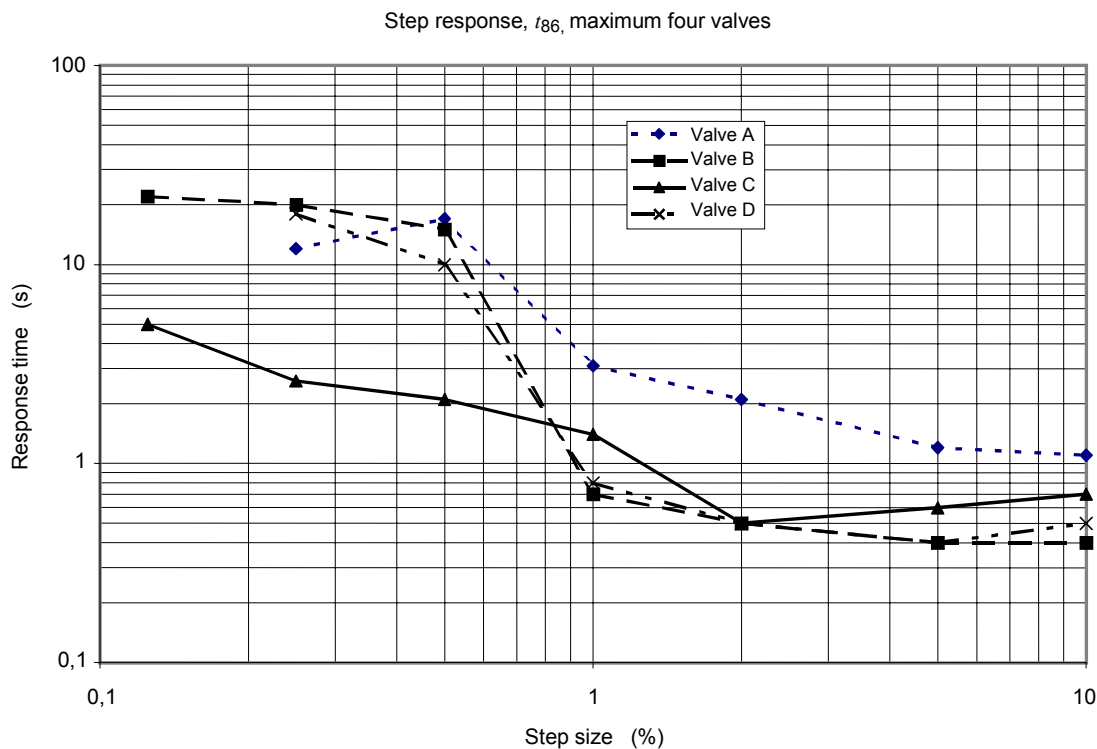


Figure 8 – Sample plot showing step response, t_{86} , versus step size for four different valves

Annex A (informative)

Sliding friction measurement

The procedure below can be used to measure sliding friction in a control valve system with a pneumatic actuator. Before performing the test, packing should be tightened using manufacturer-recommended procedures and the valve should be cycled the specified number of cycles. This method assumes that the friction and spring forces (or torques) at any particular position are the same whether stroking open or stroking closed.

The increase/decrease rate used in this test shall be

$$\frac{dh}{dt} = \frac{86}{20 \cdot t_{86(100\%)}} , \text{ where } \frac{dh}{dt} \text{ is the increase/decrease rate in \% of full stroke/s}$$

and $t_{86(100\%)}$ is the step response time at $\Delta s = 100\%$.

- a) The input signal shall be continuously increased (or decreased) at a rate as defined above until the desired stroke is reached, while measuring the position and the pressures on the top and bottom of the piston or diaphragm as the actuator moves. Ordinarily, the control valve will be stroked from fully open to fully closed (or fully closed to fully open) in this step.
- b) The valve shall be stroked in the opposite direction by decreasing (or increasing) the input signal at the same rate as above until the desired stroke is reached, while, again, measuring the same variables measured in a).
- c) The friction force shall be calculated at any specified position for a linear valve using the formula

$$F_f = \frac{(p_b A_b - p_t A_t)_{incr} - (p_b A_b - p_t A_t)_{decr}}{2} \quad (A.1)$$

where

- | | |
|-----------|--|
| F_t | is the friction force; |
| A_b | is the effective area on the bottom of the piston or diaphragm; |
| A_t | is the effective area on the top of the piston or diaphragm; |
| P_b | is the measured pressure on the bottom of the piston or diaphragm at a specified position; |
| P_t | is the measured pressure on the top of the piston or diaphragm at a specified position; |
| incr, dec | are the subscripts meaning increasing and decreasing signal, respectively, or, for a rotary valve, use the formula |

$$T_f = \frac{L[(p_b A_b - p_t A_t)_{incr} - (p_b A_b - p_t A_t)_{decr}]}{2} \quad (A.2)$$

where

- | | |
|-------|---|
| L | is the effective moment arm at the particular position; |
| T_f | is the torque due to friction, |

and other variables are the same as defined above. (It should be noted that pressures can be absolute or gauge but should be consistent. It should also be noted that for single-acting actuators or if A_b equals A_t , equations (A.1) and (A.2) can be simplified significantly). No more than two significant figures on friction should be reported.

Bibliography

- [1] Control Valve Dynamic Specification, Version 2.1, 3/94, published by EnTech Control Engineering Inc., Toronto
 - [2] Gibson, J. E. "Nonlinear Automatic Control" McGraw-Hill 1963, p.14
 - [3] Van De Vegte, J., "Feedback Control Systems", 2nd ed, Prentice Hall, 1990, p.14
 - [4] McGraw-Hill "Dictionary of Scientific and Technical Terms", fifth edition, 1994
 - [5] ISA-51.1-1979 (R1993), Process Instrumentation Terminology
 - [6] ANSI/ISA-TR75.25.02-2000, Control Valve Response Measurement from Step Inputs
 - [7] ANSI/ISA-TR75.25.01-2000, Test Procedure for Control Valve Response Measurement from Step Inputs
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	29
1 Domaine d'application et objet	31
2 Références normatives	31
3 Termes et définitions	32
4 Symboles	36
5 Procédures générales d'essai	37
5.1 Conditions d'essai de la vanne	37
5.2 Système d'essai	37
5.3 Instruments de mesure	38
5.4 Variable de processus	38
5.5 Positions nominales d'essai	40
6 Exemples de réponse échelonnée	40
7 Essais spécifiés pour chacun des trois environnements d'essai	41
7.1 Essai sur banc	41
7.2 Essais de laboratoire	42
7.3 Essai en processus	43
8 Procédures d'essai détaillées	43
8.1 Essai de base	43
8.2 Essai de petits échelons	44
8.3 Essais de temps de réponse	46
9 Présentation des résultats d'essai	49
9.1 Informations générales	49
9.2 Résultats d'essai	49
9.2.1 Essai de base	49
9.2.2 Essai de petits échelons	49
9.2.3 Essais de temps de réponse	49
Annexe A (informative) Mesure du frottement de glissement	52
Bibliographie	54
Figure 1 – Bande morte et résolution	32
Figure 2 – Variation échelonnée et réponse sans dépassement typiques	40
Figure 3 – Réponse échelonnée avec un dépassement	41
Figure 4 – Exemple d'échelon et de réponse pendant l'essai de base	44
Figure 5 – Séquence de signal pour l'essai de petits échelons	46
Figure 6 – Séquence d'échelons de signal échantillonné pour les essais de temps de réponse	47
Figure 7 – Donnée échantillonnée d'un essai de petits échelons ($\Delta_s = 0,13 \%$) réalisé dans une boucle de processus	50
Figure 8 – Exemple de tracé de la réponse en échelon, t_{86} , en fonction de la dimension d'échelon pour quatre vannes différentes	51

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

VANNES DE REGULATION DES PROCESSUS INDUSTRIELS –

Partie 9: Procédure d'essai pour la mesure de la réponse des vannes de régulation à des signaux d'entrée échelonnés

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60534-9 a été établie par le sous-comité 65b: Dispositifs, du comité d'études 65 de la CEI: Mesure et commande dans les processus industriels.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
65B/632/FDIS	65B/639/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La liste de toutes les parties de la série CEI 50534, sous le titre général *Vannes de régulation des processus industriels*, peut être consulté sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

VANNES DE REGULATION DES PROCESSUS INDUSTRIELS –

Partie 9: Procédure d'essai pour la mesure de la réponse des vannes de régulation à des signaux d'entrée échelonnés

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 60534-9 définit les essais et les rapports d'essai relatifs à la réponse à un échelon des vannes de régulation utilisées dans les applications de commande en boucle de régulation fermée. Une vanne de régulation consiste en un assemblage complet, prêt à l'emploi, d'un corps de vanne de régulation, d'un actionneur et de tout autre accessoire requis. L'accessoire le plus fréquent est un positionneur de vanne.

NOTE Pour plus de détails, se référer au rapport technique référence ANSI/ISA-TR75.25.02 [6]¹.

L'objet de la présente norme est de définir comment réaliser les essais, les mesures et le rapport relatifs aux caractéristiques de la réponse des vannes de régulation dans un environnement en boucle ouverte. Cette information peut être utilisée pour des applications de commande de processus afin de déterminer comment et avec quelle rapidité la vanne de régulation répond au signal d'entrée de commande de la vanne.

La présente norme ne définit pas les performances acceptables des vannes de régulation pour la commande de processus et elle ne définit aucune restriction applicable aux vannes de régulation pour une quelconque application. Si cette norme est utilisée pour une évaluation ou un essai de recette, les parties peuvent s'accorder sur des modifications documentées de ces exigences.

Les informations utilisant des méthodes d'essai définies sont particulièrement applicables aux commandes en boucle fermée de rétroaction, mais elles peuvent avoir aussi des applications pour les commandes en boucle ouverte. Elles ne s'adressent pas aux vannes utilisées dans les commandes « tout ou rien ».

Les essais spécifiés dans cette norme peuvent ne pas être suffisants pour mesurer la performance requise pour toutes les applications. Toutes les applications des vannes de régulations n'exigent pas ces essais.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60534-1, *Vannes de régulation des processus industriels – Partie 1: Terminologie des vannes de régulation et considérations générales*

CEI 60534-4, *Vannes de régulation des processus industriels – Partie 4: Inspection et essais individuels*

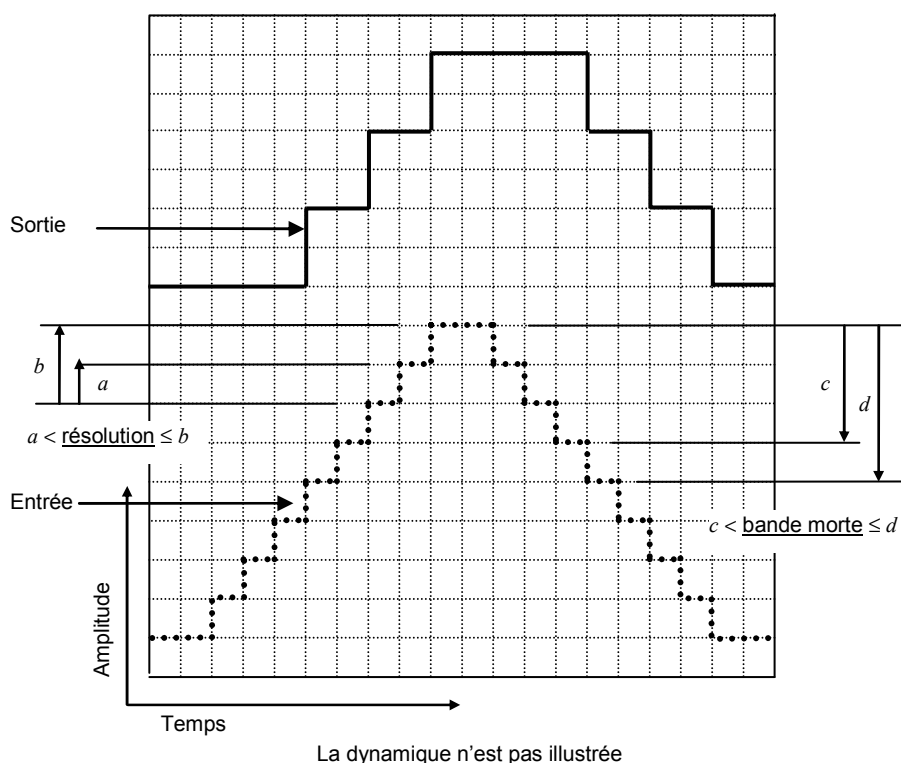
¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente norme, les termes et définitions suivants, ainsi que ceux donnés dans la CEI 60534-1 et les autres normes de la série 60534, s'appliquent.

NOTE 1 Dans le domaine spécifique des dynamiques nonlinéaires, il a été déterminé que certains termes définis dans la CEI 60050-351 ou dans [5] n'avaient pas la précision souhaitable pour ces documents. D'autres termes n'étaient pas cohérents avec la terminologie utilisée dans la littérature relative à la commande nonlinéaire.

NOTE 2 La référence [6] explique les termes applicables et explore les caractéristiques statiques et dynamiques des vannes de régulation qui sont importantes pour la commande de processus. Ces informations aideront à une interprétation et une application correctes des résultats obtenus par les essais définis dans la présente norme.



IEC 1630/07

Figure 1 – Bande morte et résolution

3.1

constante de temps d'une boucle fermée

constante de temps de la réponse en boucle fermée d'une boucle de commande, utilisée dans des méthodes de réglage telles que Internal Model Control (IMC) et réglage Lambda. Elle constitue une mesure de la performance d'une boucle de commande

3.2

bande morte

échelle finie de valeurs à l'intérieur de laquelle une inversion du sens de variation de la variable d'entrée ne génère pas de changement détectable de la variable de sortie

[CEI 60534-4, 3.2]

3.3

temps mort

durée de l'intervalle de temps compris entre l'instant où l'on provoque une variation d'une variable d'entrée et l'instant où débute la variation résultant de la variable de sortie

3.4**réponse dynamique**

variation du signal de sortie en fonction du temps, résultant d'une variation définie du signal d'entrée, lui-même fonction du temps

NOTE Les variations du signal d'entrée les plus usuelles sont l'impulsion, l'onde pulsée, l'échelon, la rampe et l'onde sinusoïdale [4]. « Dynamique » signifie que la vanne de régulation est en mouvement. La réponse dynamique peut être mesurée sans charge de processus lors d'essais sur banc, avec des charges (débits) simulées ou actives dans un laboratoire ou dans des conditions opératoires normales de processus.

3.5**rapport de gain**
 G_R

gain en réponse G_Z divisé par le gain en réponse G_{Z02} déterminé à partir de l'essai en échelons multiples effectué avec une dimension d'échelon de 2 %. Le gain idéal est égal à 1,0 pour les essais autour de toute position nominale

$$G_R = G_Z / G_{Z02}$$

NOTE Mesurer le rapport de gain peut se révéler impossible si un positionneur numérique avec une sortie à impulsion modulée est impliquée dans le système, parce que pour de tels positionneurs la mesure du gain peut donner des valeurs infinies.

3.6**dimension d'échelon**
 Δs

différence entre le début et la fin d'un signal d'une variation en échelon, exprimée en pourcentage de l'étendue du signal

3.7**cycle limité**

oscillation provoquée par le comportement nonlinéaire d'un système à rétroaction

NOTE 1 Ces oscillations ont une amplitude et une fréquence fixes et peuvent être entretenues dans une boucle de rétroaction même si la variation de l'entrée du système est nulle. Dans les systèmes linéaires, une oscillation instable croît, en théorie, jusqu'à une amplitude infinie, mais les effets nonlinéaires limitent cette croissance [3].

NOTE 2 L'apparition d'un cycle limité peut dépendre de la position actuelle de la vanne.

3.8**système nonlinéaire**

système dont la réponse dépend de l'amplitude et de la nature du signal d'entrée, aussi bien que des conditions initiales du système. Par exemple, un système nonlinéaire peut passer d'un état stable à un état instable du fait de la variation de la dimension du signal d'entrée

NOTE Quand un système nonlinéaire est amené à un point de réglage par une commande de rétroaction, il est probable qu'il développe un cycle limité. L'amplitude et la fréquence de tels cycles limités sont fonctions de la nature des non-linéarités qui sont présentes et du gain effectif de la commande de rétroaction. Tant que le gain de la rétroaction augmente, il est probable que la fréquence du cycle limité augmente aussi. Des augmentations de gain plus fortes peuvent conduire à des comportements tels que des bifurcations, des doublements de fréquence et éventuellement un comportement chaotique.

3.9**dépassement**

pour une réponse à un échelon, l'écart transitoire maximal au-delà de la valeur établie de la variable de sortie de l'état final, exprimée en pourcentage de la différence entre les valeurs initiale et finale de régime établi

3.10**course relative**
 h

rapport entre la course à une ouverture donnée et la course nominale

[CEI 60534-1, 4.5.4]

3.11

résolution

plus petit incrément d'échelon du signal d'entrée dans une direction pour lequel un mouvement de la sortie est observé exprimée en pourcentage de la plage d'entrée

NOTE Dans cette norme, l'expression « résolution de la vanne » signifie la tendance d'une vanne de régulation à se déplacer en pas finis correspondant à des variations en échelons du signal d'entrée appliqué dans la même direction. Ceci apparaît quand la vanne de régulation colle sur place, en ayant un temps d'arrêt après le pas précédent.

3.12

réponse à un échelon

évolution en fonction du temps d'une variable après une variation en échelon de l'entrée. Dans cette norme, la réponse à un échelon peut être la position du corps de la vanne, la course, le débit ou une autre variable du processus

3.13

coefficient de débit en réponse

C_R

coefficient de débit apparent déterminé par essai dans un environnement type de fonctionnement. Les données disponibles dans un environnement fonctionnel peuvent être différentes des données de laboratoire requises par les normes de dimensionnement des vannes

NOTE 1 Les coefficients de débit actuellement utilisés sont K_V et C_V en fonction du système d'unité. Pour plus d'information, se référer à la CEI 60534-1.

NOTE 2 Il faut noter que les dimensions et unités pour chacun des coefficients de débit définis ci-après sont différentes. Cependant, il est possible de les relier numériquement. Cette relation est ainsi qu'il suit:

$$\frac{K_V}{C_V} = 0,865$$

3.14

gain en réponse

G_Z

rapport entre l'amplitude en régime établi d'une variation d'un paramètre de processus ΔZ et l'échelon de signal Δs qui provoque la variation. Un gain en réponse particulier, de référence, est défini par calcul à partir de l'essai de temps de réponse à un échelon de 2 % qui est désigné par G_{Z02}

$$G_Z = \Delta Z / \Delta s$$

$$G_{Z02} = \Delta Z_{02} / \Delta s_{02}$$

3.15

intervalle d'échantillonnage

Δt_s

incrément de temps entre les points de données échantillonnées. C'est l'inverse de la fréquence d'échantillonnage, f_0

$$\Delta t_s = 1/f_0$$

NOTE Comme utilisé dans cette norme et du fait que plus d'une variable est échantillonnée, c'est le temps entre les ensembles de données échantillonnées. Idéalement, toutes les variables d'un même ensemble sont échantillonnées en même temps. Si les données sont enregistrées avec un équipement analogique, la constante de temps de l'enregistreur doit être inférieure ou égale au maximum autorisé Δt_s .

3.16**fréquence d'échantillonnage** f_0

fréquence à laquelle les échantillons de données sont pris ou le nombre d'échantillons par unité de temps (voir 3.15)

3.17**frottement de déplacement** F_R or T_R

force ou couple requis pour maintenir le mouvement dans toute direction à la vitesse prescrite de la variation du signal d'entrée

3.18**statique**

signifie sans mouvement ou variation [4]; les lectures sont enregistrées une fois que le dispositif est retourné au repos. La performance statique peut être mesurée soit sans charge de processus (essais sur banc), soit avec des charges simulées ou actives soit dans des conditions de fonctionnement en processus

NOTE Cette sorte d'essai est parfois appelée essai dynamique [4], ce qui peut conduire à des confusions. Les caractéristiques de comportement statique identifiées comme étant importantes sont la bande morte, la résolution et le gain de course de la vanne.

3.19**régime établi**

état d'un système qui est conservé après que tous les effets transitoires se sont dissipés aussi longtemps que les variables d'entrée demeurent constantes

3.20**variation en échelon**

variation quasi instantanée produite sur un signal d'entrée d'un système dynamique avec l'intention de stimuler une réponse à un échelon du système dynamique. Un tel essai est utilisé pour caractériser la réponse à un échelon du système dynamique

3.21**temps de variation d'un échelon** Δt_{sc}

temps écoulé entre le début de l'échelon du signal d'entrée et l'instant où il atteint sa valeur maximale

3.22**essai en échelons**

l'application d'une variation en échelons à un signal d'entrée pour tester la dynamique de la réponse en échelon

3.23**temps de réponse en échelons** t_{86}

laps de temps entre l'établissement d'une variation en échelons d'une variable d'entrée et l'instant auquel la variable de sortie atteint 86,5 % de sa valeur maximale de régime établi. Le temps de réponse en échelon inclut le temps mort avant la réponse dynamique

3.24**frottement statique**

résistance au début du mouvement, habituellement mesurée comme étant la différence entre les valeurs de commande requises pour vaincre les forces de frottement statiques dans le sens croissant et dans le sens décroissant [5]

3.25

constante de temps

τ

temps requis pour atteindre 63,2 % (i.e. $1-1/e$) de la variation totale de la sortie d'un système linéaire de premier ordre, produite par une variation en échelons de la variable d'entrée

NOTE L'expression est utilisée dans cette norme pour décrire les caractéristiques dynamiques des instruments de mesure analogiques.

3.26

gain de course d'une vanne

rapport de la variation dans la position de l'élément de fermeture à la variation du signal d'entrée, les deux étant exprimées en pourcentage de l'étendue totale

$$G_X = \Delta X / \Delta s$$

3.27

constante de temps approchée du système de vanne

τ''

constante de temps de la réponse de premier ordre sans temps mort, qui peut correspondre raisonnablement bien à la réponse réelle en échelon de la vanne de régulation. La constante de temps approchée est définie pour fournir une base de comparaison de la vanne de régulation avec d'autres constantes de temps, telles que des constantes de temps en boucle fermée, pour les boucles de commande

NOTE 1 Un système de premier ordre atteint 86,5 % de la valeur de sa réponse à un échelon en deux constantes de temps; la constante de temps approchée est considérée comme étant la moitié de la durée de la réponse à un échelon, t_{86} .

NOTE 2 L'utilisation de la constante de temps approchée n'implique en aucun cas que la réponse de la vanne de régulation est de premier ordre. La réponse de la vanne de régulation à un échelon est complexe, ayant un temps mort initial suivi par une dynamique potentiellement complexe avant que le régime établi soit atteint. t_{86} inclut le temps mort de la partie initiale de la réponse, ainsi que la possibilité de ralentissement dans la dernière partie de la réponse. Certaines conceptions de positionneurs tentent d'atteindre un ralentissement dans la partie finale de la réponse afin de réduire le dépassement. τ'' tente de produire une approximation simple de la constante de temps linéaire de la réponse dynamique de la vanne de régulation, qui peut être comparée à la constante de temps de la boucle de commande sur la même base d'unité de constante de temps. Il faut noter que quand la partie de t_{86} constituée par le temps mort augmente, l'approximation se dégrade.

3.28

temps d'attente

Δt_w

temps écoulé après une variation d'entrée en échelon avant que la réponse arrive à la valeur de régime établi

3.29

tracé X-Y

tracé des courses de sortie par rapport aux courses d'entrée. Les tracés entrée/sortie sont utiles dans la définition des caractéristiques de régime établi des non-linéarités

4 Symboles

Symbole	Description	Unité
C_R	Coefficient de débit en réponse (K_v ou C_v)	variable (voir CEI 60534-1)
Δs	Dimension de l'échelon d'entrée	% de l'étendue de l'entrée
Δs_{02}	Echelon d'entrée de référence de 2 %	% de l'étendue de l'entrée
Δt_s	Intervalle d'échantillonnage	s
Δt_{sc}	Durée de la variation de l'échelon	s

Symbole	Description	Unité
Δt_W	Temps d'attente	s
ΔX	Variation de la position de l'élément de fermeture	% de la course nominale
ΔZ	Variation de la variable de processus	% de la sortie de processus
ΔZ_{02}	Variation de la variable de processus pour une variation de 2 % de l'entrée	% de la sortie de processus
f_0	Taux d'échantillonnage	1/s
F_R	Force de frottement	N
G_R	Rapport de gain	1
G_X	Gain de course de la vanne	1
G_Z	Gain en réponse	1
G_{Z02}	Gain en réponse à la référence de 2 % de l'échelon d'entrée	1
n_{down}	Nombre d'échelon (signal décroissant) dans une séquence d'essai	1
n_{up}	Nombre d'échelon (signal croissant) dans une séquence d'essai	1
h	Course relative	%
τ	Constante de temps	s
T_R	Couple de frottement	Nm
t_{86}	Temps de réponse à un échelon	s
t_{86B}	Temps de réponse de base	s
t_{861}	Temps de réponse à un échelon (signal croissant)	s
t_{862}	Temps de réponse à un échelon (signal décroissant)	s
t_d	Temps mort	s

5 Procédures générales d'essai

5.1 Conditions d'essai de la vanne

L'essai de la vanne doit être effectué sous les conditions d'essai souhaitées. Ceci inclut la configuration de l'assemblage de la vanne avec le type de garniture d'étanchéité et les conditions, le positionneur le cas échéant, et la configuration de l'actionneur. La configuration du positionneur doit inclure tous les réglages applicables ou paramètres (pour les positionneurs numériques). Dans certains cas, des essais préliminaires peuvent être effectués afin, par exemple, de s'assurer qu'il n'y a pas de dépassement excessif (un dépassement excessif n'est pas défini ici et ce qui est permis peut varier selon l'application et doit être mentionné). Toutes les caractéristiques applicables de la configuration de la vanne et tous les réglages qui peuvent affecter les résultats doivent être mentionnés dans le rapport (voir 7.1).

5.2 Système d'essai

Réaliser un essai pour déterminer la réponse d'une vanne de régulation requiert un générateur de signal ou une source et un instrument pour mesurer le signal d'entrée, la position de l'élément de fermeture, et pour les essais en laboratoire ou en processus, la variable en réponse attendue. La variable en réponse peut être déduite d'autres variables qui peuvent aussi nécessiter d'être mesurées.

Les essais peuvent être effectués manuellement avec l'instrumentation appropriée, mais l'utilisation d'un ordinateur est recommandée pour tout ou partie des essais et des analyses.

Lors de la mesure du temps de réponse, les données doivent être collectées suffisamment vite pour donner une bonne résolution temporelle en prenant en compte les exigences pour l'intervalle (fréquence) d'échantillonnage Δt_s donné en équation (1). La mesure du comportement statique (bande morte, gain et résolution) ne dépend généralement pas de l'intervalle d'échantillonnage et peut être effectuée en utilisant une instrumentation d'exploitation, en notant l'intervalle d'échantillonnage.

Pour une vanne de régulation ayant un signal d'entrée pneumatique, celui-ci doit être mesuré le plus près possible de l'entrée du dispositif, afin d'éviter des distorsions d'entrée provoquées par la tuyauterie. La durée totale pour une variation du signal d'entrée en échelon, Δt_{sc} , doit satisfaire les exigences données en équation (2).

Il convient que la position de la vanne soit mesurée aussi près que possible de l'élément de fermeture ou au moins à l'endroit qui approche au plus près la position de l'élément de fermeture dans les limites de la résolution donnée à l'article 5.3. Il convient de faire attention à éviter des erreurs de mesures provoquées par une déformation élastique excessive, à des jeux, des liaisons, etc. Dans tous les cas, la position des points de mesure doit être notée dans le rapport.

5.3 Instruments de mesure

La mesure de chaque variable de sortie, ce qui inclut les effets combinés des transducteurs, de tout équipement de conditionnement de signal et équipement d'enregistrement, doit satisfaire les exigences minimales suivantes.

$$\Delta t_s \leq \frac{t_{86}}{20} \text{ ou } 0,5 \text{ s, la valeur la plus faible des deux prévalant} \quad (1)$$

$$\Delta t_{sc} \leq \frac{t_{86}}{20} \quad (2)$$

$$\text{Constante de temps } \tau \leq \frac{t_{86}}{20}$$

L'instrumentation utilisée pour mesurer les paramètres statiques, bande morte, gain et résolution, n'a pas à satisfaire ces exigences mais les constantes de temps, Δt_s , et Δt_{sc} , doivent être notées dans le rapport.

NOTE 1 Puisque t_{86} est dépendant de la dimension de l'échelon, des équipements de mesure sur des échelons de plus petites dimensions avec des constantes de temps τ plus faibles peuvent être nécessaires.

NOTE 2 Pour les essais en processus, il convient que la constante de temps de la mesure de débit ne soit pas $\tau \leq \frac{t_{86}}{20}$, sauf dans le cas de la mesure de t_{86} .

Si une instrumentation installée en processus utilisée pour mesurer t_{86} ne respecte pas ces exigences, un transducteur de position externe et un équipement enregistreur respectant les exigences ci-dessus sont recommandés.

$$\text{Résolution de l'instrument} \leq \left(\frac{\text{résolution de la vanne}}{3} \right), \left[\text{préférentiellement} \leq \left(\frac{\text{résolution de la vanne}}{10} \right) \right]$$

Imprécision ≤ 5 % de la valeur pleine échelle, de préférence ≤ 2 % de la valeur pleine échelle.

NOTE 3 La valeur pleine échelle est l'étendue de la variable mesurée connue ou estimée quand la vanne de régulation va de 0 % à 100 % d'ouverture.

5.4 Variable de processus

Pour les essais de bande morte et de résolution en laboratoire ou en processus, une variable de processus doit être mesurée si possible en complément du signal d'entrée et de la position. La référence [6] fournit des guides pour le choix de la variable de processus la

meilleure parmi celles qui sont disponibles sur une installation spécifique ou dans un laboratoire.

Le coefficient de débit de réponse, C_R , donné ci-dessous, est un coefficient de débit simplifié pour une utilisation en tant que variable de processus, si la mesure des variables nécessaires pour la mesure est possible. C'est utilisé ici parce que la précision de la détermination de C est hors du domaine d'application de cette norme et que cela peut ne pas être réalisable dans certains environnements d'usine et de certains laboratoires. Les mesures de bande morte et de résolution qui utilisent C_R devraient égaler celles qui utilisent C car leurs variations sont identiques tant que les variations du signal d'entrée restent dans les valeurs typiques. Cela suppose que le débit traversant la vanne de régulation est complètement turbulent et non engorgé. Le coefficient du débit de réponse C_R est calculé en accord avec les équations (3) ou (4).

Pour un débit incompressible

$$C_R = \frac{Q}{N_1} \sqrt{\frac{\rho_1/\rho_0}{\Delta p}} \quad (3)$$

où

Q est le débit du liquide;

ρ_1/ρ_0 est la densité relative ($\rho_1/\rho_0 = 1,0$ pour l'eau à 15 °C);

Δp est la chute de pression dans la vanne;

$N_1 = 1$, si C_R est exprimé comme K_V en m³/h, Q en m³/h et ΔP en bar;

$N_1 = 0,865$, si C_R est exprimé comme C_V en gpm, Q en m³/h et ΔP en bar;

ou, pour un débit de fluide compressible,

$$C_R = \frac{W}{N_6 Y \sqrt{x p_1 \rho_1}} \quad (4)$$

où

W est le débit massique;

p_1 est la pression absolue en amont;

x est le rapport de chute de pression $x = \frac{\Delta p}{p_1}$ où Δp est la chute de pression;

$Y = 1 - \frac{x}{3 F_Y X_T}$, où $F_Y X_T$ peut être supposé égal à 0,7;

$N_6 = 31,6$, si C_R est exprimé comme K_V en m³/h, W en kg/h et ΔP en bar;

$N_6 = 27,3$, si C_R est exprimé comme C_V en gpm, W en kg/h et ΔP en bar.

NOTE Si le débit dans la vanne de régulation n'est pas complètement turbulent ou engorgé, comme cela peut arriver pendant un essai en processus, la valeur réelle C peut être calculée en utilisant les équations normales de débit pour le dimensionnement d'une vanne de régulation (CEI 60534-2-1).

Pour calculer le pourcentage de variation de la variable de processus quand on utilise le coefficient de débit de réponse défini par les équations (3) ou (4), la valeur maximale de C_R (à 100 % de l'ouverture de la vanne) doit être mesurée, estimée ou déterminée à partir des données fournies par le fabricant. La valeur de C_R à 100 % d'ouverture de la vanne doit être établie dans les résultats d'essai.

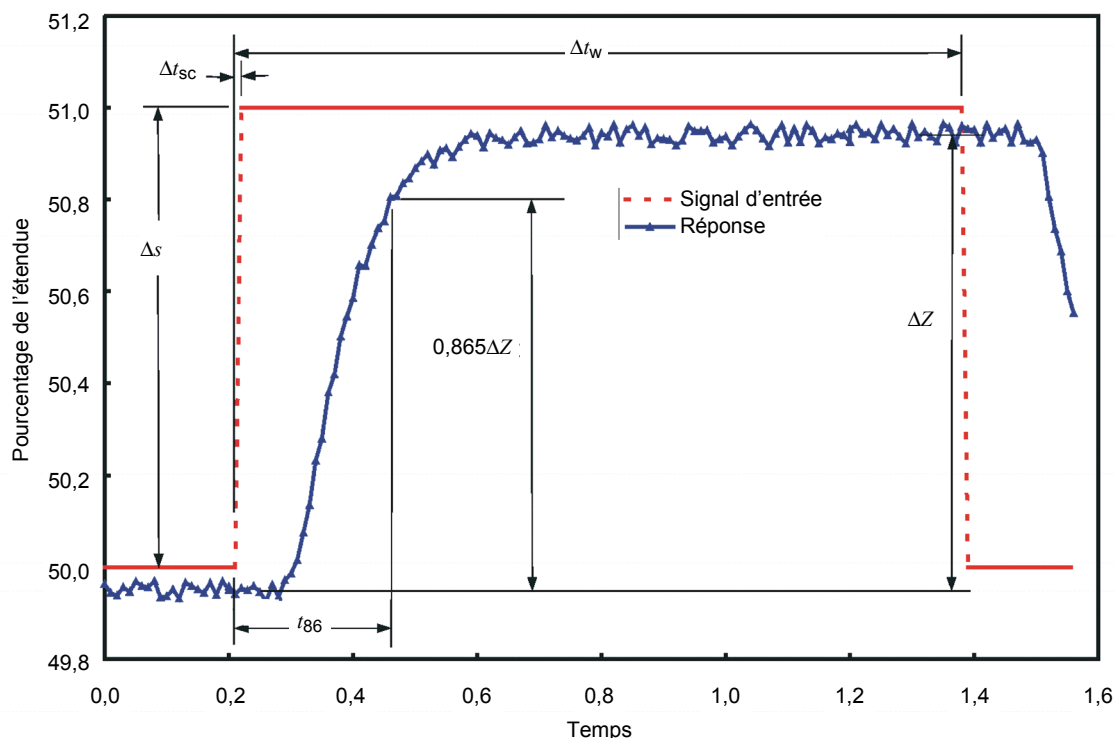
La variable de processus mesurée sera souvent significativement fluctuante pendant le déroulement de l'essai du fait des fluctuations normales provoquées par les perturbations, etc. dans le processus lui-même ou du fait du bruit électrique dans l'environnement de l'installation, ou du fait du bruit de la mesure. Un lissage de courbe ou des routines de calcul de moyennes peuvent cependant être appliquées aux données autour des points clé tels que le point où t_{86} apparaît et où l'amplitude totale de la variable échelonnée est mesurée. Si les essais sont réalisés manuellement, cela peut être fait visuellement à partir d'un tracé. Dans tous les cas, les données brutes doivent être reportées sur une courbe et si une procédure de lissage de courbe est appliquée, la courbe lissée doit être tracée le long de celle des données brutes. Ceci pourra être utilisé ultérieurement ou par d'autres pour, vérifier les calculs si nécessaire.

5.5 Positions nominales d'essai

Les essais seront typiquement réalisés à 50 % de l'ouverture et à d'autres positions de la vanne qui peuvent être spécifiées à la place ou en plus de cette position. Des essais à des positions complémentaires ou différentes peuvent être souhaitables pour les types de vannes connus pour avoir des anomalies à l'ouverture situées autre part qu'à 50 %. Les essais en processus requièrent seulement la position actuelle de fonctionnement entourée des dimensions d'échelon tolérées en plus et en moins. Toutes les positions nominales auxquelles les essais ont été réalisés doivent être enregistrées.

6 Exemples de réponse échelonnée

La Figure 2 et la Figure 3 illustrent des réponses à des variations en échelons d'entrée. La réponse illustrée en Figure 2 n'a pas de dépassement alors que celle en Figure 3 en présente un. Dans ces figures, il y a des bruits de mesure superposés au signal. Le signal d'entrée est illustré avec la réponse, qui pourrait être la position de la vanne ou une variable de processus.



IEC 1631/07

Figure 2 – Variation échelonnée et réponse sans dépassement typiques

Quand le signal d'entrée de la vanne varie soudainement, la vanne commence à répondre (si la variation de signal d'entrée est suffisamment grande) après un certain délai ou temps mort, t_d . La réponse commence alors à tendre vers sa valeur finale comme illustré, souvent exponentiellement. Le signal est maintenu constant après l'échelon pour une durée de temps spécifiée, Δt_w , pour permettre à la réponse d'atteindre sa nouvelle valeur finale établie. Le temps de réponse, t_{86} , est défini comme le temps nécessaire à la réponse pour atteindre 86,5 % de sa valeur finale, à partir du début de l'échelon.

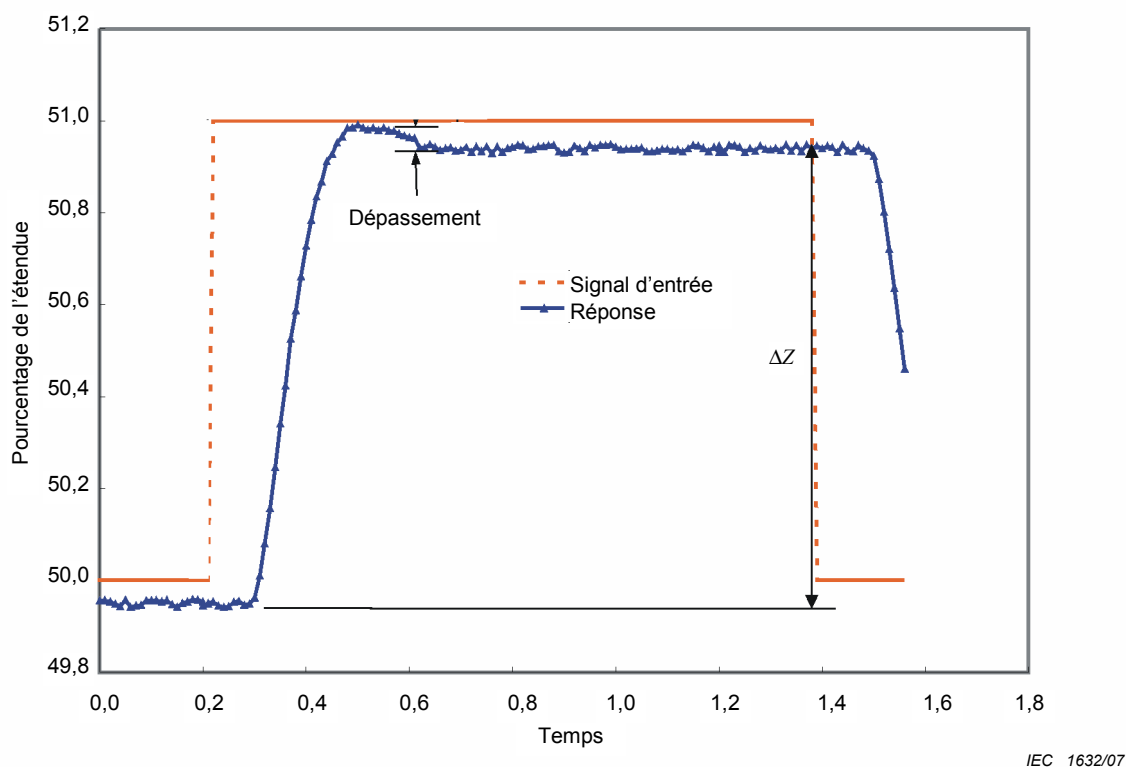


Figure 3 – Réponse échelonnée avec un dépassement

7 Essais spécifiés pour chacun des trois environnements d'essai

Les procédures d'essai détaillées requises pour chacun des trois environnements d'essai sont listées ci-dessous avec leurs recommandations et précautions particulières.

7.1 Essai sur banc

Habituellement, les essais sur banc sont les plus simples à réaliser et souvent ceux qui fournissent les informations les plus utiles. Cependant, les résultats peuvent être significativement différents de ceux des essais en laboratoires ou en processus parce qu'il n'y a pas de débit [6]. Les exigences suivantes s'appliquent.

a) Configuration de la vanne

Une vanne complète avec la configuration de garniture d'étanchéité qui est spécifiée pour le service attendu. La vanne peut ou non être sous pression mais la garniture d'étanchéité doit être serrée normalement dans les conditions typiques ou dans des conditions spécialement définies. La procédure utilisée pour le serrage de la garniture d'étanchéité doit suivre les instructions du fabricant tout en répondant aux exigences données dans la CEI 60534-4 et elle doit être documentée. La configuration du positionneur (le cas échéant) doit inclure tous les réglages ou paramètres pertinents.

La position nominale de la vanne doit être établie à 50 %, sauf spécification contraire.

Les actionneurs peuvent aussi être essayés séparément (non fixés au corps de la vanne) quand cela est permis par l'utilisateur et qu'ils sont préconditionnés en tout point applicable. Les assemblages d'actionneurs doivent aussi être installés dans des dispositifs d'essai qui incluent une boîte à garniture d'étanchéité normale de vanne de régulation, avec accord entre l'utilisateur et le fabricant pour une telle procédure alternative. La garniture d'étanchéité doit être serrée en accord avec les spécifications du fabricant. Le rapport d'essai doit clairement identifier l'actionneur essayé, le dispositif d'essai utilisé, le frottement de tige mesuré ou estimé selon le cas, la procédure utilisée pour le serrage de l'assemblage et la température et la pression de fonctionnement.

Si un essai de vanne est effectué dans une condition autre que celles décrites ci-dessus, cette condition doit être décrite.

b) Considérations particulières

Frapper ou vibrer la vanne en essai n'est pas permis sauf si cela est requis et spécifié dans le rapport d'essai.

La vanne étant sous la pression d'essai (la cas échéant) effectuer 10 cycles d'ouverture / fermeture. Mesurer alors le frottement total (voir Annexe A)

c) Variables mesurées

Signal d'entrée et course relative.

d) Procédures d'essai applicable

Essais de base (voir 8.1), essais de petits échelons (voir 8.2), et essais de temps de réponse (voir 8.3)

7.2 Essais de laboratoire

Les essais de laboratoire sont réalisés avec débit, dans un laboratoire. Le débit doit être totalement turbulent et non engorgé, sauf autre avis spécifié et noté. Ces essais sont plus proches des essais de processus que ne le sont les essais sur banc. Les exigences suivantes s'appliquent.

a) Configuration de la vanne

Vanne complète montée sur une ligne d'écoulement avec un assemblage serré comme il le serait normalement dans des conditions typiques, sauf spécification contraire.

La position nominale de la vanne doit être établie à 50 %, sauf spécification contraire.

Pour une vanne fonctionnant sous débit avec un fluide d'essai, 10 cycles d'ouverture/fermeture doivent être effectués pendant que sont mesurées les chutes de pression et les débits. Ensuite le frottement total doit être mesuré (voir Annexe A).

b) Considérations particulières

Aucune frappe ou vibration apportée n'est permise. Cependant, il y aura des vibrations accompagnant le débit, qui peuvent être mesurée spécialement si elles influencent les résultats d'essai.

c) Variables mesurées

Signal d'entrée, course relative et variable propre au processus.

d) Procédures applicables

Essais de base (voir 8.1), essais de petits échelons (voir 8.2) et essai de temps de réponse (voir 8.3).

7.3 Essai en processus

Les essais en processus donnent la réponse de la vanne dans les conditions réelles du processus ou proche du réel. Cependant, l'étendue des conditions d'essai peut être plus limitée que ce qui est possible lors des essais en laboratoire. Il peut aussi être plus difficile d'obtenir des mesures correctes. L'entrée de la vanne et la mesure de certaines variables peuvent parfois être prises directement avec l'instrumentation existant sur l'installation si elle possède la constante de temps, la fréquence d'échantillonnage, la résolution et la précision requises.

Les exigences suivantes s'appliquent.

a) Configuration de la vanne

Vanne complète, installée et fonctionnant dans les conditions de processus désignées. Mesure ou estimation, méthode d'estimation donnée, frottement total. Effectuer les essais aux positions et conditions requises. Parfois un fonctionnement proche des conditions de fonctionnement existantes peut être permis.

b) Considérations particulières

Des limitations dans les procédures de l'installation ou les exigences de sécurité peuvent ne pas permettre la complétude des essais tels que définis ici.

c) Variables mesurées

Signal d'entrée, course relative et variable propre au processus.

d) Procédures applicables

Essais de base (voir 8.1), essais de petits échelons (voir 8.2) et essai de temps de réponse (voir 8.3).

8 Procédures d'essai détaillées

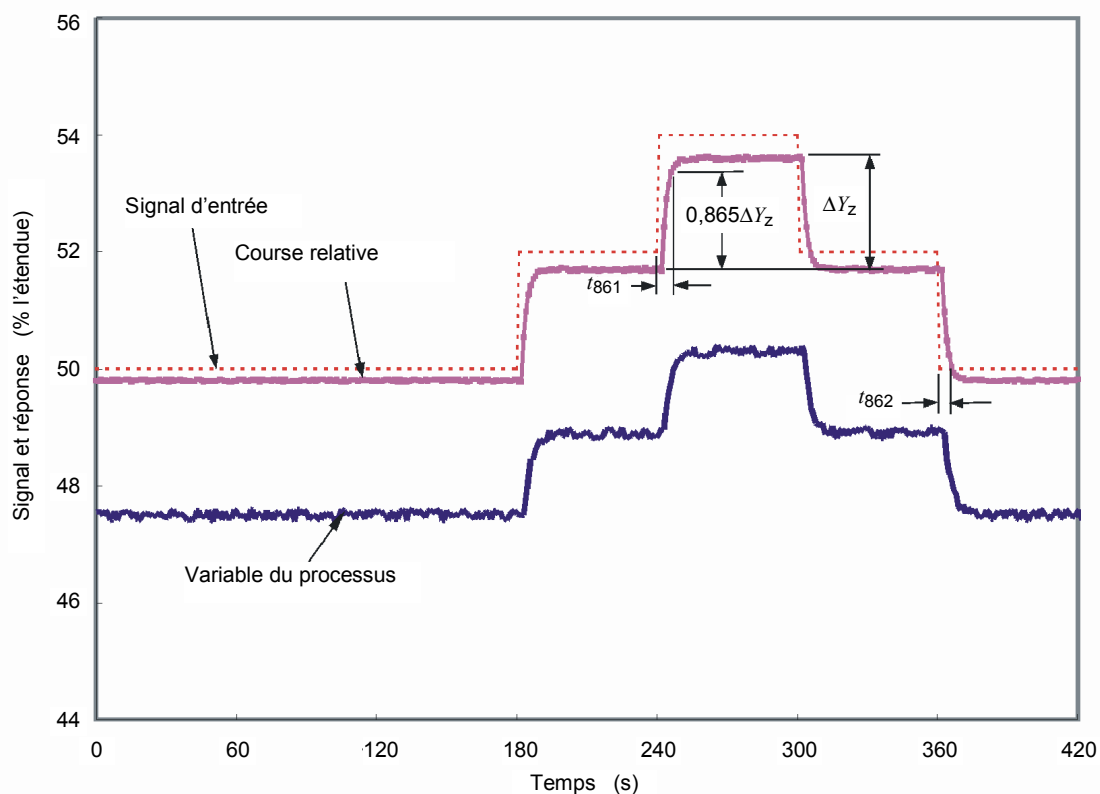
8.1 Essai de base

L'essai de base est normalement réalisé en premier, mais c'est un essai optionnel. Il est utilisé pour évaluer le bruit de mesure, la présence de cycles limités de la vanne ou d'autres comportements similaires, et pour déterminer le temps de réponse de base, t_{86b} . La Figure 4 illustre le signal d'entrée et un exemple de la position et de la réponse pendant l'essai. L'essai comprend les étapes suivantes.

- Etablir le signal de commande à la valeur de base voulue et permettre à la vanne d'aller à sa condition d'état établi. Quand l'essai en processus est effectué, le signal de commande sera normalement déjà à sa valeur voulue et le régulateur sera placé sur "manuel".
- Surveiller les variables pendant 3 min en utilisant un intervalle d'échantillonnage, Δt_s , pas plus grand que $0,5 \text{ s}$ ou $\frac{t_{86}}{4}$, la valeur la plus petite prévalant.
- Elever l'entrée de 2 % et poursuivre la surveillance des variables pendant 1 min ou plus.

- Répéter les pas d'incrément de 2 % jusqu'à ce qu'un mouvement se produise et alors avancer d'un pas ou plus pour obtenir la réponse complète.
- Baisser l'entrée de 2 % et poursuivre la surveillance des variables pendant 1 min.
- Poursuivre la baisse par incréments de 2 % jusqu'à ce que la position de la vanne retourne approximativement à sa position de départ.
- Evaluer les données pour mettre en évidence un cycle limité. S'il y en a, estimer l'amplitude crête à crête et la période du cycle limité
- Pour le segment de la dernière minute dans la direction montante, déterminer le temps de réponse, t_{861} . S'il y a un dépassement, mesurer son amplitude et le temps écoulé entre le début de l'échelon et l'atteinte de la position finale.
- Pour le segment de la dernière minute après la descente, déterminer le temps de réponse t_{862} . S'il y a un dépassement, mesurer son amplitude et le temps écoulé entre le début de l'échelon et l'atteinte de la position finale.
- Déterminer le temps de réponse de base t_{86b} comme étant le plus grand de t_{861} ou t_{862} (voir Figure 4).

S'il y a dépassement, le déterminer ainsi que sa durée à partir du dépassement le plus grand pour les échelons montant et descendant du signal d'entrée.



IEC 1633/07

Figure 4 – Exemple d'échelon et de réponse pendant l'essai de base

8.2 Essai de petits échelons

L'essai de petits échelons est réalisé pour déterminer la bande morte et la résolution. Cet essai peut être écarté par accord si l'essai de temps de réponse fournit les informations requises avec la précision voulue. La Figure 5 illustre le signal en fonction du temps pour un essai typique de petits échelons. Il commence après le réglage du signal d'entrée à la valeur nominale et au moins 3 min d'attente si l'essai optionnel de base n'a pas été effectué, ou 30 s

s'il a été effectué (l'essai de petits échelons peut être mené juste après l'essai optionnel de base).

A partir de là, monter d'un échelon Δs puis attendre un temps spécifié, Δt_w . Surveiller le signal d'entrée, la position et (pour l'essai en laboratoire et pour l'essai en processus) la variable de processus (ou les variables nécessaires pour déterminer le coefficient de réponse, C_R) avec un intervalle d'échantillonnage de Δt_s . Poursuivre ainsi pour n échelons. A ce point, attendre pendant deux autres périodes, $2\Delta t_w$, puis diminuer le signal d'un nombre n d'échelons et attendre Δt_w après chaque échelon. Encore une fois attendre $2\Delta t_w$ et répéter les mêmes séries d'échelons en montant et en descendant.

Les paramètres Δs , Δt_w , Δt_s , et Δt_{sc} doivent remplir les critères suivants.

$\Delta s \leq \frac{1}{2}$ (inférieur à la résolution ou à la bande morte)

NOTE Puisque qu'il est possible que la résolution approchée et la bande morte ne soient pas connues avant, on peut utiliser $\Delta s = 0,1$ % de la pleine échelle et ainsi vérifier *a posteriori* que les conditions spécifiées ont été respectées. Il est possible que la bande morte et la résolution soient plus petites que l'amplitude crête à crête du cycle limité. Si c'est le cas, la bande morte et la résolution réelle ne peuvent pas être mesurées mais il peut être établi que leurs valeurs ne sont pas supérieures à l'amplitude crête à crête du cycle limité.

$$n \geq \text{supérieur à 4 ou à la quantité } \left\lceil \frac{1,2 \text{ (bande morte + résolution)}}{\Delta s} \right\rceil$$

Cette exigence devrait assurer qu'il y a au moins un échelon en plus de celui provoquant le mouvement initial.

$$\Delta t_s \leq \text{le plus petit de } \left(\frac{t_{86b}}{20} \text{ ou } 0,5 \text{ s} \right)$$

NOTE Si t_{86b} est indisponible parce que l'essai de base n'a pas été effectué, une approximation de t_{86} peut être déterminée en utilisant $\Delta t_s = 0,5$, ou une valeur plus faible, pendant cet essai et alors en ajustant Δt_s en utilisant $2T_{86}$ au lieu de t_{86b} .

$\Delta t_w \geq 4$ (constante de temps mesurée en processus) ou ≥ 30 s la constante de temps en processus n'est pas connue

$$\Delta t_{sc} \leq \frac{t_{86b}}{20}$$

Voir la note ci-dessus si l'essai de base n'a pas été effectué.

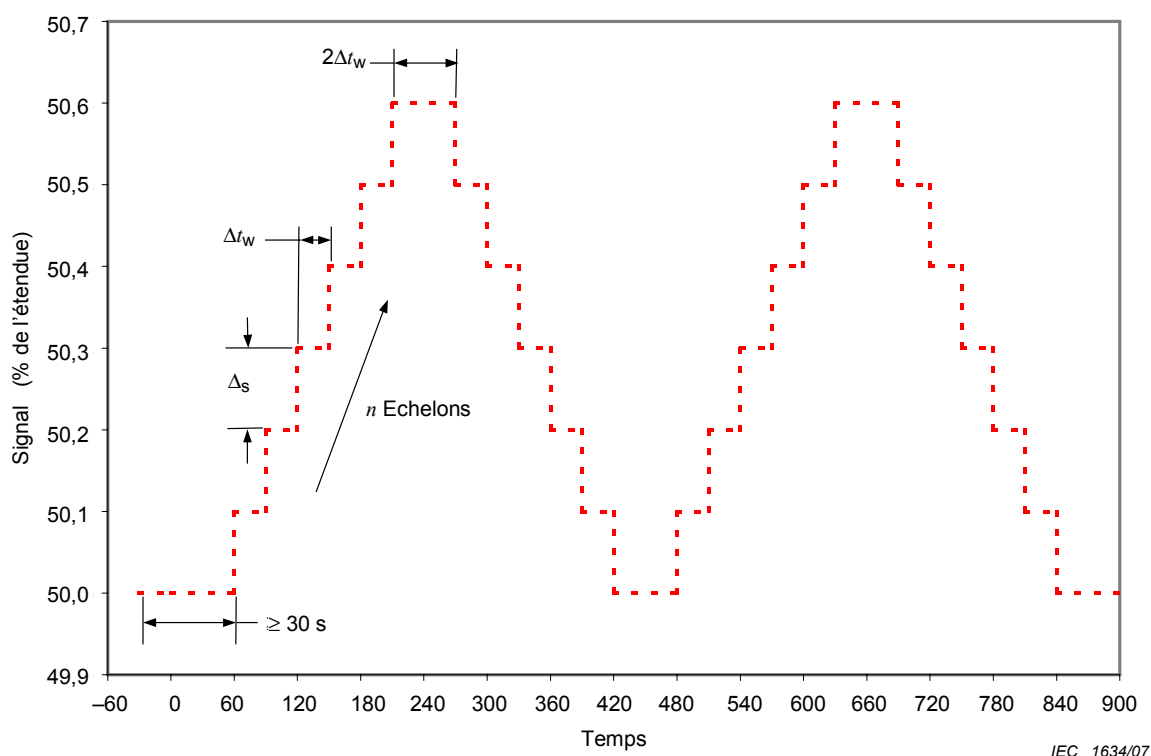


Figure 5 – Séquence de signal pour l'essai de petits échelons

8.3 Essais de temps de réponse

Les essais de temps de réponse consistent en une série d'échelons conçue pour déterminer le temps de réponse, t_{86} , en fonction de la dimension de l'échelon Δ_s , à chacune des séquences de dimension d'échelon croissante. Les essais de temps de réponse peuvent aussi fournir des valeurs approchées de la bande morte et de la résolution. Si des valeurs moins précises de la bande morte et de la résolution sont acceptables, des essais de temps de réponse peuvent être utilisés à la place des essais de petits échelons. Avant de commencer, le temps d'attente pour la valeur nominale du signal d'entrée, peut aussi être augmenté de 2 min pour déterminer le cycle limité plutôt que de réaliser l'essai optionnel de base.

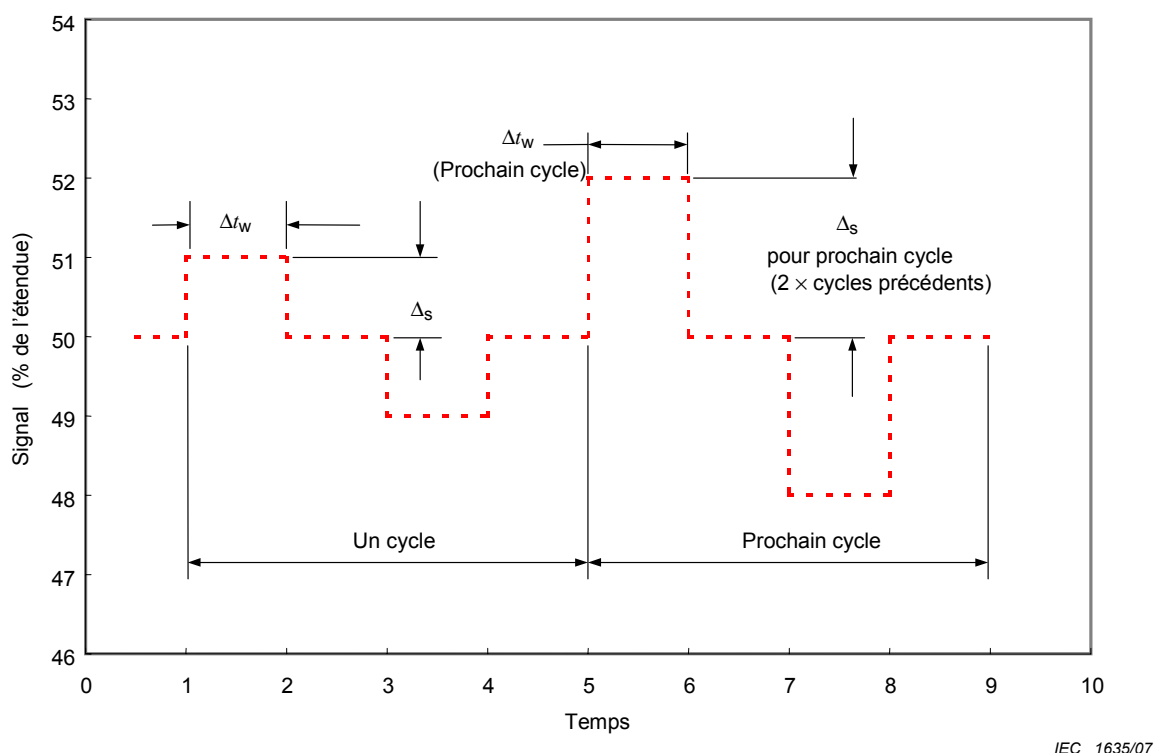


Figure 6 – Séquence d'échelons de signal échantillonné pour les essais de temps de réponse

NOTE La position nominale de 50 % désignée est illustrée mais la valeur peut être différente selon les exigences.

Pour chaque dimension d'échelon, un échelon (ou une série d'échelons) montant, deux échelons (ou une série d'échelons) descendant, et ensuite un échelon (ou une série d'échelons), chaque échelon pris isolément suivi d'une attente Δt_W , doivent être effectués. Le nombre d'échelons descendants, n_{down} , est deux fois celui des échelons montants, n_{up} ; ainsi, le signal retourne à sa valeur nominale après le second jeu d'échelons montants.

Le signal d'entrée et la course relative sont enregistrés pendant chaque échelon.

La Figure 6 illustre un cas où le nombre d'échelons montants, n_{up} , est égal à un, le nombre d'échelons descendant, n_{down} , est égal à deux, et le nombre d'échelon de retour, n_{up} , est égal à un.

La dimension d'échelon du premier essai de temps de réponse doit être la dimension la plus petite et égale ou juste supérieure à la résolution (ou à la bande morte si elle est plus petite) de la séquence de dimensions d'échelon listée ci-dessous.

Si l'essai de petits échelons n'a pas été effectué et que l'essai de temps de réponse est utilisé pour déterminer la bande morte et la résolution approchées, la dimension de l'échelon du premier essai de temps de réponse sera 0,1 % (sauf si la bande morte et la résolution ou des exigences sont connues pour être plus larges);

Séquence de dimensions d'échelon: $\Delta s = 0,1 \%$; $0,2 \%$; $0,5 \%$; $1,0 \%$; $2,0 \%$; $5,0 \%$ et $10,0 \%$ de l'étendue du signal d'entrée.

Ensuite, poursuivre avec la dimension d'échelon immédiatement supérieure jusqu'à ce qu'un essai de temps de réponse soit effectué avec les jeux de dimensions d'échelon établis pour la séquence ci-dessus (sauf conditions de fonctionnement contraires). Des dimensions

d'échelon plus grandes comme 20 % et 50 % peuvent être utilisées si les conditions de fonctionnement le permettent et si on le souhaite).

Par exemple, si la résolution est trouvée égale à 0,3 % et est plus petite que la bande morte, effectuer l'essai de temps de réponse avec Δ_s fixé à 0,5 %, 1 %, 2 %, 5 %, et 10 % de l'étendue du signal d'entrée (la dimension maximale d'échelon peut être limitée pour les essais en laboratoire et en processus pour ne pas déranger le processus ou pour éviter un coup de bélier, etc.)

Le nombre minimum d'échelons montants, n_{up} , requis pour la variation totale du signal d'entrée (le nombre total d'échelon par la dimension de l'échelon) dans une direction dépasse 1,2 (bande morte + résolution)

$$n_{up} \geq \frac{1.2 (dead\ band + resolution)}{\Delta_s}$$

Ceci devrait assurer que le signal varie suffisamment pour vaincre la bande morte et pour bouger au moins plus d'une fois dans la même direction. De très petites dimensions d'échelon requièrent cependant plus d'échelons.

$$n_{down} = 2n_{up}$$

$$\Delta t_w \geq 5 \times t_{86}$$

Lorsque t_{86} n'est pas connu par avance pour une dimension particulière d'échelon, le minimum permis Δt_w pour le précédent, le plus petit, échelon peut normalement être utilisé pour tenir cette exigence.

$$\Delta t_s \leq \frac{t_{86}}{20}$$

$$\Delta t_{sc} \leq \frac{t_{86b}}{20}$$

Des valeurs de t_{86} sont ainsi déterminées pour chaque échelon à partir des données de position et peuvent être tabulées ou présentées sur un tracé. Les exigences sont listées ci-dessous.

Les données de chaque essai de temps de réponse sont utilisées pour déterminer le gain G_z en notant la réponse, ΔZ d'un échelon proche de la fin d'une série d'échelons dans la même direction où ils apparaissent comme étant la réponse totale et en divisant par Δ_s . Le gain trouvé à partir de l'essai d'échelon de 2 %, G_{z02} , est utilisé comme gain de référence pour déterminer le rapport de gain = $\frac{G_z}{G_{z02}}$.

Δ_s – pour le premier essai de temps de réponse, Δ_s doit être égal à la plus petite dimension d'échelon qui est égale ou juste supérieure à la bande morte de la séquence de dimension d'échelon.

9 Présentation des résultats d'essai

9.1 Informations générales

Les informations générales relatives à l'appareil en essai sont requises dans la présentation des résultats d'essai. Toute autre condition affectant les résultats d'essai (telle que les écarts par rapport aux conditions recommandées) doivent être rapportées.

- Description de la vanne en essai, de l'actionneur et du positionneur, en incluant le nom du fabricant, du modèle, le numéro de série, simple ou double action et action par air.
- Description des équipements d'essai utilisés, en incluant les constantes de temps des transducteurs et les instruments de conditionnement du signal utilisés pour mesurer chaque variable, nom des opérateurs d'essai et date des essais.
- Résultats de l'étalonnage de la vanne: étendue du signal, identité des variables de processus et système d'assemblage (par exemple, serrage à l'état normal de fonctionnement, comme défini par le fabricant), gain du positionneur, et caractéristiques des cames (ou les paramètres du positionneur) le cas échéant.
- Pour les essais en laboratoire et en processus, identifier la variable de processus en incluant la situation des dispositifs de mesure et l'étendue utilisée comme base de calcul des pourcentages. Il convient que la description de la variable de processus inclut une estimation du temps de réponse entre le mouvement de la vanne et la variation mesurée dans la variable de réponse.

Quand c'est possible, la charge de frottement doit être mesurée (Annexe A) et rapportée. Le point sur l'assemblage de la vanne où la mesure est effectuée par rapport à l'élément de fermeture doit être identifié. Les réglages de tous les autres paramètres ajustables qui peuvent affecter les résultats de mesure doivent être notés.

9.2 Résultats d'essai

Les résultats d'essai doivent être présentés sous forme de tableaux ou de graphique qui identifient les exigences minimales indiquées ci-dessous quand elles sont applicables. Les Figures 7 et 8 sont des exemples qui illustrent des tracés montrant les résultats d'essai de petits échelons et des essais de temps de réponse.

9.2.1 Essai de base

- Course relative, h
- Paramètres d'essai Δt_s et Δt_{sc}
- Résultats d'essai t_{86} , amplitude crête à crête de cycle limité et période (le cas échéant), amplitude de dépassement et temps d'établissement.

9.2.2 Essai de petits échelons

- Course relative, h
- Paramètres d'essai Δt_s , Δt_{sc} , Δt_w , ΔS , et n
- Résultats d'essai de bande morte et de résolution
- Amplitude crête à crête du cycle limité et période (le cas échéant) si l'essai de base n'a pas été effectué

9.2.3 Essais de temps de réponse

- Course relative, h
- Paramètres d'essai Δt_s , Δt_{sc} , Δt_w , n_{up} , n_{down} , et pour chaque dimension d'échelon utilisée
- Résultats d'essai – pour chaque échelon t_{86} , amplitude de dépassement, durée et rapport de gain $\frac{G_z}{G_{z02}}$

- Amplitude crête à crête du cycle limité et période (le cas échéant) si l'essai de base n'a pas été effectué
- Etendue de la bande morte et de la résolution si l'essai de petit échelon n'a pas été effectué
- Résultats des essais complémentaires ou données complémentaires ou caractéristiques qui peuvent être ajoutées à l'initiative du fabricant ou sur demande de l'utilisateur.

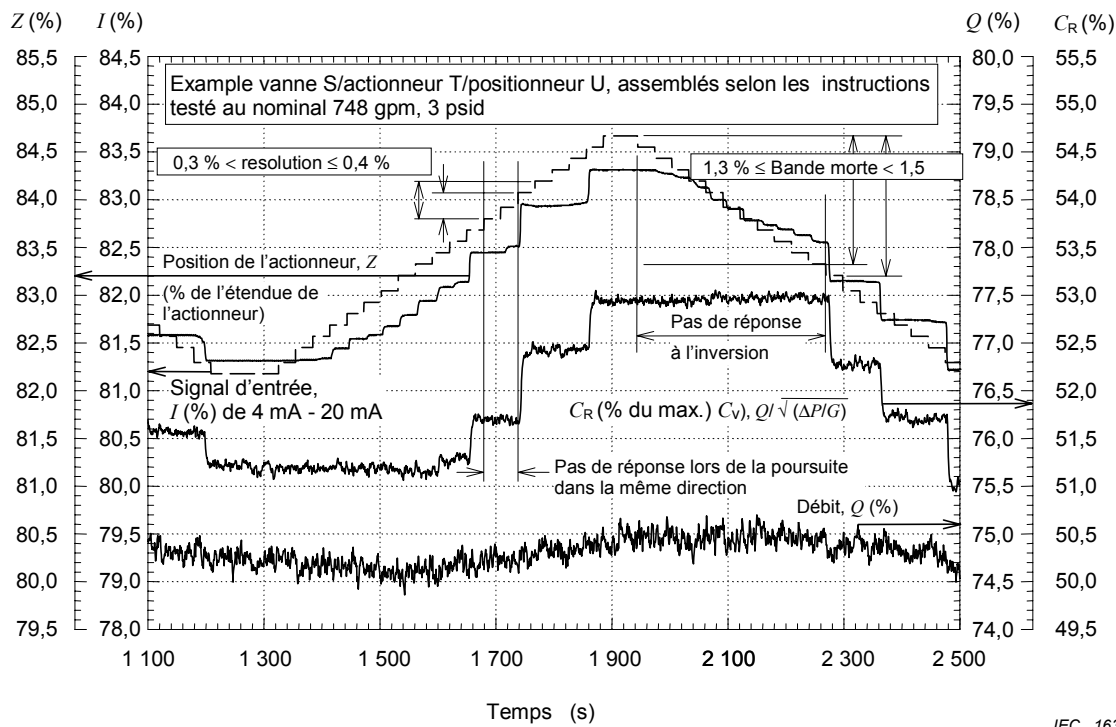


Figure 7 – Donnée échantillonnée d'un essai de petits échelons ($\Delta s = 0,13 \%$) réalisé dans une boucle de processus

NOTE Les valeurs calculées de bande morte et de résolution illustrées sont fondées sur le coefficient de réponse C_R calculé à partir de Q (qui n'était pas une représentation vraie de la réponse de la vanne) et sur la chute de pression de la vanne (ΔP). Il faut noter que la course relative mesurée, h , peut dans ce cas ne pas être une représentation vraie de la réponse de la vanne, peut-être à cause d'une perte de mouvement entre le point de mesure de la position et de l'élément de fermeture.

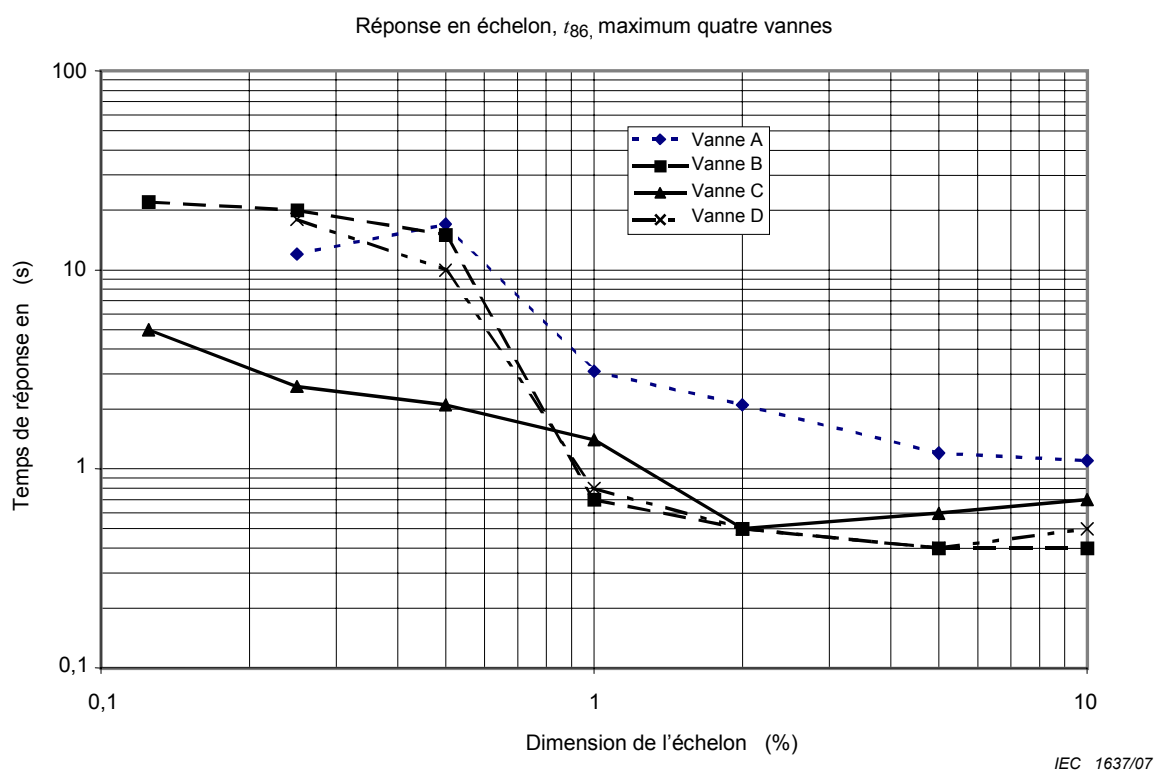


Figure 8 – Exemple de tracé de la réponse en échelon, t_{86} , en fonction de la dimension d'échelon pour quatre vannes différentes

Annexe A (informative)

Mesure du frottement de glissement

La procédure ci-dessous peut être utilisée pour mesurer le frottement de glissement dans une vanne de régulation possédant un actionneur pneumatique. Avant d'effectuer l'essai, il convient que l'assemblage soit serré en utilisant les procédures recommandées par le fabricant et que la vanne ait effectuée le nombre de cycles spécifié. Cette méthode suppose que le frottement et la force (ou couple) de ressort en toute position soient les mêmes que la course soit à l'ouverture ou à la fermeture.

L'augmentation/diminution de débit utilisée pour cet essai doit être

$$\frac{dh}{dt} = \frac{86}{20 \bullet t_{86(100\%)}} , \text{ où } \frac{dh}{dt} \text{ est l'augmentation/diminution en \% de déplacement total}$$

et $t_{86(100\%)}$ est le temps de réponse en échelon à $\Delta s = 100\%$.

- a) Le signal d'entrée doit être augmenté (ou diminué) à un taux de 2 % par seconde jusqu'à atteindre le course voulue tout en mesurant la position et les pressions au-dessus et au-dessous du piston ou de la membrane alors que l'actionneur est en mouvement; Habituellement, la vanne de régulation sera déplacée de la position "ouverture complète" à la position "fermeture complète" dans cette étape.
- b) La vanne doit être déplacée dans la position opposée par diminution (ou augmentation) du signal d'entrée à un taux de 2 % par seconde jusqu'à atteindre la course voulue, toujours en mesurant les mêmes variables que dans l'étape a).
- c) La force de frottement doit être calculée à toutes les positions en utilisant pour une vanne linéaire l'équation:

$$F_f = \frac{(p_b A_b - p_t A_t)_{incr} - (p_b A_b - p_t A_t)_{decr}}{2} \quad (A1)$$

où

F_t	est la force de frottement;
A_b	est la surface effective au-dessous du piston ou de la membrane;
A_t	est la surface effective au-dessus du piston ou de la membrane;
P_b	est la pression mesurée au-dessous du piston ou de la membrane à la position spécifiée;
P_t	est la pression mesurée au-dessus du piston ou de la membrane à la position spécifiée;
incr, decr	sont des indices signifiant respectivement "augmentation" ou "diminution" du signal

ou pour les vannes rotatives, en utilisant l'équation

$$T_f = \frac{L[(p_b A_b - p_t A_t)_{incr} - (p_b A_b - p_t A_t)_{decr}]}{2} \quad (A2)$$

où

L est le moment effectif du bras à la position considérée;

T_f est le couple provoqué par le frottement;

les autres variables étant les mêmes que précédemment. (Noter que les pressions peuvent être absolues ou relatives mais elles doivent être cohérentes. Noter aussi que pour les actionneurs à simple effet, ou si A_b égale A_t , les équations (A.1) et (A.2) peuvent être significativement simplifiées). Il convient de ne pas rapporter plus de deux cas significatifs de frottement.

Bibliographie

- [1] Control Valve Dynamic Specification, Version 2.1, 3/94, published by EnTech Control Engineering Inc., Toronto
 - [2] Gibson, J. E. "Nonlinear Automatic Control" McGraw-Hill 1963, p.14
 - [3] Van De Vegte, J., "Feedback Control Systems", 2nd ed, Prentice Hall, 1990, p.14
 - [4] McGraw-Hill "Dictionary of Scientific and Technical Terms", fifth edition, 1994
 - [5] ISA-51.1-1979 (R1993), Process Instrumentation Terminology
 - [6] ANSI/ISA-TR75.25.02-2000, Control Valve Response Measurement from Step Inputs
 - [7] ANSI/ISA-TR75.25.01-2000, Test Procedure for Control Valve Response Measurement from Step Inputs
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
P.O. Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch