

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60308

Deuxième édition
Second edition
2005-01

**Turbines hydrauliques –
Essais des systèmes de régulation**

**Hydraulic turbines –
Testing of control systems**

© IEC 2005 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XC**

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	6
INTRODUCTION.....	10
1 Domaine d'application et objet.....	12
2 Références normatives.....	12
3 Termes et définitions, symboles et unités.....	14
4 Fonctions et composants de systèmes de régulation de centrales hydro-électriques	22
4.1 Systèmes de régulation proprement dits.....	22
4.2 Autres systèmes de commande et transitions	22
4.3 Composants des systèmes de régulation.....	22
4.4 Fonctions de sécurité, 4.14 de la CEI 61362	24
4.5 Protection vis-à-vis de l'environnement, 4.16 de la CEI 61362	24
4.6 Compatibilité électromagnétique (CEM).....	24
5 Stipulations contractuelles	24
5.1 Garanties et essais de réception	24
5.2 Documentation	24
6 Essais du système de régulation.....	26
6.1 Généralités.....	26
6.2 Recommandations sur les essais en usine	26
6.3 Recommandations sur les essais sur site	28
6.4 Vérifications électriques.....	30
6.5 Essais des convertisseurs, amplificateurs et actionneurs	34
6.6 Essais sur site des caractéristiques du régulateur	48
6.7 Essais de sécurité	56
6.8 Conditions à remplir pour les essais.....	60
6.9 Essais sur site en réseau isolé.....	64
6.10 Rôle du régulateur pour la stabilité dans les réseaux interconnectés.....	68
7 Incertitudes dans les essais de régulateur.....	70
8 Simulation du fonctionnement de la régulation et de la commande.....	76
8.1 Remarques d'ordre général.....	76
8.2 Caractéristiques du simulateur.....	78
8.3 Incertitudes des simulateurs de centrale, des calculs de surpression et des paramètres de régulation	78
Annexe A (informative) Procédures d'essais.....	82
Annexe B (informative) Recommandation pour les essais des régulateurs turbine	90
Annexe C (informative) Essais sur site de systèmes de régulation	112
Annexe D (informative) Exemples d'essais de systèmes de régulation	118
Figure 1 – Temps de fermeture ralentie d'un servomoteur T_h	14
Figure 2 – Coefficient d'autoréglage en couple de la turbine	16
Figure 3 – Coefficient d'autoréglage du système réglé.....	18
Figure 4 – Débit d'huile Q en fonction de l'entrée de courant I et de la chute de pression Δp	34
Figure 5 – Convertisseur électro-hydraulique pour régulateur de classe élevée	36

CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	11
1 Scope and object.....	13
2 Normative references	13
3 Terms and definitions, symbols and units	15
4 Functions and components of hydro control systems	23
4.1 Control systems proper.....	23
4.2 Other control systems and transitions.....	23
4.3 Control system components	23
4.4 Safety functions, 4.14 of IEC 61362	25
4.5 Environmental protection, 4.16 of IEC 61362.....	25
4.6 Electromagnetic compatibility (EMC).....	25
5 Contractual stipulations	25
5.1 Guarantees and acceptance tests	25
5.2 Documentation	25
6 Control system tests.....	27
6.1 General.....	27
6.2 Recommendations on workshop tests	27
6.3 Recommendations on field tests.....	29
6.4 Electrical checks.....	31
6.5 Test of converters, amplifiers and actuators	35
6.6 Site tests of controller characteristics.....	49
6.7 Safety tests	57
6.8 Test conditions to be fulfilled	61
6.9 Isolated network field tests	65
6.10 Role of controller for stability in interconnected power systems.....	69
7 Inaccuracies in controller tests.....	71
8 Simulation of governing and control operations	77
8.1 General remarks.....	77
8.2 Simulator characteristics.....	79
8.3 Inaccuracy of plant simulators, calculations of pressure surge and control parameters	79
Annex A (informative) Test procedures.....	83
Annex B (informative) Recommendation for testing of turbine controllers	91
Annex C (informative) Field test of control systems.....	113
Annex D (informative) Control system test examples	119
Figure 1 – Servomotor cushioning time T_h	15
Figure 2 – Turbine control transmission ratio	17
Figure 3 – Controlled system self-regulation factor	19
Figure 4 – Oil flow Q function of input current I and pressure drop Δp	35
Figure 5 – Electro hydraulic converter for high grade control system	37

Figure 6 – Variation de la course Δs en sortie d'un convertisseur en fonction du courant d'entrée I	38
Figure 7 – Courbes caractéristiques des soupapes de régulation	42
Figure 8 – Exemple d'essai de simulation en ligne de réseau isolé.....	68
Figure D.1 – Essai d'insensibilité en régulation de vitesse avec enregistrement X-Y.....	140
Figure D.2 – Essai d'insensibilité en régulation de puissance avec caractéristiques temporelles.....	142
Figure D.3 – Essai de synchronisation de 2 grandeurs réglées avec enregistrement X-Y	144
Figure D.4 – Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en régulation de vitesse, régulateur PID	146
Figure D.5 – Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en régulation de vitesse avec détermination des paramètres du régulateur PID	148
Figure D.6 – Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en fonctionnement en réseau isolé.....	150
Figure D.7 – Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en régulation de puissance (turbine Pelton).....	152
Figure D.8 – Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en régulation de puissance (turbine pompe).....	154
Figure D.9 – Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en régulation de puissance avec détermination des paramètres du régulateur PI	156
Figure D.10 – Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en régulation de niveau d'eau amont.....	158
Figure D.11 – Mesure des réponses à échelon de groupes en régulation de niveau d'eau amont, en fonctionnement à plusieurs groupes.....	160
Figure D.12 – Mesure d'un délestage de charge avec passage en marche à vide	162
Figure D.13 – Mesure d'un délestage de charge avec passage en déchargeur puis retour en marche à vide	164
Figure D.14 – Mesure d'un démarrage et d'une prise de charge.....	166
Figure D.15 – Mesure du passage de la turbine à pleine charge à un fonctionnement en compensateur synchrone	168
Figure D.16 – Mesure de la réponse à un échelon de puissance en réseau isolé simulé en ligne	170

Figure 6 – Output stroke Δs of a converter versus input current I	39
Figure 7 – Performance curves of control valves.....	43
Figure 8 – Example of on-line simulated isolated grid test.....	69
Figure D.1 – Insensitivity test under speed control with X-Y recording.....	141
Figure D.2 – Insensitivity test under power control with time characteristics	143
Figure D.3 – Flutter test of 2 regulated quantities with X-Y recording	145
Figure D.4 – Measurement of a unit step response with PID speed controller.....	147
Figure D.5 – Measurement of a unit step response with speed control for determination of PID controller parameters	149
Figure D.6 – Measurement of unit step response in isolated operation	151
Figure D.7 – Measurement of a unit step responses with power control (Pelton turbine)	153
Figure D.8 – Measurement of unit step responses with power control (pump turbine)	155
Figure D.9 – Measurement of a unit step response with power control for determination of PI-controller parameters.....	157
Figure D.10 – Measurement of a unit step response with head race level control.....	159
Figure D.11 – Measurement of the unit step responses with head race level control in multi-unit operations	161
Figure D.12 – Measurement of a load rejection with transition into no-load operation	163
Figure D.13 – Measurement of a load rejection with limit control of surge and suction waves and with transition into no-load operation.....	165
Figure D.14 – Measurement of a start-up process under load	167
Figure D.15 – Measurement of changeover from full turbine load to synchronous condenser operation	169
Figure D.16 – Measurement of a power step response in on-line simulated isolation test....	171

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TURBINES HYDRAULIQUES – ESSAIS DES SYSTÈMES DE RÉGULATION

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 60308 a été établie par le comité d'études 4 de la CEI: Turbines hydrauliques.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1970. Cette deuxième édition constitue une révision technique.

Le texte suivant donne une explication des raisons de la publication d'une nouvelle édition.

Pour les essais des systèmes de régulation, seule la première édition de cette norme (CEI 60308:1970, Code International d'essai des régulateurs de vitesse pour turbines hydrauliques) était disponible. Elle était limitée – comme son titre l'indiquait – à la régulation de vitesse. L'intention de cette deuxième édition est d'étendre l'objet en incluant des fonctions supplémentaires de l'ensemble du système de régulation des turbines hydrauliques. L'objet des essais de réception d'un tel système dépend des garanties stipulées dans les spécifications d'un contrat.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**HYDRAULIC TURBINES –
TESTING OF CONTROL SYSTEMS****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 60308 has been prepared by IEC technical committee 4: Hydraulic turbines.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1970. This second edition constitutes a technical revision.

The following is an explanation of the reasons for issuing a new edition.

For the testing of control systems, only the first edition of this standard (IEC 60308:1970, International code for testing of speed governing systems for hydraulic turbines) was available up till now. It was limited – as the name suggests – to speed governing. It is, therefore, the intention of this second edition to expand the scope to include further functions of the overall control system of hydro turbines. The scope of acceptance tests of such a system depends on the guarantees stipulated in the specifications of a contract.

Comme les nouveaux concepts/algorithmes deviennent de plus en plus importants à côté et au-delà du principe du PID, les articles suivants ne se réfèrent pas à un algorithme spécifique (comme le faisait la première édition de cette norme).

