

**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**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60308:2005

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** (www.iec.ch)
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site** (www.iec.ch)
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**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*

3 Termes et définitions, symboles et unités

Para- graphe	Terme	Définition	Grandeur	Unité	Grandeur relative
3.1	Définitions d'ordre général				
3.1.1	écart de vitesse	à un instant considéré, la différence entre la vitesse réelle de rotation et une vitesse de référence	Δn $\Delta \omega$ Δf	rev/min rad/s Hz	x_n
3.2	Performances en grandes perturbations				
3.2.1	temps de fermeture ralentie du servomoteur	temps pendant lequel la vitesse du servomoteur est réduite depuis une position spécifiée du servomoteur jusqu'à la fermeture totale (voir Figure 1)	T_h	s	
3.2.2	force d'un servomoteur	force nette d'ouverture et/ou de fermeture générée par le servomoteur alimenté en huile à la pression minimale spécifiée NOTE Lorsque la pression d'eau de la conduite forcée est utilisée pour fournir la force de fermeture, il convient que la hauteur de chute pour laquelle le servomoteur est à dimensionner soit définie. Dans le cas de servomoteurs à ressort, c'est la force nette exercée par le servomoteur lorsque le ressort est à sa position de détente maximale	F	N	
3.2.3	travail de réglage du servomoteur	produit de la course maximale du servomoteur et de la force telle que décrite en 3.2.2	$F \times Y_M$	J = N · m	

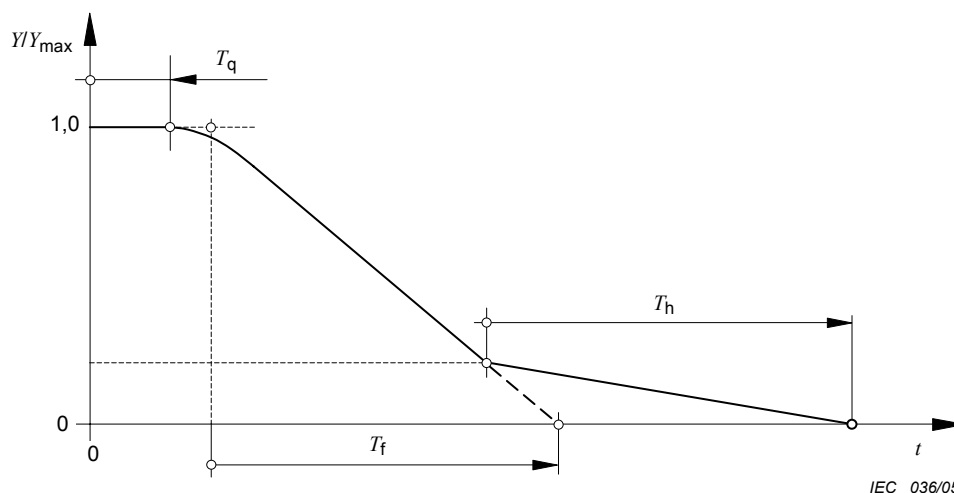


Figure 1 – Temps de fermeture ralentie d'un servomoteur T_h

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

3 Terms and definitions, symbols and units

For the purposes of this document, the following terms and definitions, symbols and units, as well as the terms and definitions, symbols and units given in IEC 61362, apply.

Sub-clause	Term	Definition	Quantity	Unit	Relative quantity
3.1	General definitions				
3.1.1	speed deviation	at a considered instant, the difference between the actual speed of rotation and a reference speed	Δn $\Delta \omega$ Δf	rev/min rad/s Hz	x_n
3.2	Performance under major disturbances				
3.2.1	servomotor cushioning time	elapsed time during which the rate of servomotor travel is retarded beginning at a specified servomotor position to full closed position (see Figure 1)	T_h	s	
3.2.2	servomotor force	net opening and/or closing force generated by the servomotor when supplied with oil at the minimum specified pressure NOTE When penstock water pressure is used to provide the closing force, the head at which the servomotor shall be rated should be stated. For spring operated servomotors it is the net force exerted by the servomotor when the spring is at its maximum extended position	F	N	
3.2.3	servomotor capacity	product of the maximum servomotor stroke and the force as described under 3.2.2	$F \times Y_M$	J = N · m	

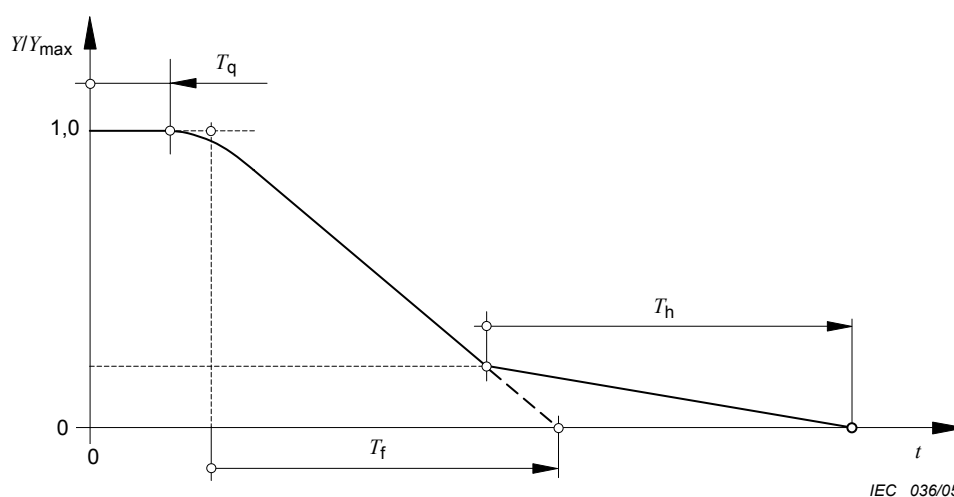


Figure 1 – Servomotor cushioning time T_h

Para- graphe	Terme	Définition	Grandeur	Unité	Grandeur relative
3.3	Termes relatifs au système réglé				
3.3.1	système réglé	système commandé par le système de régulation comprenant la turbine hydraulique, ses adductions hydrauliques d'alimentation et de restitution, l'alternateur avec son régulateur de tension et le réseau électrique auquel il est connecté			
3.3.2	écart de couple	écart de la puissance active divisé par la vitesse angulaire instantanée	ΔM	N·m	m
3.3.3	constante d'accélération caractéristique de l'inertie du groupe	rapport entre le moment cinétique du groupe et le couple garanti	T_a	s	
3.3.4	constante d'accélération caractéristique de l'inertie de la charge	rapport entre le moment cinétique causé par le réseau et le couple garanti du groupe	T_b	s	
3.3.5	coefficient d'autorégulation en couple de la turbine	à une position donnée du servomoteur, pente de la courbe du couple m_t de la turbine, à vitesse et chute constantes, en fonction de la position du servomoteur y (voir Figure 2) $e_y = \frac{d(M_t/M_r)}{dy} = \frac{dm_t}{dy}$			e_y
3.3.6	caractéristique de statisme vitesse/puissance	graphique représentant la vitesse relative comme une fonction de la puissance relative $p = \frac{P}{P_r}$, quand le régulateur est à l'équilibre et le signal de commande constant			

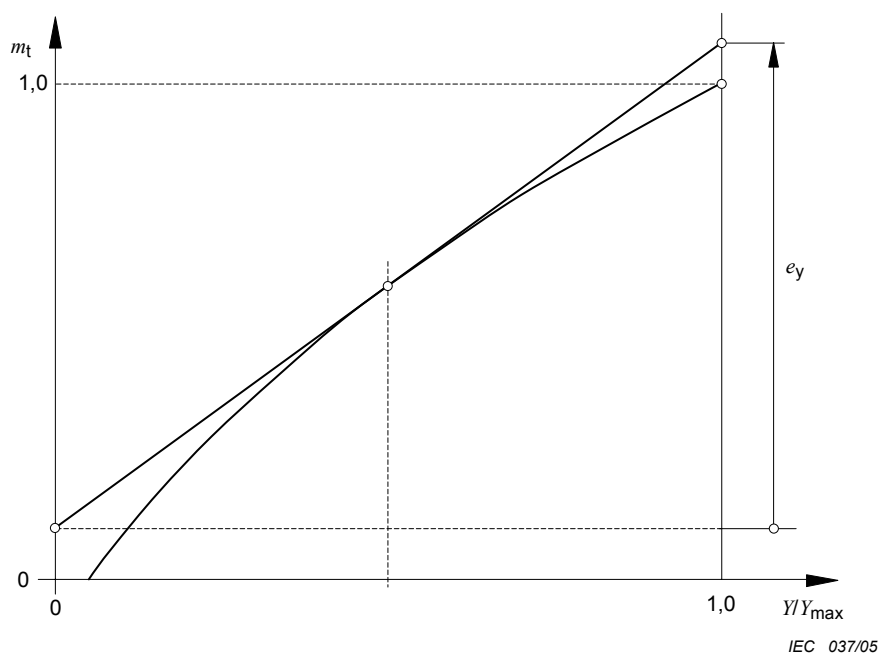


Figure 2 – Coefficient d'autorégulation en couple de la turbine

Sub-clause	Term	Definition	Quantity	Unit	Relative quantity
3.3	Terms relating to the controlled system				
3.3.1	controlled system	system controlled by the governing system consisting of the hydraulic turbine, its water supply and discharge passages, the generator with voltage regulator and the electric power network to which it is connected			
3.3.2	torque deviation	power output deviation divided by instantaneous angular speed	ΔM	N·m	m
3.3.3	unit acceleration constant	ratio of the angular momentum of the unit to the guarantee torque	T_a	s	
3.3.4	load acceleration constant	ratio of the angular momentum, caused by the network referred to the guaranteed torque of the unit	T_b	s	
3.3.5	turbine control transmission ratio	At a considered servomotor position, the slope of the graph relating to the turbine torque m_t at constant speed and head to servomotor movement y (see Figure 2) $e_y = \frac{d(M_t/M_r)}{dy} = \frac{dm_t}{dy}$			e_y
3.3.6	speed regulation graph	graph showing the relative speed as a function of the relative power $p = \frac{P}{P_r}$, when the controller is in equilibrium and the command signal is constant			

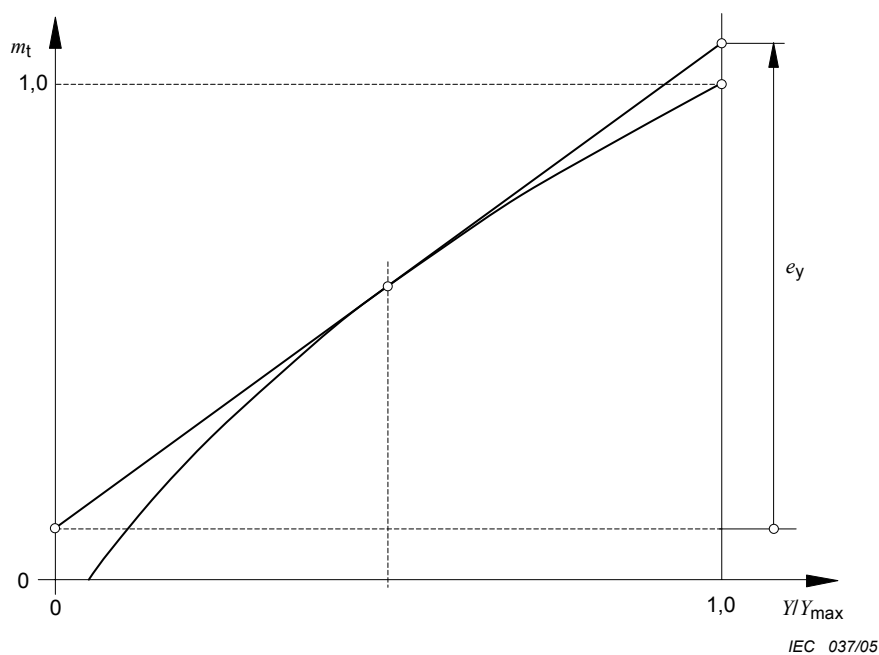
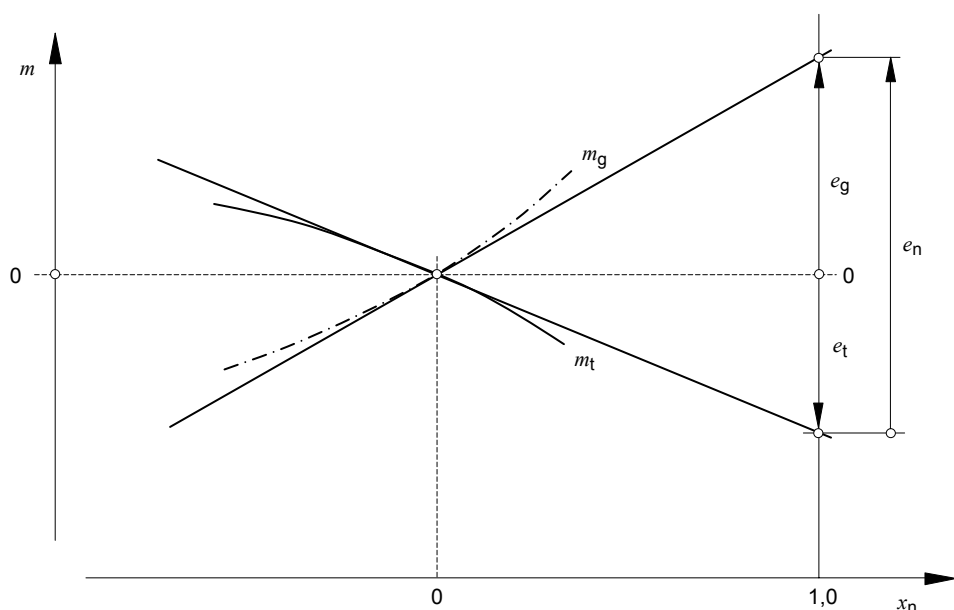


Figure 2 – Turbine control transmission ratio

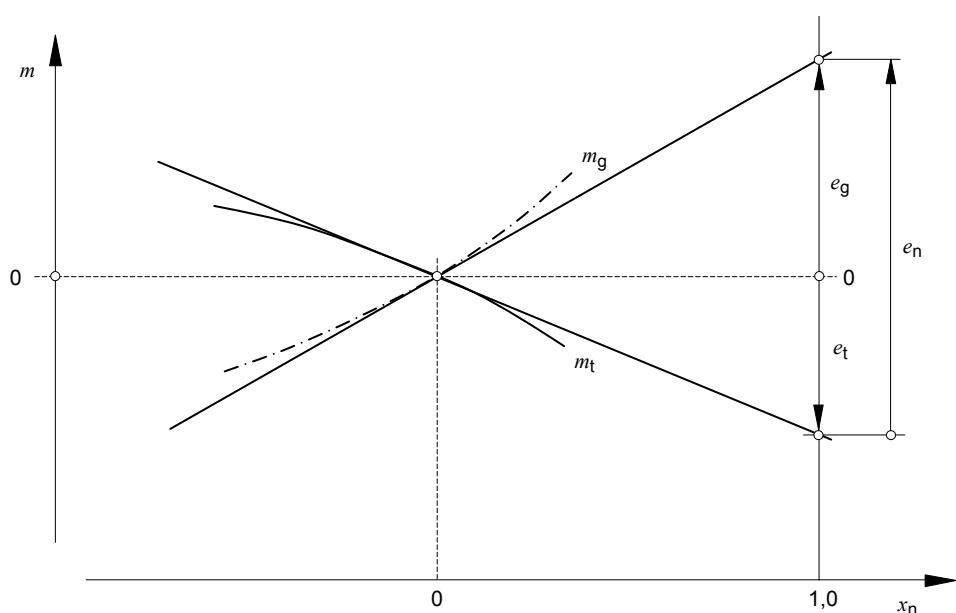
Para- graphe	Terme	Définition	Grandeur	Unité	Grandeur relative
3.3.7	statisme permanent vitesse/puissance	pende de la caractéristique de statisme vitesse/puissance à un point spécifié de fonctionnement $e_p = - \frac{dx_n}{dx_p}$			e_p
3.3.8	coefficient global de statisme permanent vitesse/puissance	différence entre les vitesses relatives lues sur la caractéristique de statisme vitesse/puissance à puissance nulle et à puissance garantie			e_s
3.3.9	coefficient d'auto-réglage du système réglé	à la vitesse considérée, pende de la caractéristique de l'écart de couple par rapport à la vitesse à une position spécifiée du servomoteur et à une condition de charge sur le réseau spécifiée. Il convient que le couple soit rapporté au couple garanti P_r/ω_r , la vitesse rapportée à la vitesse garantie ω_r (voir Figure 3)			e_n
3.3.10	coefficient d'autoréglage de la turbine	composante de e_n due à la turbine $e_t = \frac{dm_t}{dx_n}$ P_r et ω_r ont les mêmes valeurs que celles utilisées pour déterminer e_n (voir Figure 3)			e_t
3.3.11	coefficient d'autoréglage de la charge	composante de e_n due à la charge $e_g = \frac{dm_g}{dx_n} = \frac{\omega_r}{P_r} \times \frac{d(P/\omega)}{dx_n}$ P_r et ω_r ont les mêmes valeurs que celles utilisées pour déterminer e_n (voir Figure 3)			e_g



IEC 038/05

Figure 3 – Coefficient d'autoréglage du système réglé

Sub-clause	Term	Definition	Quantity	Unit	Relative quantity
3.3.7	permanent speed regulation	slope of the speed regulation graph at a specific point of operation $e_p = -\frac{dx_n}{dx_p}$			e_p
3.3.8	maximum power change speed regulation	difference between the relative speeds read from the speed regulation graph at zero power and rated power			e_s
3.3.9	controlled system self-regulation factor	at the speed considered, the slope of the graph relating to the torque deviation to the speed at a specified servomotor position and a specified load condition of the network. The torque should be referred to the rated torque P_r/ω_r and the speed referred to the rated speed ω_r (see Figure 3)			e_n
3.3.10	turbine self-regulation factor	component of e_n due to the turbine $e_t = \frac{dm_t}{dx_n}$ P_r and ω_r are the same values as used to determine e_n (see Figure 3)			e_t
3.3.11	load self-regulation factor	component of e_n due to the load $e_g = \frac{dm_g}{dx_n} = \frac{\omega_r}{P_r} \times \frac{d(P/\omega)}{dx_n}$ P_r and ω_r are the same reference values as used to determine e_n (see Figure 3)			e_g



IEC 038/05

Figure 3 – Controlled system self-regulation factor

Para- graphe	Terme	Définition	Grandeur	Unité	Grandeur relative
3.3.12	coefficient caractéristique de la charge du réseau	coefficient exprimant le rapport de la variation du couple relatif de la charge aux variations de vitesse. La valeur à laquelle les variations de puissance ΔP doivent se référencer est la puissance effective P_1 , absorbée par le réseau. A des fins pratiques, la constante e_b est obtenue de la formule suivante: $e_b = \frac{\Delta P / P_1}{x_n} - 1$			e_b
3.3.13	temps caractéristique de réflexion d'onde de la conduite forcée	temps nécessaire pour que les ondes de pression parcourent 2 fois la longueur de la conduite forcée: $T_r = 2 \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{a_i}$ où a_i est la vitesse de propagation des ondes dans chaque tronçon de la conduite forcée; L_i est la longueur de chaque tronçon de la conduite forcée	T_r	s	
3.3.14	temps caractéristique de l'inertie de l'eau	temps caractéristique ^{a)} , aux conditions garanties, dû à l'inertie de l'eau dans les adductions d'eau, défini par: $T_W = \frac{Q_r}{g H_r} \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{A_i}$ où A_i est la surface de chaque tronçon; L_i est la longueur correspondante; Q_r est le débit garanti; H_r est la chute garantie; g est l'accélération de la pesanteur	T_W	s	
3.3.15	paramètre caractéristique du coup de bélier (constante d'Allievi)	rapport du temps caractéristique de l'inertie de l'eau T_W au temps caractéristique de réflexion de la conduite forcée T_r aux conditions garanties $h_W = \frac{T_W}{T_r}$			h_W
3.3.16	variation maximale momentanée de la vitesse	variation maximale instantanée de la vitesse consécutive à une variation brusque de charge de valeur spécifiée (voir CEI 60041)	$\Delta n_{\max}$ $\Delta \omega_{\max}$ $\Delta f_{\max}$	rev/min rad/s Hz	
3.3.17	variation maximale momentanée de la pression	variation maximale instantanée de la pression consécutive à une variation brusque de charge de valeur spécifiée (voir CEI 60041)	$\Delta H_{\max}$	Pa	

^{a)} Peut être calculé pour différentes conditions.

Sub-clause	Term	Definition	Quantity	Unit	Relative quantity
3.3.12	network load characteristic	coefficient expressing the ratio of relative torque variation of the load to the relative speed variations. The value to which the power variations, ΔP , to be referred is the actual power, P_1 , absorbed by the network. For practical purposes, the constant, e_b , is obtained from the formula: $e_b = \frac{\Delta P / P_1}{x_n} - 1$			e_b
3.3.13	penstock reflection time	time required for the pressure waves to travel 2 lengths of the penstock: $T_r = 2 \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{a_i}$ where a_i is the velocity of wave propagation in each section of the penstock; L_i is the length of each penstock section	T_r	s	
3.3.14	water inertia time	characteristic time at rated ^{a)} condition due to inertia of the water in the water passages defined as: $T_W = \frac{Q_r}{g H_r} \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{A_i}$ where A_i is the area of each section; L_i is the corresponding length; Q_r is the rated discharge; H_r is the rated head; g is the acceleration due to gravity	T_W	s	
3.3.15	water hammer number (Allievi constant)	ratio of water inertia time, T_W , to penstock reflection time, T_r at guaranteed conditions. $h_W = \frac{T_W}{T_r}$			h_W
3.3.16	maximum momentary speed variation	maximum momentary change of speed, when a specified load is suddenly changed (see IEC 60041)	$\Delta n_{\max}$ $\Delta \omega_{\max}$ $\Delta f_{\max}$	rev/min rad/s Hz	
3.3.17	maximum momentary pressure variation	maximum momentary pressure variation, when a specified load is suddenly changed (see IEC 60041)	$\Delta H_{\max}$	Pa	
^{a)} Can be calculated for different conditions.					

4 Fonctions et composants de systèmes de régulation de centrales hydro-électriques

Dans cet article sont listés les fonctions et composants qui peuvent être l'objet d'essais et de vérifications.

NOTE Il est à nouveau fait référence à la CEI 61362 pour les explications et définitions.

4.1 Systèmes de régulation proprement dits

4.1.1 Modes primaires

	Norme	Article
Les modes primaires sont les suivants:		
– régulation de vitesse (fonctionnement à vide et synchronisation, fonctionnement en réseau isolé)	CEI 61362	3.1.1
– régulation de puissance	CEI 61362	3.1.2
– régulation d'ouverture	CEI 61362	3.1.3

4.1.2 Modes secondaires

Les modes secondaires sont les suivants:

– régulation de niveau ou de positionnement (ouverture)	CEI 61362	3.1.3
– régulation de débit	CEI 61362	4.15.4
– commande d'optimisation (régulation de centrale)	CEI 61362	4.9

4.2 Autres systèmes de commande et transitions

Les autres systèmes de commande et transitions sont les suivants:

– contrôle des intumescences (marche en déchargeur)	CEI 61362	4.15.2
– régulation de pression	CEI 61362	4.15.1 et 4.15.3
– démarrage et synchronisation	CEI 61362	4.13.1
– arrêts et décharges	CEI 61362	4.13.2
– transitions entre les différents modes de commande		

4.3 Composants des systèmes de régulation

Les composants des systèmes de régulation sont les suivants:

– convertisseurs électro-hydrauliques et électromécaniques		
– soupapes de régulation		
– servomoteurs		
– systèmes d'alimentation en huile sous pression et équipements de stockage d'énergie (accumulateurs, poids, ressorts)	CEI 61362	4.11
– alimentation en puissance auxiliaire pour les systèmes électriques/électroniques		

4 Functions and components of hydro control systems

In this clause, the functions and components are listed, which may be subjected to tests and verifications.

NOTE Again reference is made to IEC 61362 for explanation and definition.

4.1 Control systems proper

4.1.1 Primary modes

	Standard	Subclause
The primary modes are the following:		
– speed control (no-load and synchronising, isolated operation)	IEC 61362	3.1.1
– power control	IEC 61362	3.1.2
– opening control	IEC 61362	3.1.3

4.1.2 Secondary modes

The secondary modes are the following:

– water level control or positioning (opening) control	IEC 61362	3.1.3
– flow control	IEC 61362	4.15.4
– optimisation control (station control)	IEC 61362	4.9

4.2 Other control systems and transitions

The other control systems and transitions are the following:

– surge control	IEC 61362	4.15.2
– pressure control	IEC 61362	4.15.1 and 4.15.3
– start up and synchronisation	IEC 61362	4.13.1
– shutdowns and load rejections	IEC 61362	4.13.2
– transitions between different control modes		

4.3 Control system components

The control system components are the following:

– electro-hydraulic and electro-mechanical converters		
– control valves		
– servomotors		
– pressure oil supply systems and energy storage mechanisms (accumulators, weights, springs)	IEC 61362	4.11
– auxiliary power supply for electrical/electronic systems		

4.4 Fonctions de sécurité, 4.14 de la CEI 61362

Les fonctions de sécurité sont les suivantes:

- arrêt de sécurité
- protection de survitesse
- verrouillages
- détection de rampage

4.5 Protection vis-à-vis de l'environnement, 4.16 de la CEI 61362

Pour les systèmes de régulation, les aspects suivants sont à prendre en compte:

- vibrations
- conditions climatiques

4.6 Compatibilité électromagnétique (CEM)

Pour les systèmes de régulation, les aspects suivants sont à prendre en compte:

- compatibilité électromagnétique CEI 61362 4.17
- sources d'interférence électrique

5 Stipulations contractuelles

5.1 Garanties et essais de réception

Dans le processus de vérification des garanties établies selon la CEI 61362, pour les nouveaux systèmes de régulation tant pour les centrales neuves que pour les centrales existantes, il est recommandé de:

- déterminer les caractéristiques du système réglé;
- déterminer l'étendue des essais des régulateurs pour vérifier les garanties, ainsi que l'étendue de la documentation (voir 5.2);
- stipuler les mesures à prendre en cas d'insuccès vis-à-vis de la satisfaction des garanties.

Dans le processus de vérification de l'état effectif d'un régulateur existant, seules seront effectuées les mesures permettant l'évaluation des propriétés de base les plus importantes, par exemple le fonctionnement en réseau isolé.

Un chef d'essai est à nommer pour être responsable de la procédure d'essai, de l'enregistrement et de la documentation des résultats. L'étendue et le format de la documentation doivent être définis préalablement d'un commun accord.

5.2 Documentation

Pour chaque essai, les informations suivantes doivent être documentées:

- paramètres de l'instrumentation;
- liste des grandeurs mesurées;
- valeurs limites;
- conditions d'essai;
- procédure d'essai;
- résultats d'essai.

4.4 Safety functions, 4.14 of IEC 61362

The safety functions are the following:

- safety shutdown
- overspeed protection
- interlocks
- creep detection

4.5 Environmental protection, 4.16 of IEC 61362

For control systems, the following aspects are relevant:

- vibrations
- climatic conditions

4.6 Electromagnetic compatibility (EMC)

For control systems, the following aspects are relevant:

- electromagnetic compatibility IEC 61362 4.17
- electrical interference sources

5 Contractual stipulations

5.1 Guarantees and acceptance tests

In the process of verifying guarantees set up according to IEC 61362, the following is recommended in case of new control systems for new plants as well as for existing power plants:

- establish the characteristics of the controlled system;
- establish scope of control system tests to verify guarantees and scope of documentation (see 5.2);
- stipulate measures to be taken in the event of failure to comply with guarantees.

In the process of verifying the actual state of an existing control system, only measurements which allow the assessment of the most important basic properties, for example isolated network operation will be performed.

A test manager is to be made responsible for the test procedure, the recording and documentation of results. The extent and the format of the documentation are to be agreed upon beforehand.

5.2 Documentation

For every test, the following shall be documented:

- instrument parameters;
- list of measured variables;
- limit values;
- test conditions;
- test procedure;
- test results.

Le soin apporté à la documentation est particulièrement important si certains essais doivent être répétés à intervalles de temps donnés (par exemple pour les autorités, les compagnies d'assurance, les redémarrages après révision, etc.). Des précautions doivent être prises pour éviter les risques liés à l'environnement.

Les valeurs mesurées peuvent être enregistrées et traitées, soit

- en utilisant des instruments d'enregistrement adaptés avec évaluation manuelle ultérieure, soit
- en ligne à l'aide d'un ordinateur raccordé directement avec résultats imprimés faisant partie intégrante de la documentation.

Dans le cas des mises en service, il convient qu'un rapport final démontre que

- le groupe fonctionne conformément à la spécification;
- les exigences de sécurité sont satisfaites;
- les garanties spécifiques contractuelles sont respectées.

6 Essais du système de régulation

6.1 Généralités

Afin de garder la période de mise en service aussi courte que possible, il est recommandé que la plus grande partie possible des essais contractuels requis soit effectuée dans les ateliers du fabricant (essais en usine). Il convient que les essais sur site soient limités à faire la preuve des caractéristiques

- qui sont indispensables à la sécurité, et
- qui ne peuvent être pratiquées sans le groupe générateur et le système d'alimentation en pression.

Dans les paragraphes qui suivent, certains aspects de base sont résumés.

6.2 Recommandations sur les essais en usine

Il convient que l'étendue des essais, la meilleure organisation et l'étendue de la documentation soient stipulées dans le contrat en accord avec les spécifications. De ce fait, des essais de type, incluant les essais type CEM avec certificats doivent être considérés. Il doit être stipulé qui assiste aux essais.

Pour les essais en usine, il n'est pas nécessaire d'installer tous les composants sur une boucle complète, mais on pourra plutôt tester séparément les sous-systèmes suivants (qui peuvent être de la responsabilité de fournisseurs différents):

- le coffret régulateur avec ses borniers;
- les servo-positionneurs, les soupapes de régulation avec un servomoteur d'essai si nécessaire;
- les systèmes d'alimentation en huile sous pression.

Dans ce cas, les signaux aux interfaces entre les équipements testés séparément doivent être clairement définis et mesurables.

Il est approprié de prévoir la simulation de circuits simples pour tester les sous-systèmes et/ou d'employer un simulateur de l'installation – si disponible – pour tester le processus de régulation complet afin de déterminer la performance globale.

L'essai individuel de composants et/ou sous-systèmes peut ne pas être nécessaire dans le cas où le système complet est monté.

Careful documentation is particularly important if certain tests are to be repeated at given time intervals (for example for authorities, insurance companies, restarts after revision, etc.). Care has to be taken in order to avoid environmental hazards.

The measured values can be recorded and processed either:

- by using suitable recording instruments with subsequent manual evaluation, or
- on line by a directly connected computer with the printouts forming an integral part of the documentation.

In the case of initial start-ups, a final report should demonstrate that

- the unit is operating according to specification;
- the safety requirements are fulfilled;
- the specific contractual guarantees are fulfilled.

6 Control system tests

6.1 General

In order to keep the commissioning period as short as possible, it is recommended that the largest part possible of the required contractual tests be carried out in the manufacturer's works (workshop tests). The on site tests should be limited to the demonstration of such characteristics, which:

- are indispensable for the safety, and
- which cannot be carried out without the generating unit and the pressure supply system.

In the following subclauses, some basic aspects are summarised.

6.2 Recommendations on workshop tests

The scope of the tests, the best set up and the extent of the documentation should be stipulated in the contract in accordance with requirements. Thereby type tests, including EMC type tests with certificates shall be considered. It should be stipulated, who will witness the tests.

For workshop tests, it is not necessary to set up all components in a complete loop, the following subsystems (which may be different makers' responsibility) can rather be tested separately:

- cabinet with plug-in units for control;
- servo-positioners, control valves with a test servomotor if necessary;
- oil pressure supply systems.

In this case, signals at interfaces between separately tested equipment shall be clearly defined and measurable.

It is appropriate to arrange for the simulation of simple circuits to test subsystems and/or to employ a plant simulator if available to test the complete control process for overall performance.

Individual testing of components and/or subsystems may not be needed in case the complete system is assembled.

6.3 Recommandations sur les essais sur site

6.3.1 Régulateurs neufs

Pour les systèmes de régulation, les mesures et dispositions suivantes s'appliquent.

- Il convient que les dispositifs de sécurité, d'affichage, d'alarme et d'arrêt soient vérifiés préalablement à la conduite des essais sur site des systèmes de régulation.
- La mise en service du groupe générateur complet doit être effectuée, y compris les essais de décharge conformément à la CEI 60041:1991, et les essais des systèmes de régulation doivent être coordonnés avec la mise en service de la turbine et des équipements associés. Se reporter à la CEI 60545.

Pour les essais du système de régulation proprement dit:

- Le mode opératoire approprié à vérifier est fixé, tel que marche à vide, fonctionnement en réseau isolé, régulation de fréquence-puissance ou régulation de niveau; puis des signaux d'essai définis sont superposés et les variations résultantes des grandeurs spécifiées sont observées/enregistrées dans toute la gamme de fonctionnement; grâce à cela, les réglages du régulateur peuvent être optimisés au cours de l'essai. Les résultats de tels essais peuvent être utilisés comme valeurs de base de comparaison pour les résultats des essais de maintenance qui seront réalisés au cours de la durée de vie de l'équipement.
- L'insensibilité du régulateur peut être vérifiée; cet essai n'est nécessaire que lorsque la centrale hydroélectrique participe à la régulation primaire de la fréquence du réseau, en particulier pour les centrales de puissance de pointe, également dans les centrales avec une exigence particulière de haute précision de régulation (pour les insensibilités recommandées, voir 4.3.2 de CEI 61362; les incertitudes de mesure admissibles sont données à l'Article 7).
- Les paramètres du régulateur peuvent être déterminés. Si le comportement garanti n'est pas atteint pour une raison à identifier, alors d'autres facteurs influençant le comportement du système de régulation doivent être examinés. Parmi ces facteurs, on peut citer: les inerties, les caractéristiques de l'alternateur et de la charge, l'influence des efforts mis en oeuvre par le régulateur sur les temps de manoeuvre. Dans certains cas, la détermination des paramètres du régulateur et la fonction de transfert de la turbine peuvent être utilisées pour fournir des modèles de la centrale hydroélectrique, afin de réaliser des études analytiques sur le comportement dynamique du système électrique.
- Pour les turbines-pompes, il peut être nécessaire de déterminer, dans le détail, leurs caractéristiques en turbine afin de fournir une base pour une stratégie fiable de régulation.

6.3.2 Régulateurs existants

6.3.2.1 Implication des imperfections des régulateurs

Les imperfections dans les régulateurs existants peuvent avoir les effets suivants:

- temps d'ajustement des variables réglées trop longs;
- temps de synchronisation trop longs, amortissement excessif;
- dérive de points de fonctionnement;
- modifications des vitesses de manoeuvre;
- oscillations anormales (à vide et/ou en fonctionnement en réseau isolé, etc.);
- insensibilités excessives et/ou effets d'hystérésis;
- fuites excessives (période de pompage, température d'huile, etc.).

6.3 Recommendations on field tests

6.3.1 New control systems

For control systems, the following measures and steps apply.

- Safety devices, displays, alarms and trip settings should be verified prior to conducting field tests of control systems.
- Commissioning of the complete generating unit has to be performed including load rejection tests as per IEC 60041:1991 and the testing of control systems shall be co-ordinated with the commissioning of Hydro generating equipment. Refer to IEC 60545.

For the actual control system tests:

- The relevant mode to be checked is set, such as no-load, isolated network operation, frequency-power control or level control; subsequently defined test signals are superimposed and resulting changes for the specified values through the entire operating range are observed/recorded, whereby control settings can be optimised during the process. The results of such tests can be used as baseline values in order to be compared with the results of maintenance tests which are carried out during the life of the equipment.
- The insensitivity of the controller can be checked; this test is only needed when the power station will be participating in primary regulation of network frequency, especially in peak load power stations, also in power stations with a distinct requirement for high control accuracy (for recommended insensitivities, see 4.3.2 of IEC 61362, acceptable measuring uncertainties are given in Clause 7).
- Controller parameters can be determined. If the guaranteed behaviour is not achieved and the reason for this has to be identified, then other functions influencing the control system behaviour shall be examined. These functions may include: masses, generator-load characteristics and the influence of regulator forces on actuating times. In certain cases, the determination of the controller parameters and of the turbine transfer function may be used to provide models of the power plant, in order to carry out analytical studies of the dynamic behaviour of the power system.
- The turbine characteristics of pump turbines may need to be determined in detail in order to provide a basis for a reliable control strategy.

6.3.2 Existing control systems

6.3.2.1 Indication of control deficiencies

Deficiencies in existing control systems may have the following effects:

- long settling times of the controlled variable;
- long synchronisation times, excessive damping;
- drifting operating points;
- changes in actuator speeds;
- unusual oscillations (in no-load and/or isolated operation, etc.);
- excessive insensitivities and/or hysteresis effects;
- excessive leakages (pumping period, oil temperature, etc.).

6.3.2.2 Identification des imperfections

Les contrôles suivants peuvent être faits:

- mesure de l'insensibilité;
- enregistrement des réponses à des échelons/fonctions de transfert (réponses à des échelons unitaires) en appliquant des signaux définis à l'entrée (signal de commande, grandeur réglée, fréquence, etc.);
- caractérisation en pression des servomoteurs;
- vérification de la relation de conjugaison pales/distributeur de turbines Kaplan;
- vérification de la relation de conjugaison déflecteur/aiguilles de turbines Pelton;
- identification de possibles résonances;
- mesures pour vérifier les paramètres de la centrale;
- vérification de la sécurité d'ensemble des conduits hydrauliques et de la tuyauterie.

6.3.2.3 Décision entre le remplacement ou la réparation de régulateurs existants

Les vérifications mentionnées ci-dessus donneront dans presque tous les cas une information sur les raisons pour lesquelles les imperfections se produisent, permettant de décider des mesures à prendre telles que par exemple:

- vérification du fonctionnement fiable des équipements existants pour conservation;
- révision de composants individuels;
- remplacement des composants ou des régulateurs complets;
- modifications dans la configuration;
- risques et conséquences de fuites d'huile.

Outre les points mentionnés ci-dessus, les faits suivants peuvent également influencer la décision de remplacer ou de réparer des éléments ou des systèmes existants:

- l'évaluation des coûts de fonctionnement;
- l'évaluation des coûts de réparation;
- le potentiel d'amélioration du fonctionnement et du rendement induit par le remplacement face à la réparation;
- les exigences de sécurité générale ou autres exigences des autorités.

6.4 Vérifications électriques

6.4.1 Généralités

Tandis que les composants électriques du régulateur mécanique de turbine comprennent des soupapes de régulation, des servomoteurs, des pompes et pendules (régulateurs à boules), le régulateur électronique réalise déjà toutes les fonctions de régulation, y compris la commande pilote.

Les systèmes électroniques sont sensibles aux interférences électromagnétiques. Pour cette raison, il doit être porté une attention particulière aux points suivants:

- qualité de l'alimentation en énergie électrique;
- protection contre les surtensions;
- dispositions de filtrage et de blindage;
- insensibilité des composants vis-à-vis des interférences.

6.3.2.2 Identification of deficiencies

The following checks can be made:

- measurement of the insensitivity;
- recording of step responses/transient functions (unit step responses) by applying defined signals at the input (command signal, controlled variable, frequency, etc.);
- indexing the servomotors;
- checking the runner/guide vane relationship in Kaplan turbines;
- checking the deflector/nozzle relationship in Pelton turbines;
- identifying possible resonances (draft tube, generator etc.);
- measurements to check the plant parameters;
- checking of the overall safety of the hydraulic conduit and the pipe-installation.

6.3.2.3 Deciding whether to replace or to repair existing control systems

The above-mentioned checks will in almost all cases give information on the reasons why the deficiencies occur, allowing to decide on the measures to be taken, such as for instance:

- verification of the reliable operation of existing equipment for retention;
- overhauling of individual components;
- replacement of components or of complete control systems;
- changes in the configuration;
- risks and consequences of oil leakage.

Besides the above-mentioned points, the following facts may also influence the decision to replace or repair existing elements or systems:

- the assessment of operating costs;
- the assessment of repair costs;
- the operating and efficiency improvement potential of replacement versus repair;
- general safety and any demands required by authorities.

6.4 Electrical checks

6.4.1 General

Whereas the electrical components of the mechanical turbine controller include control valves, servomotors, pump and pendulum (ballhead) drives, the electronic controller already carries out all control functions including pilot control.

Electronic systems are sensitive to electrical-magnetic interference. Therefore, the following shall be given special attention:

- quality of the power supply;
- overvoltage protection;
- filter and shielding measures;
- immunity of the components to interference.

Si certaines mesures de sécurité de base sont prises et si les règles de conception sont suivies, les essais peuvent se concentrer sur la vérification du fonctionnement proprement dit des régulateurs. Les contrôles électriques sont onéreux et nécessitent du personnel qualifié ainsi qu'un équipement d'essai spécial (par exemple, pour la mesure de surtensions transitoires, des oscilloscopes à mémoire avec une fréquence de coupure supérieure à 100 MHz sont requis). Les contrôles électriques sont généralement réalisés sous forme d'essais de type. Pour les spécifications d'essais de compatibilité électromagnétique (CEM), se reporter à la CEI 61000-4-2, la CEI 61000-4-3 et la CEI 61000-4-6.

6.4.2 Sélection du centre d'essai

Pour réaliser les vérifications fonctionnelles sur site, il convient de choisir un espace situé centralement, calme (salle de commande) où tous les signaux importants du processus sont disponibles.

Dans le cas où le régulateur n'est pas situé à proximité du groupe, il convient que des dispositions pour un fonctionnement d'urgence local soient prises.

6.4.3 Alimentation électrique

Il convient que la vérification de l'alimentation de puissance avec voltmètre et ampèremètre, oscilloscope et enregistreur de transitoires soit normalement réalisée en usine et est généralement limitée

- aux limites de tolérance et facteur d'ondulation;
- aux entrées en courant;
- aux essais de changements brusques de tension d'alimentation et d'application d'une source de tension redondante à stockage temporaire d'énergie après défaut d'alimentation et comportement sur refermeture (pour des petits systèmes simples, ces essais peuvent être réduits);
- à la surveillance des défauts.

6.4.4 Protection contre les surtensions et suppression des tensions parasites d'interférence

Les points suivants peuvent être vérifiés:

- la certification de l'équipement électronique concernant la compatibilité électromagnétique;
- l'isolation électrique de l'unité d'alimentation électrique pour les ensembles électroniques retirables;
- la séparation des contacts des signaux logiques et analogiques pendant le transport à la livraison et/ou le changement;
- la protection des câbles de connexion aux équipements périphériques;
- la séparation physique des câbles de signaux des câbles de puissance;
- la mise à la terre des parties métalliques inactives;
- la protection des équipements périphériques contre les surtensions par des éléments protecteurs;
- le câblage des éléments inductifs (bobines de relais, soupapes à solénoïde) avec des éléments d'extinction (diode de roue libre, circuit RC, etc.).

Les connexions à la terre doivent être testées à l'aide d'ohmmètres. En cas d'interférences, une mesure doit être effectuée aux extrémités des câbles de signaux avec un oscilloscope.

If certain basic safety measures are taken and guidelines adhered to, testing can concentrate on checking the control systems for proper functioning. Electrical checking is expensive and requires qualified personnel as well as special testing equipment (for example for measuring transient overvoltages, storage oscilloscopes with an upper cut-off frequency of 100 MHz are required). Electrical checking is usually performed in the form of type tests. For specifications of the electromagnetic compatibility (EMC) tests refer to IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-3 and IEC 61000-4-6.

6.4.2 Selection of test center

To carry out the functional checks on site, a centrally located, quiet place (control room) should be selected where all important signals of the process are available.

If the controller is not located near the generating unit, provision for local emergency operation should be made.

6.4.3 Power supply

The check of the power supply with volt- and amperemeter, oscilloscope or transient recorder should normally be carried out in the workshop and is generally limited to

- tolerance limits and ripple factor;
- current input;
- test of switch-over of the supply voltage and set-in of a redundant voltage of stored energy time after power failure and re-closing behaviour (for small and simple systems, these tests can be reduced);
- failure monitoring.

6.4.4 Overvoltage protection and suppression of interference voltage

The following may be checked:

- certification of the electronic equipment with respect to EMC;
- the electric isolation of the power supply unit for withdrawable electronic parts;
- the contact separation of the binary and analogue signals during take-over and/or transfer;
- shielding of the cables to the peripheral devices;
- the physical separation of the signal cables from power lines;
- earthing of inactive metal parts;
- protection of the peripheral devices against overvoltages by protective elements;
- wiring of inductive devices (relay coils, solenoid valves) with extinguishing elements (free-wheeling diode, RC combination, etc.).

Ground connections are to be tested with ohmmeters. In the event of interferences, a measurement is to be carried out at the ends of the signal cables with an oscilloscope.

6.4.5 Essai du système d'interface avec le processus

Les signaux électriques relatifs à la position de l'actionneur, à la vitesse, à la puissance, au débit, aux hauteurs de chute (amont et aval), doivent être vérifiés vis-à-vis:

- de la caractéristique en circuit ouvert et de l'hystérésis (position de l'actionneur);
- de la dérive du zéro et de la sensibilité à la température;
- des interférences;
- du filtrage (puissance, débit, niveau de l'eau);
- de l'acquisition des valeurs limites;
- de la surveillance des défauts, si disponible.

6.5 Essais des convertisseurs, amplificateurs et actionneurs

6.5.1 Convertisseurs électro-hydrauliques et électromécaniques

6.5.1.1 Généralités

Les convertisseurs dont il est question ici sont les éléments de raccordement entre la partie électronique et la partie hydromécanique du système de régulation. Il ont une grande importance pour le fonctionnement d'ensemble de ce système. Pour cette raison, leur sensibilité, leur précision (incluant la stabilité en température), ainsi que leur comportement dynamique doivent être supérieurs aux propriétés correspondantes des étages aval d'amplification.

6.5.1.2 Convertisseurs électro-hydrauliques

(Exemples: servovalves, soupapes proportionnelles.)

La caractéristique la plus importante à établir est le débit d'huile en fonction du signal de commande et de la chute de pression.

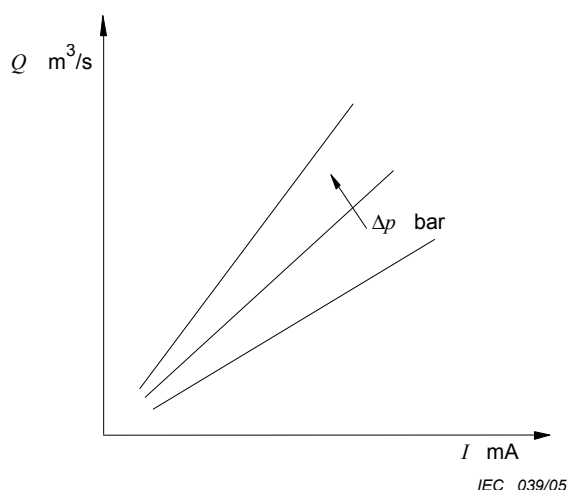


Figure 4 – Débit d'huile Q en fonction de l'entrée de courant I et de la chute de pression Δp

Il convient que les courbes de la Figure 4 soient relevées pour différents écarts de pression et, en outre, il convient de noter la température et le type d'huile (degré de viscosité). Le débit peut être mesuré au moyen d'un réservoir ou en utilisant un servomoteur d'essai.

D'autres mesures peuvent être effectuées pour vérifier le temps mort et les caractéristiques dynamiques.

6.4.5 Test of the process interface system

The electrical signals for actuator position, speed, power, flow, head (up-stream and tail race) shall be checked for:

- open circuit characteristic and hysteresis (actuator position);
- zero drift and temperature sensitivity;
- interference;
- filtering (power, flow, water level);
- limit value acquisition;
- fault monitoring, if available.

6.5 Test of converters, amplifiers and actuators

6.5.1 Electrohydraulic and electromechanical converters

6.5.1.1 General

The converters dealt with here are the connecting element between the electronic and the hydro-mechanical part of the control system. They are of great importance for the overall behaviour of the control system. Therefore, sensitivity, precision (including temperature stability) and also the dynamic behaviour shall exceed the corresponding properties of the subsequent amplifier stages.

6.5.1.2 Electro hydraulic converters

(Examples: servo-valves, proportional valves.)

The most important characteristic is to establish the oil flow rate as a function of the command signal and of the pressure drop.

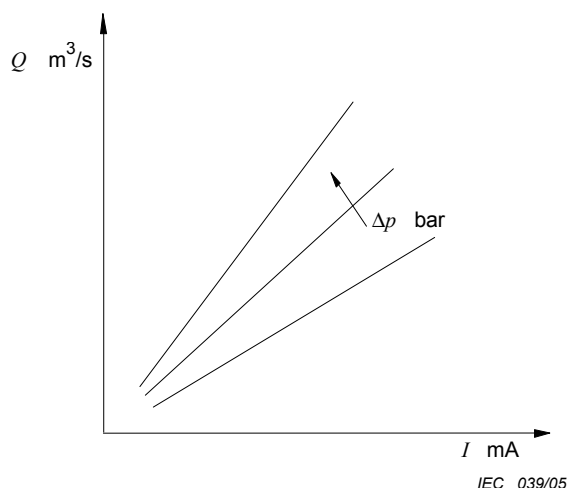


Figure 4 – Oil flow Q function of input current I and pressure drop Δp

The curves of Figure 4 should be measured with various pressure differences and, in addition, oil temperature and type of oil (viscosity grade) should be noted. The flow can be measured by tank measurement or by using a test servomotor.

Further measurements may be taken to verify the dead time and the dynamic characteristics.

NOTE 1 Les servovalves et/ou les soupapes proportionnelles multi-étages ont souvent une boucle de réglage de position supplémentaire pour le second étage, et par la suite ne peuvent être essayées qu'avec le dispositif électronique correspondant.

NOTE 2 Si un arrêt d'urgence et une sécurité intégrée (par exemple arrêt en cas de défaut d'alimentation électrique) sont disponibles, il convient que leur fonction soit aussi essayée.

NOTE 3 En général, pour atteindre la performance spécifiée, un signal vibratoire (effet «dither») est appliqué, qu'il faut également essayer.

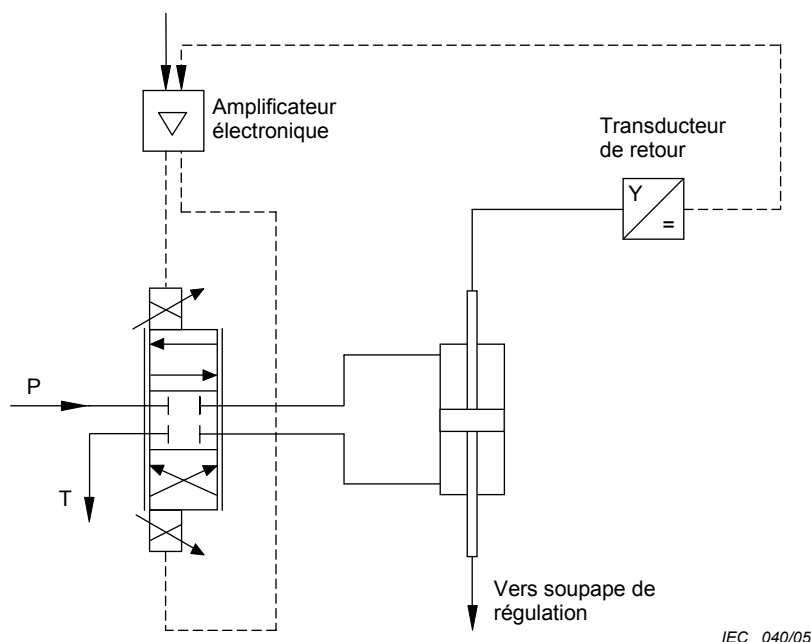
6.5.1.3 Convertisseurs électromécaniques

En principe, ces convertisseurs sont entraînés par un moteur électrique (tournant ou linéaire). Pour les turbines hydrauliques commandées par de tels actionneurs électriques, ils sont composés d'un moteur électrique, d'une boîte d'engrenages et d'un mécanisme de fonctionnement. Ces convertisseurs sont, par exemple, utilisés pour manoeuvrer directement les organes réglants (aubes directrices, pales de roue, injecteur, déflecteur) ou pour entraîner les systèmes avec soupapes de régulation.

Ce type de servomécanisme ne dépend pas du système d'huile sous pression. Il est, en général, adapté pour les petites turbines hydrauliques, conçues pour résister à un fonctionnement prolongé à vitesse d'emballement dans le cas d'une panne totale d'alimentation électrique. Une protection adaptée de retour en mode de sécurité doit être prévue pour réduire la décharge de la turbine à un niveau acceptable. Quelques exemples de cette protection sont

- la fermeture des aubes directrices par une tendance à l'auto-fermeture;
- la fermeture de la vanne d'admission, avec les aubes directrices ouvertes;
- un contrepoids ou ressort.

Pour procéder à des essais, la mesure du courant d'entrée et des temps de manoeuvre est habituellement suffisante.



IEC 040/05

Figure 5 – Convertisseur électro-hydraulique pour régulateur de classe élevée

NOTE 1 Multi-stage servo- and/or proportional valves often have an additional position controller for the second stage and can therefore only be tested as a system including the corresponding electronic device.

NOTE 2 If an emergency trip and failsafe (for example shutdown in the event of power failure) are available, their function should also be tested.

NOTE 3 Generally, to achieve the specified performance, a vibration (dither) signal is applied, which must also be checked.

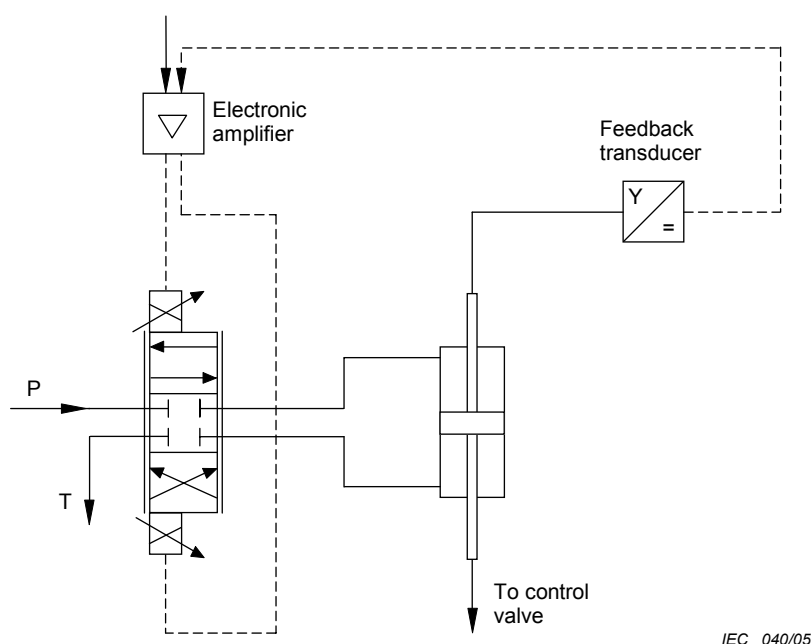
6.5.1.3 Electromechanical converters

In principle, these converters are electro-motor driven (rotating or linear). For hydro turbines controlled by such electric actuators, they consist of electric motor, gearbox and operating mechanism. These converters are, for instance, used for the direct actuation of the regulating elements (guide vanes, runner blades, nozzle, deflector) or to drive control valve systems.

This type of actuator does not depend on the oil pressure system. It is generally suitable for small hydro turbines, designed to withstand sustained runaway operation, in the event of the total failure of electric supply. Suitable back-up protection shall be provided, to reduce the turbine discharge to an acceptable level. Some examples of the protection are

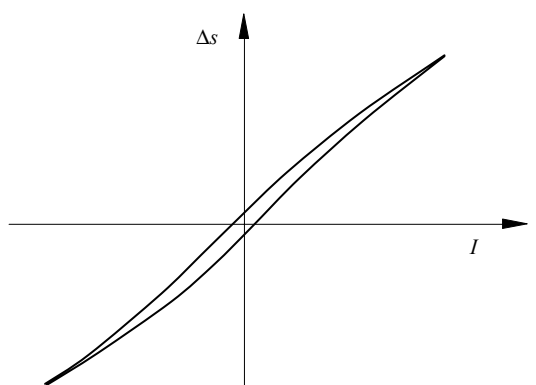
- closing of guide vanes by self-closing characteristics;
- closing of inlet valve, with guide vanes open;
- counter weight or spring.

For testing purposes, measurement of current input and actuating times is usually sufficient.



IEC 040/05

Figure 5 – Electro hydraulic converter for high grade control system



IEC 041/05

Figure 6 – Variation de la course Δs en sortie d'un convertisseur en fonction du courant d'entrée I

Il est de plus possible de vérifier

- le temps mort;
- les efforts de manœuvre en fonction de la pression d'huile;
- les caractéristiques dynamiques.

Pendant ces essais, le signal vibratoire (dither) correspondant, il convient d'enregistrer les fuites d'huile, la température et la viscosité de l'huile.

6.5.1.4 Convertisseurs électromécaniques/hydrauliques à 2 étages

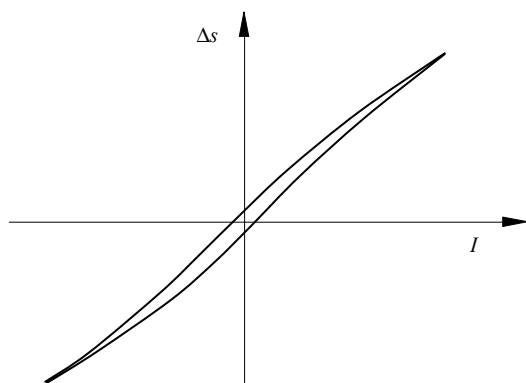
Dans certains systèmes de régulation, les convertisseurs électromécaniques/électro-hydrauliques peuvent être composés d'un convertisseur électro-hydraulique (voir 6.5.1.2), d'un petit servomoteur pilote et d'un capteur de retour de position (voir Figure 5); ensuite, le servomoteur pilote actionnera la soupape (distributrice) principale. Pour des mesures, il n'est pas nécessaire de considérer d'aspects supplémentaires.

Si ces convertisseurs sont conçus comme un dispositif compact (par exemple conception avec bobine de commande de tiroir) avec amplification hydraulique intégrée, la corrélation entre la course en sortie et le courant d'entrée doit être établie ou prouvée en essai de type, ce qui permet de voir également l'hystérésis, voir la Figure 6.

Il est de plus possible de vérifier

- le temps mort;
- les efforts de manœuvre en fonction de la pression d'huile;
- les caractéristiques dynamiques.

Pendant ces contrôles, le signal vibratoire (dither) correspondant, il convient d'enregistrer les fuites d'huile, la température et la viscosité de l'huile.



IEC 041/05

Figure 6 – Output stroke Δs of a converter versus input current I

It is furthermore possible to check

- the dead time;
- the actuating forces as a function of the oil pressure;
- the dynamic characteristics.

During these checks, the corresponding vibration (dither) signal, oil losses, oil temperature and oil viscosity should be recorded.

6.5.1.4 Two stage electromechanical/hydraulic control

In some control systems, electro mechanical/hydraulic converters can be composed of an electro hydraulic converter (see 6.5.1.2), a small pilot servomotor and a position feedback, (see Figure 5), the pilot servomotor will then actuate the main control (distributing) valve. For measurement, no additional aspects have to be considered.

If these converters are designed as a compact device (for example as a plunger coil design) with integrated hydraulic amplification, the correlation between output stroke and input current shall be established or shall be proven by type test from which the hysteresis can also be seen, see Figure 6,

It is furthermore possible to check

- the dead time;
- the actuating forces as a function of oil pressure;
- the dynamic characteristics.

During these checks, the corresponding vibration (dither) signal, oil losses, oil temperature and oil viscosity should be recorded.

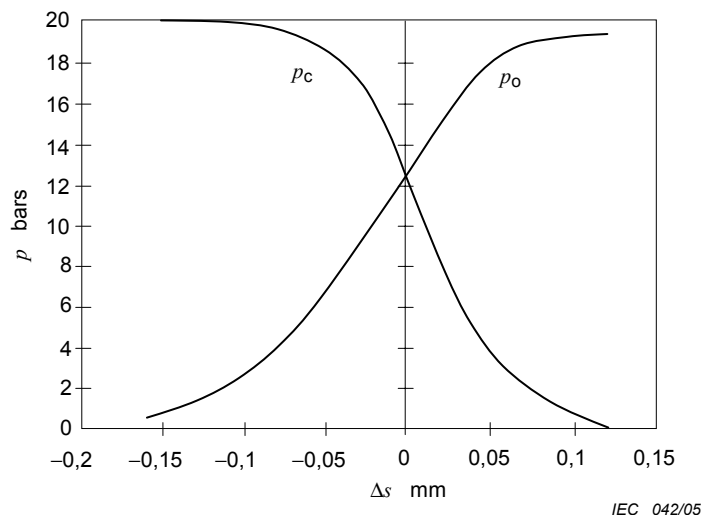
6.5.2 Amplificateurs hydrauliques

Les amplificateurs hydrauliques sont constitués de la soupape de distribution principale, du servomoteur et du retour d'asservissement.

6.5.2.1 Soupapes de régulation

Pour les essais en usine, il est recommandé de raccorder la soupape de distribution principale au servomoteur. Si le servomoteur n'est pas disponible, un servomoteur d'essai peut le remplacer.

En plus des essais des temps limites de manœuvre, de frottement et d'étanchéité, il convient d'établir les caractéristiques de la soupape de distribution principale. Cela passe par un enregistrement en fonction de la course du tiroir de la soupape, de la courbe de gain de pression (élévation de la pression dans les tuyauteries de commande avec le débit vers le servomoteur bloqué) et de la courbe de débit (vitesse de manœuvre du servomoteur), voir la Figure 7.



IEC 042/05

Figure 7a) – Courbes de pression p dans les tuyaux fermés en fonction du déplacement Δs du tiroir de la soupape (exemple type)

6.5.2 Hydraulic amplifiers

Hydraulic amplifiers consist of the main distributing valve, servomotor and feedback.

6.5.2.1 Control valves

For workshop checks, it is recommended to connect the main distributing valve with the servomotor. If the servomotor is not available, a test servomotor can be used in its place.

In addition to testing the shortest actuating times, the friction, and the tightness, the characteristics of the main distributing valve should be established. They are recorded as a function of the valve spool stroke and consist of the pressure gain curve (pressure build-up in the control lines with the flow to the servomotor blocked) and the flow curve (actuating speed of the servomotor), see Figure 7.

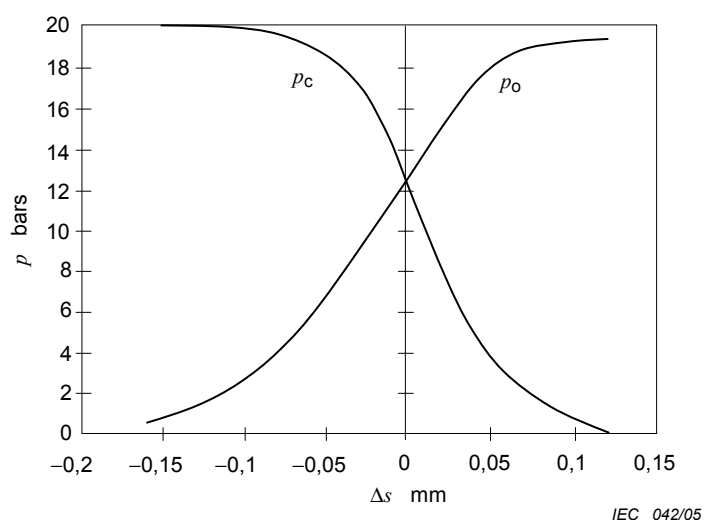


Figure 7a) Pressure p curves in closed pipes versus displacement Δs of the valve spool (typical)

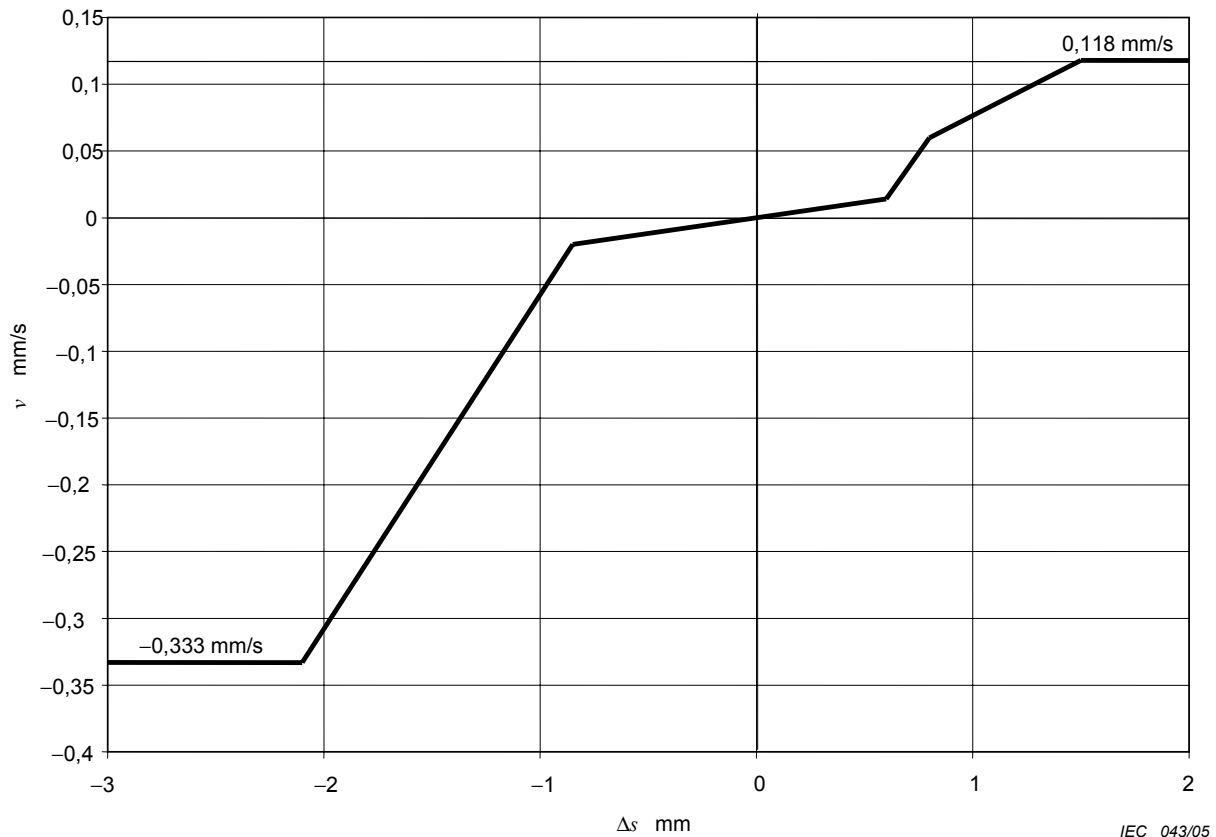


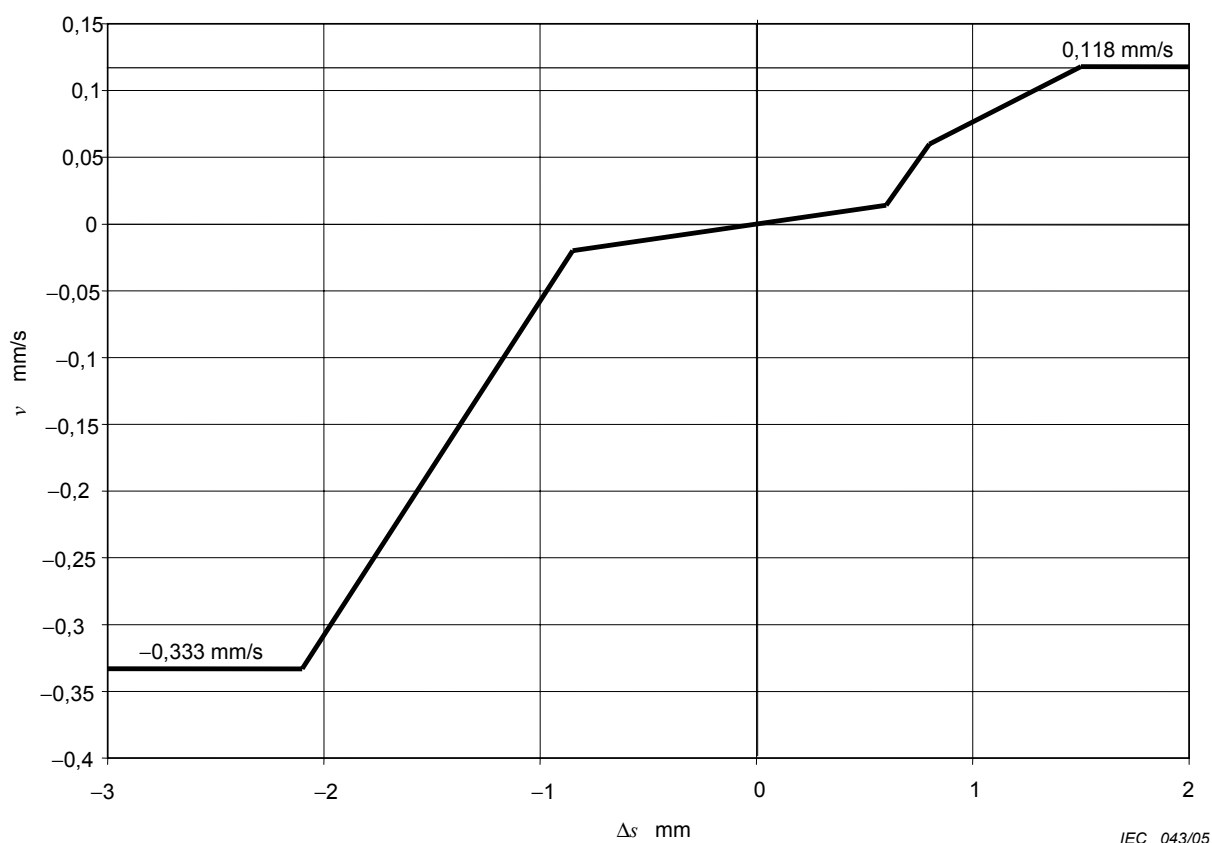
Figure 7b) – Vitesse du servomoteur en fonction du déplacement Δs du tiroir de la soupape (exemple type)

Figure 7 – Courbes caractéristiques des soupapes de régulation

Ces mesures sont particulièrement importantes pour les soupapes munies d'encoches de préouverture sur les arêtes de réglage. Le déplacement nécessaire pour produire la force d'actionnement requise du servomoteur peut être déduit de la courbe de pression qui n'est affectée que par le recouvrement interne. La courbe de débit montre la taille du recouvrement dans les encoches individuelles. Les largeurs d'encoches sont déterminées sur la base des constantes de temps choisies. Pour les vérifications, celles-ci peuvent être recalculées à partir de la pente des courbes caractéristiques. Les constantes de temps sont des paramètres importants pour la stabilité et la performance dynamique (dépassement et temps de réponse de positionnement), tandis que les recouvrements sont responsables de l'insensibilité du système de régulation et/ou de la précision du positionnement.

Dans certaines turbines Kaplan, la lubrification et la réfrigération de l'alimentation en huile de la roue a lieu via la soupape de commande des pales. Lorsque l'on vérifie la soupape, on doit s'assurer que la lubrification est suffisante dans la position centrale d'équilibre du piston.

Si l'étage d'amplification hydraulique de l'installation doit être vérifié plus en détail, ici aussi, les caractéristiques de l'amplificateur peuvent être enregistrées comme illustré sur la Figure 7. Le comportement de la montée de pression de la Figure 7a) est déterminé pour les positions de fin de course du servomoteur. La Figure 7b) montre le comportement de la vitesse du servomoteur comme une fonction du déplacement de la soupape. Cependant, cette mesure ne peut être faite qu'en isolant la bêche spirale ou le distributeur du système d'adduction d'eau. Le tiroir de la soupape de régulation peut être en recouvrement, sans recouvrement (centrage critique) ou en découverture.



IEC 043/05

Figure 7b) –Servomotor speed versus displacement Δs of the valve spool (typical)

Figure 7 – Performance curves of control valves

These measurements are especially important for valves provided with pre-opening notches on the control edges. From the pressure curve which is only affected by the internal overlap, the displacement necessary to produce the required actuating force of the servomotor can be derived. The flow curve shows the size of the overlap in the individual notches. The widths of the notches are determined on the basis of the chosen time constants. For checking, these can be re-calculated from the inclination of the characteristic curves. The time constants are of importance for the stability and the dynamic performance (overshoot and settling time when positioning), whereas the overlaps are responsible for the control system insensitivity and/or positioning accuracy.

In some Kaplan turbines, the lubrication and cooling of the runner oil supply takes place via the runner control valve. When checking the valve, it has to be made sure that there is sufficient lubrication in the steady state center position of the piston.

If the hydraulic amplifier stage of the plant is to be checked in more detail, here too, the amplifier characteristics may be recorded as shown in Figure 7. The behaviour of the pressure build-up in Figure 7a) is determined in the servomotor end positions. Figure 7b) shows the speed behaviour as a function of the valve displacement. However, this measurement can only be made with spiral casing or distributor isolated from water conductor system. The control valve spool may be overlapped, zero-lapped (critical centered) or underlapped.

6.5.2.2 Servomoteurs

Généralement, le servomoteur est testé avec la soupape de distribution principale. Cependant, il peut aussi être testé sans soupape de régulation avec une pressurisation séparée. La mesure des efforts de frottement, par exemple via une mesure de pression en marche à vide (indexation) est importante.

6.5.2.3 Lois d'ouverture et de fermeture des servomoteurs

Dans de nombreux cas, les mouvements d'ouverture et de fermeture des servomoteurs ne sont pas continus mais se produisent avec 2 niveaux de vitesse ou plus.

Pour des raisons de sécurité, les temps de manœuvre et les lois de manœuvre sont pré-testés à la pression d'huile maximale de la centrale durant les essais à sec de l'installation, avant le remplissage des adductions.

A la mise en service, la centrale doit en tout cas faire l'objet de nouveaux essais et, si nécessaire, de réglages, de façon à être sûr d'éviter des variations de pression inacceptables.

Les temps de manœuvre relativement longs peuvent être déterminés avec un chronomètre alors qu'il est recommandé d'enregistrer les temps de manœuvre courts et les lois de manœuvre.

6.5.2.4 Temps mort, insensibilité

Pour la mesure du temps mort, la soupape de régulation et/ou le tiroir de la soupape de régulation ou le tiroir pilote est déplacé brutalement dans les 2 directions à partir de la position centrale. Le temps entre le déplacement et le début du mouvement du servomoteur est enregistré. Il est recommandé d'effectuer cette mesure en liaison avec la mesure du temps mort du système de régulation complet.

La mesure de l'insensibilité du système de régulation revêt un intérêt particulier pour les groupes qui sont utilisés pour la régulation primaire. Les différentes possibilités sont décrites en 6.6.3.3.

L'insensibilité de l'étage d'amplification est déterminée par le recouvrement de la soupape, les efforts de frottement du servomoteur et plus généralement du mécanisme de positionnement; pour vaincre ceux-ci, une différence de pression correspondante est requise pour un déplacement de la soupape donné (voir Figure 7a). Les fuites d'huile ont également une influence considérable.

6.5.2.5 Fuites d'huile

Il est difficile de mesurer séparément les fuites d'huile de la soupape de régulation et du servomoteur. Les fuites du servomoteur aux positions de fin de course peuvent être mesurées approximativement de la façon suivante: le tiroir de la soupape de commande est déplacé vers la position d'ouverture ou de fermeture maximale, le servomoteur se trouvant en fin de course. Le débit d'huile issu de la soupape de régulation provient alors principalement des fuites du servomoteur, parce que la soupape elle-même n'a pratiquement pas de fuite dans cette position puisque ses mouvements en fonctionnement normal se font seulement autour de la position centrale et que la plupart de l'usure se fait à proximité des arêtes de réglage.

6.5.2.2 Servomotors

Generally, the servomotor is tested together with the main distributing valve. However, it can also be tested without a control valve with separate pressurisation. The measurement of the friction forces, for example via a pressure measurement during no-load (indexing) is important.

6.5.2.3 Servomotor opening and closing laws

In many cases, the closing and opening movements of the servomotors are not continuous but take place in 2 or more speed steps.

For safety reasons, the actuating times and actuating laws are pre-checked at maximum supply oil pressure of the plant prior to filling waterways during dry testing.

Upon commissioning, the plant shall in any case be retested and adjusted, if necessary, in order to be sure that unacceptable pressure variations are avoided.

Relatively long actuating times can be determined with the stopwatch whilst it is recommended to record short actuating times and actuating laws.

6.5.2.4 Dead time, insensitivity

For dead time measurement, the control valve and/or the control valve spool or the pilot spool is displaced abruptly into both directions from the center position. The time between displacement and the beginning of the servomotor movement is recorded. It is recommended that this measurement be carried out in connection with a dead time measurement of the complete control system.

Measurement of the control systems insensitivity is of particular interest for units which are used for primary control. The various possibilities are described in 6.6.3.3.

The insensitivity of the amplifier stage is determined by the valve overlap, the servomotor friction and frictional forces of positioning mechanism; to overcome these, a corresponding pressure difference and the corresponding valve displacement (see Figure 7a) are required. Oil leakages also have a considerable influence.

6.5.2.5 Oil leakage

It is difficult to measure the oil leakage from the control valve and from the servomotor separately. The servomotor losses in the end positions can be measured approximately as follows: the control valve spool is displaced into the maximum opening or closing position while the servomotor is in the end position. The oil discharged from the control valve then mainly originates from the servomotor leakage, because the displaced valve itself has hardly any oil losses in this position since its movements in normal operation are around center position only and most of the abrasion occurs near the control edges.

6.5.3 Fourniture de l'énergie de manœuvre

6.5.3.1 Systèmes sans accumulateur

a) Disponibilité de l'énergie de manœuvre

Les caractéristiques requises du système pour obtenir l'énergie de manœuvre totale sont décrites en 4.11.2 de la CEI 61362.

b) Débit

La meilleure façon de vérifier le débit est de mesurer les durées d'ouverture et de fermeture sélectionnées.

6.5.3.2 Systèmes avec accumulateur

6.5.3.2.1 Disponibilité de l'énergie de manœuvre

L'énergie de manœuvre totale disponible peut être mesurée sur la base des spécifications selon 4.11.1 de la CEI 61362.

6.5.3.2.2 Fuites

Quand on utilise une pompe à débit fixe, il convient d'utiliser la mesure de la période de mise en charge ou en décharge de la pompe en régime stable comme un moyen de mesure de l'évolution des fuites.

Quand on utilise une pompe à débit variable et pression réglée, par exemple une pompe à piston axial ou radial, l'augmentation de la consommation de puissance électrique du moteur en marche à vide peut être utilisée comme un moyen de mesure de l'évolution des fuites.

6.5.3.2.3 Règles pour les mesures sur les accumulateurs sous pression

En général, le volume d'huile effectif disponible dans la plage des pressions spécifiées est mesuré comme suit:

Il convient que le contrôle soit effectué à la température de service, c'est-à-dire entre 30 °C et 40 °C. Il convient que la pression du gaz soit réglée selon la température du gaz laquelle dépend en grande partie de la température ambiante, de telle sorte que la pompe à déplacement fixe soit sans pression ou arrêtée au niveau spécifié par le dimensionnement.

Avec des accumulateurs à piston, le frottement du piston qui se produit lorsque l'huile sous pression est déchargée ne doit provoquer qu'une baisse de pression telle que spécifiée par le fabricant des joints à faible frottement.

Le contrôle doit être effectué avec un débit d'huile correspondant aux conditions de service. L'huile sous pression peut être vidangée par une vanne de vidange.

6.5.3.3 Filtration (voir ISO 4406)

Pour un fonctionnement fiable et sûr des systèmes de commande hydrauliques, il est nécessaire de contrôler ce qui suit:

- que le volume d'huile total est bien épuré par des filtres hors ligne ou en ligne, comme spécifié par le fournisseur des équipements;
- que les convertisseurs électro-hydrauliques (servovalves, soupapes proportionnelles) sont protégés par des filtres en ligne directement avant leur point d'alimentation, comme spécifié par le fournisseur des équipements.

6.5.3 Provision of actuating energy

6.5.3.1 Systems without accumulator

a) Availability of actuating energy

The characteristics of the system required for achieving the amount of the actuating energy are described in IEC 61362, 4.11.2.

b) Flow

The flow is best checked by measuring the selected opening and closing times.

6.5.3.2 Systems with accumulator

6.5.3.2.1 Availability of actuating energy

The amount of actuating energy available can be measured on the basis of the specifications as per IEC 61362, 4.11.1.

6.5.3.2.2 Leakage

When using a fixed displacement pump, the shutoff or unloading period should be considered during steady state operation, as a measure for increased losses.

When using a pressure-controlled adjustable pump, for example an axial or radial piston pump, the increase in no-load electric power consumption of the motor can be taken as a measure for increased losses.

6.5.3.2.3 Rules for measurements on pressure accumulators

Generally, the available effective oil volume within the specified pressure range is measured as follows:

The check should be carried out at operating temperature, i.e. at 30 °C to 40 °C. The gas pressure should be adjusted according to the gas temperature which mainly depends on the ambient temperature, in such a way that the fixed displacement pump is pressureless or switched off at the level specified by the design.

With piston accumulators, the piston friction which occurs when pressure oil is discharged, shall only cause a pressure drop as specified by the manufacturer of low friction sealing.

The check shall be carried out at an oil flow corresponding to the operating conditions. Pressure oil may be drained via a drain valve.

6.5.3.3 Filtering (see ISO 4406)

For a reliable and safe operation from oil hydraulic control systems, it is necessary to check that:

- the total oil volume is very well cleaned with off line or in-line filters, as specified by the equipment supplier;
- the electro hydraulic converters (servo valves, proportional valves) are protected by in-line filters directly in front of their supply port as specified by the equipment supplier.

6.6 Essais sur site des caractéristiques du régulateur

Les différentes conceptions techniques et tâches fonctionnelles des centrales hydro-électriques doivent être prises en compte sans limiter pour cela la liberté de choix concernant les procédures d'essai.

6.6.1 Principales fonctions du régulateur

Dans les paragraphes suivants, il est donné quelques informations complémentaires à la CEI 61362, qui ne sont pas en rapport direct avec les essais.

6.6.1.1 Régulation d'ouverture (mode primaire)

La régulation d'ouverture sert à positionner le servomoteur, soit en tant que commande de suivi aval pour les fonctions de régulation principales (par exemple régulation de vitesse), soit en tant que mode de fonctionnement en régulation sur le réseau.

L'équipement de régulation est composé des éléments suivants: régulateur d'ouverture, convertisseur électro-hydraulique et servomoteur.

- Signaux d'entrée: valeur de consigne d'ouverture, si nécessaire dépendant de la vitesse avec le statisme permanent, valeur effective de l'ouverture.
- Signal de sortie: position du servomoteur.
- Valeurs limites:
 - rampe d'ouverture du servomoteur;
 - rampe de fermeture du servomoteur;
 - limiteur d'ouverture.

Par conception spéciale de la commande de la turbine, on peut avoir la présence de servomoteurs individuels sur les aubes directrices et de commandes électro-hydrauliques avec synchronisation, afin de maintenir toutes les aubes directrices dans la même position. La synchronisation est réalisée à l'aide de tringleries mécaniques ou de façon électronique suivant le système adopté.

6.6.1.2 Régulation de vitesse (mode primaire)

L'équipement de régulation est composé:

- a) soit des éléments: régulateur de vitesse, convertisseur, amplificateur hydraulique,
- b) soit d'une combinaison série d'un régulateur de vitesse et d'un régulateur d'ouverture
 - Signaux d'entrée:
 - valeur de consigne de vitesse;
 - valeur effective de la vitesse;
 - si nécessaire, paramètres auxiliaires et/ou de perturbation (par exemple pression de la bêche spirale, niveau d'eau, hauteur de chute, puissance, position du servomoteur).
 - Signal de sortie: position du servomoteur.
 - Valeurs limites: variations de vitesse admissibles en cas de délestage; variations des ondes d'intumescence ou aspiration et de pression en cas de prise de charge, de baisse de charge et de délestages; variations maximales de fréquence en fonctionnement en réseau isolé pour des variations de charge définies.