Il est à noter que les essais de propriétés spécifiques et la rédaction de la documentation correspondante entraînent des coûts qui augmentent avec l'étendue et la précision du travail à effectuer. Par conséquent, un essai devrait être limité aux paramètres, composants et caractéristiques indispensables à un fonctionnement fiable et sûr. Ainsi, la précision prescrite des mesures devrait correspondre aux exigences de fonctionnement. Le code distingue donc, dans certains articles, les exigences spécifiques pour certaines applications (par exemple fonctionnement en puissance de pointe, en puissance de base, en réglage de fréquence, etc.).

Cette norme est étroitement rattachée à la CEI 61362.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
4/199/FDIS	4/209/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.

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.

Since new control concepts/algorithms are becoming more and more important besides and beyond the PID principle, the following clauses do not refer to a specific algorithm (as did the first edition of this standard).

It is noted that the testing of specific properties and the drawing-up of the corresponding documentation involves costs which rise with increasing scope and the accuracy of the work to be done. Therefore, a test should be limited to parameters, components and characteristics which are indispensable for reliable and safe operation. Also the prescribed accuracy of measurements should correspond to the requirements of operation. The code therefore distinguishes in certain clauses the specific requirements for certain applications (for example, peak load, base load, frequency control operation, etc.).

This standard is closely related to the IEC 61362.

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

FDIS	Report on voting
4/199/FDIS	4/209/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 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.

INTRODUCTION

Les fonctions de régulation des turbines hydrauliques ont subi des changements de grande portée en même temps qu'elles ont gagné en importance durant les dernières décennies. Cela est illustré par le fait qu'une nouvelle norme a été développée, à savoir la CEI 61362.

INTRODUCTION

The control functions of water turbines have undergone far-reaching changes and at the same time gained in importance during the last few decades. This is shown in the fact that a new standard has been developed: i.e. IEC 61362.

TURBINES HYDRAULIQUES – ESSAIS DES SYSTÈMES DE RÉGULATION

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale traite de la définition et des caractéristiques des systèmes de régulation et est la base pour les appels d'offres et les offres techniques. Elle n'est pas limitée aux tâches effectives de régulation, mais inclut également d'autres tâches qui peuvent être assignées à un système de régulation, telles que les tâches de commande séquentielle, de sécurité, d'alimentation en énergie de manœuvre.

L'essai des systèmes de régulation des turbines hydrauliques peut généralement comprendre les tâches suivantes:

- vérification des caractéristiques du système selon les spécifications du contrat;
- vérification du bon fonctionnement général en usine et/ou sur site;
- essais pour prouver le respect des garanties;
- évaluation de l'état effectif d'un système de régulation existant dans le cadre de l'examen de la réparation ou du remplacement.

La présente norme couvre les systèmes suivants:

- régulation de vitesse, puissance, ouverture, niveau d'eau et débit de tous types de turbines;
- dispositifs électroniques, électriques et d'alimentation en fluide;
- dispositifs de sécurité;
- dispositifs de démarrage, dispositifs d'arrêt, etc.

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 60041:1991, *Essais de réception sur place des turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines, en vue de la détermination de leurs performances hydrauliques*

CEI 60193:1999, *Turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines – Essais de réception sur modèle*

CEI 60545, *Guide pour la réception, l'exploitation et l'entretien des turbines hydrauliques*

CEI 61362:1998, *Guide pour la spécification des régulateurs des turbines hydrauliques*

CEI 61000-4-2, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-2: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux décharges électrostatiques*

CEI 61000-4-3, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-3: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques*

CEI 61000-4-6, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-6: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques*

HYDRAULIC TURBINES – TESTING OF CONTROL SYSTEMS

1 Scope and object

This International Standard deals with the definition and the characteristics of control systems and is the basis for tender documents and technical tenders. It is not limited to the actual controller tasks but also include other tasks which may be assigned to a control system, such as for instance sequence control tasks, safety, provision for the actuating energy.

The testing of control systems for hydro turbines can generally fulfil the following tasks:

- verification of system characteristics as per contract specification;
- verification of general proper functioning in the workshop and/or on site;
- tests to prove the fulfilment of guarantees;
- assessment of the actual state of an existing control system with regard to the question of repair or replacement.

This standard covers the following systems:

- speed, power, opening, water level and flow control for all turbine types;
- electronic, electrical and fluid power devices;
- safety devices;
- start-up, shutdown devices etc.

2 Normative references

The following referenced 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 60041:1991, *Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines*

IEC 60193: 1999, *Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Model acceptance tests*

IEC 60545, *Guide for commissioning, operation and maintenance of hydraulic turbines*

IEC 61362: 1998, *Guide to specification of hydraulic turbine control systems*

IEC 61000-4-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test*

IEC 61000-4-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*

IEC 61000-4-6, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields*

ISO 4406:1999, *Transmissions hydrauliques – Fluides – Méthode de codification du niveau de pollution particulaire solide*

ISO 4406: 1999, *Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles*