

**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*

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

3 Termes et définitions, symboles et unités

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions, symboles et unités suivants, ainsi que les termes et définitions, symboles et unités données dans la CEI 61362 s'appliquent.

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	

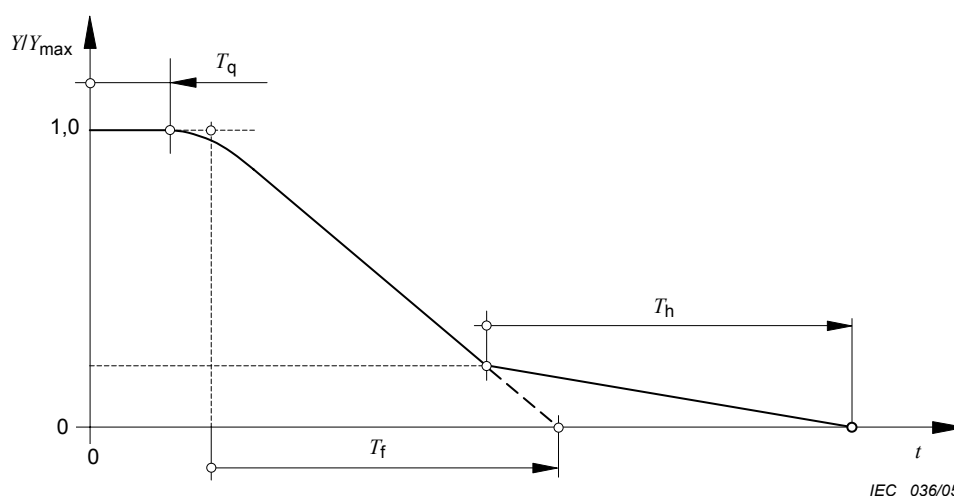


Figure 1 – Temps de fermeture ralentie d'un servomoteur T_h

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	

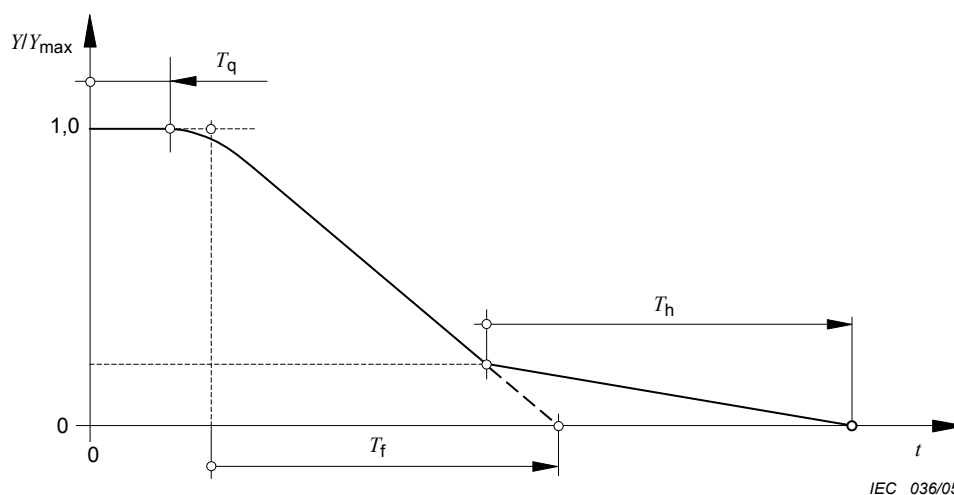
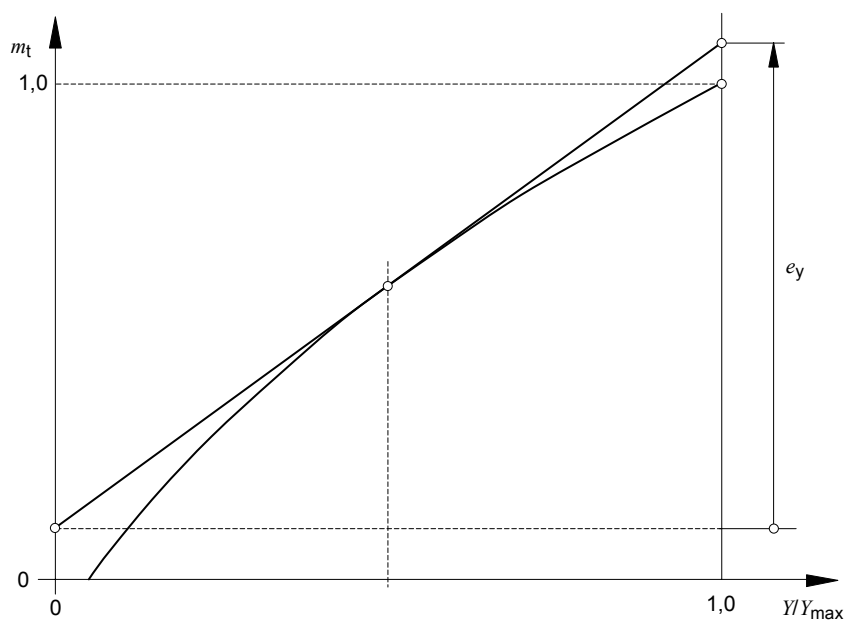


Figure 1 – Servomotor cushioning time T_h

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			



IEC 037/05

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			

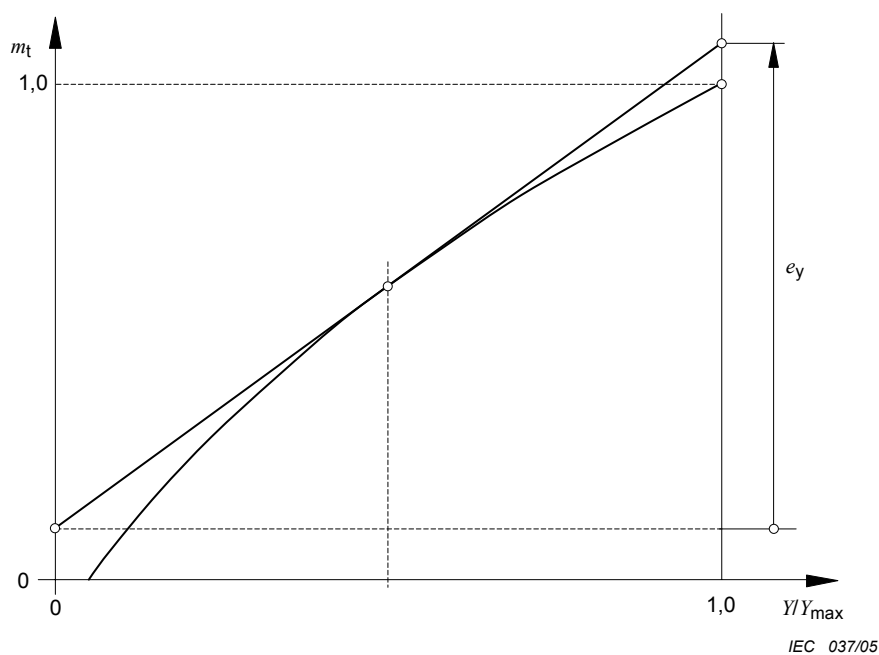
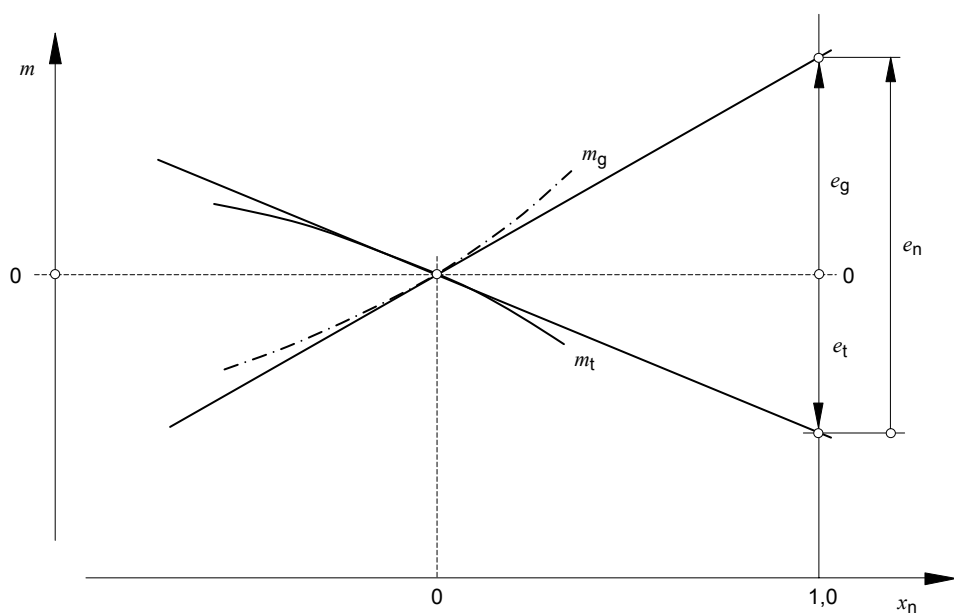


Figure 2 – Turbine control transmission ratio

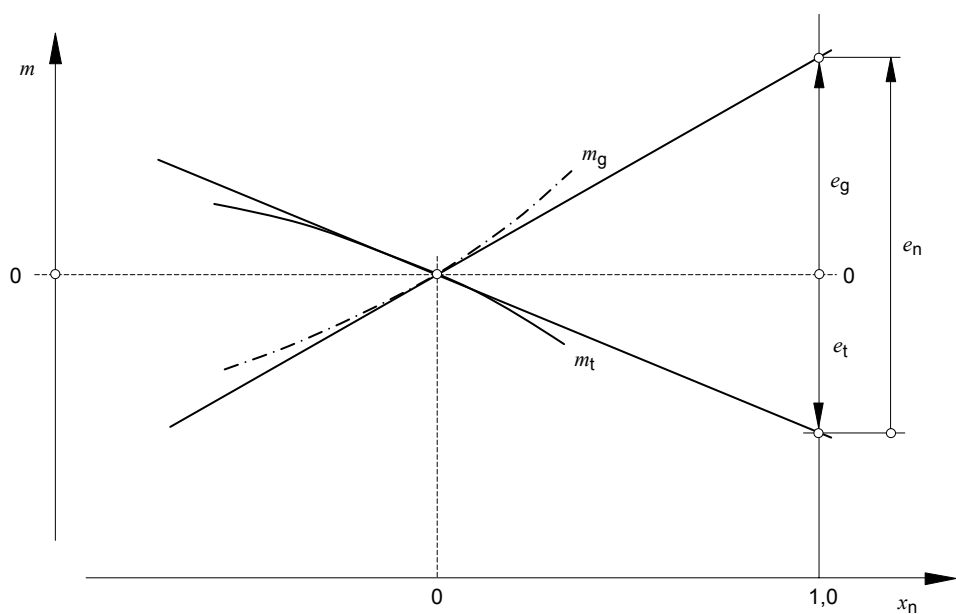
Para- graphe	Terme	Définition	Grandeur	Unité	Grandeur relative
3.3.7	statisme permanent vitesse/puissance	pende de la caractéristique de statisme vitesse/puissance à un point spécifié de fonctionnement $e_p = - \frac{dx_n}{dx_p}$			e_p
3.3.8	coefficient global de statisme permanent vitesse/puissance	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.

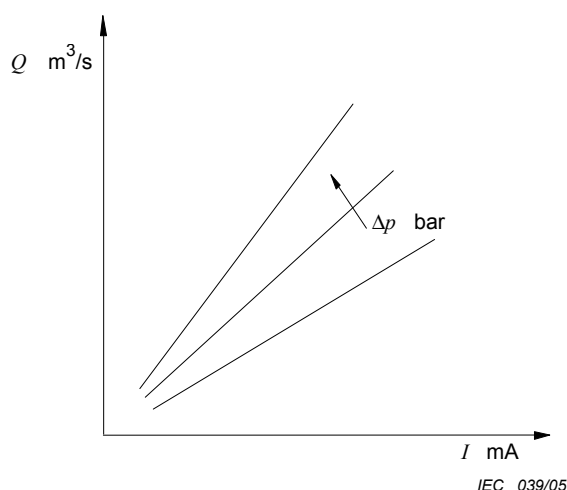


Figure 4 – Débit d'huile Q en fonction de l'entrée de courant I et de la chute de pression Δp

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.

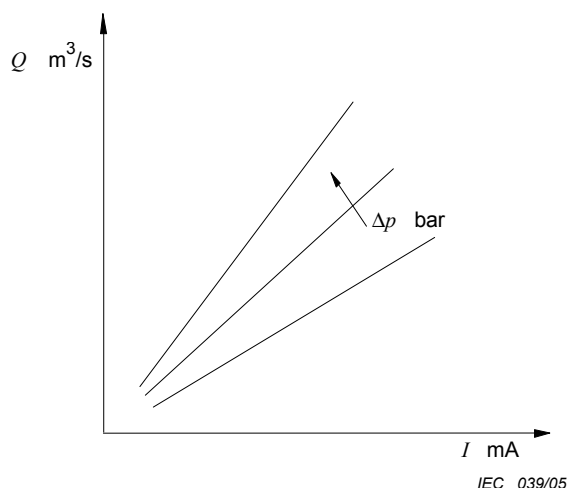


Figure 4 – Oil flow Q function of input current I and pressure drop Δp

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 manœuvrer 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.

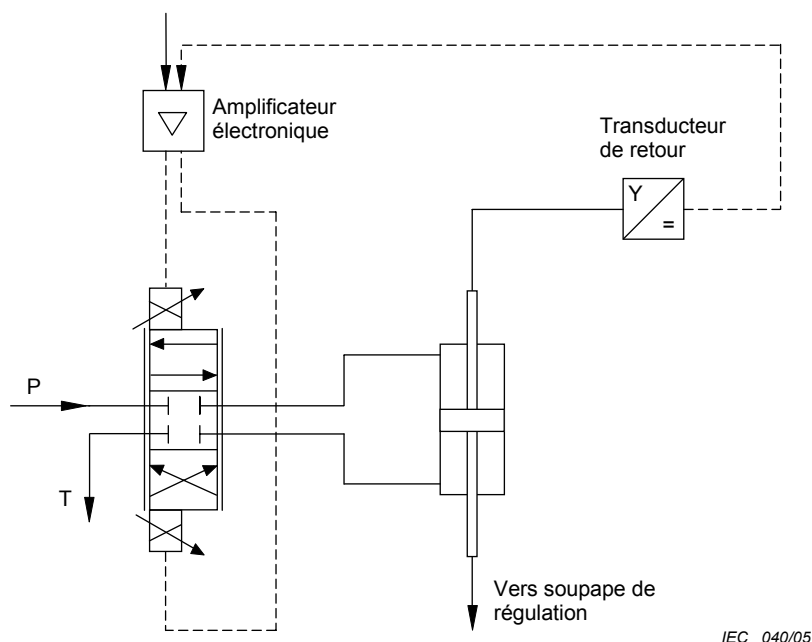


Figure 5 – Convertisseur électro-hydraulique pour régulateur de classe élevée

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.

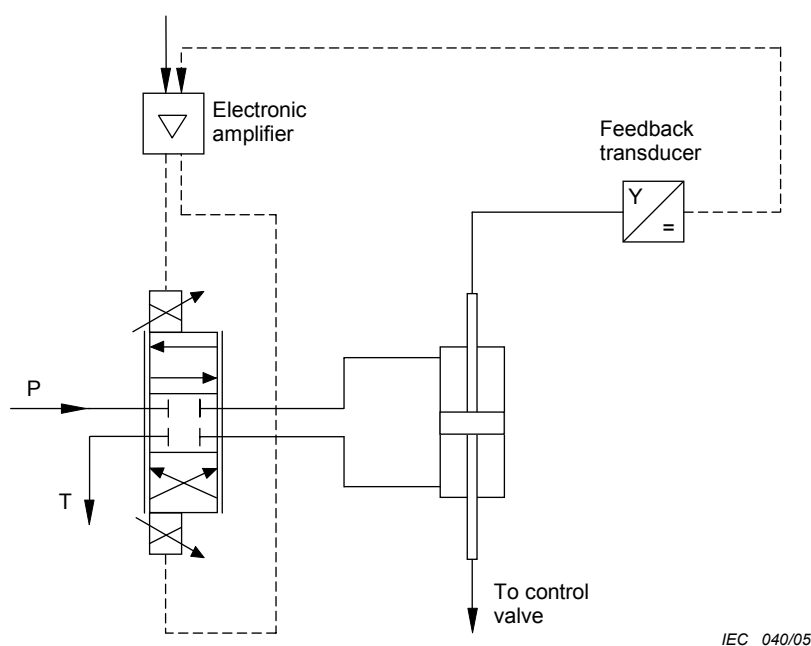
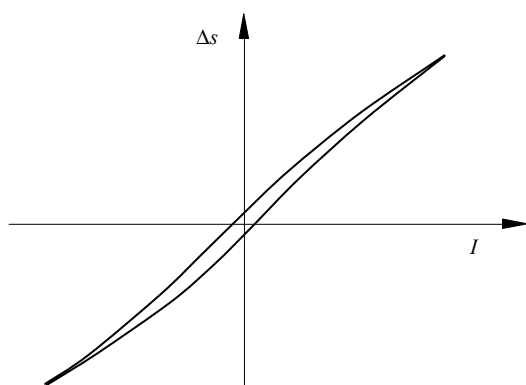


Figure 5 – Electro hydraulic converter for high grade control system



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

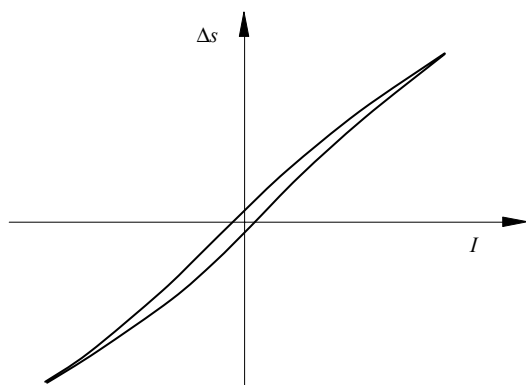
Dans certains systèmes de régulation, les convertisseurs électromécaniques/électro-hydrauliques peuvent être composés d'un convertisseur électro-hydraulique (voir 6.5.1.2), d'un petit servomoteur pilote et d'un capteur de retour de position (voir Figure 5); ensuite, le servomoteur pilote actionnera la 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.

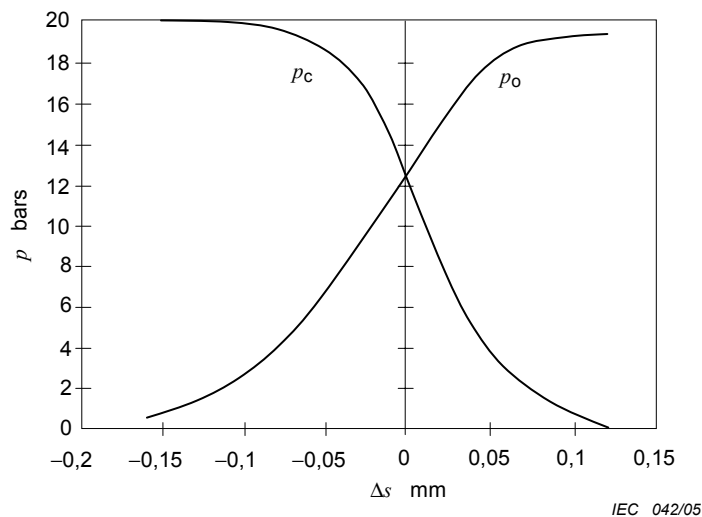


Figure 7a) – Courbes de pression p dans les tuyaux fermés en fonction du déplacement Δs du tiroir de la soupape (exemple type)

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.

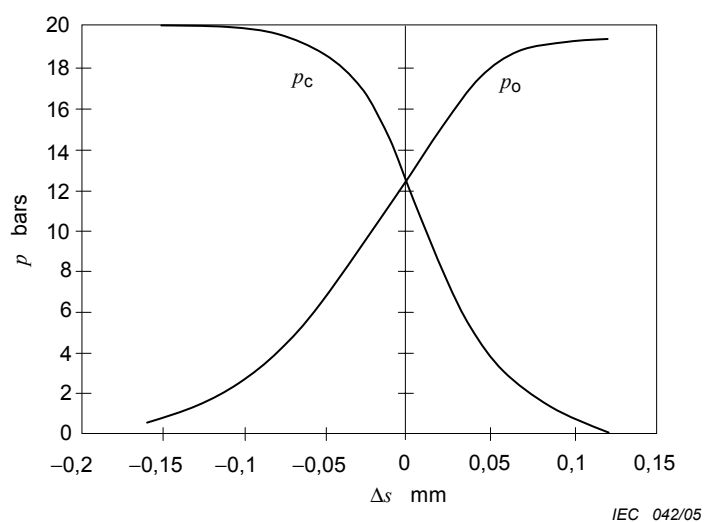


Figure 7a) Pressure p curves in closed pipes versus displacement Δs of the valve spool (typical)

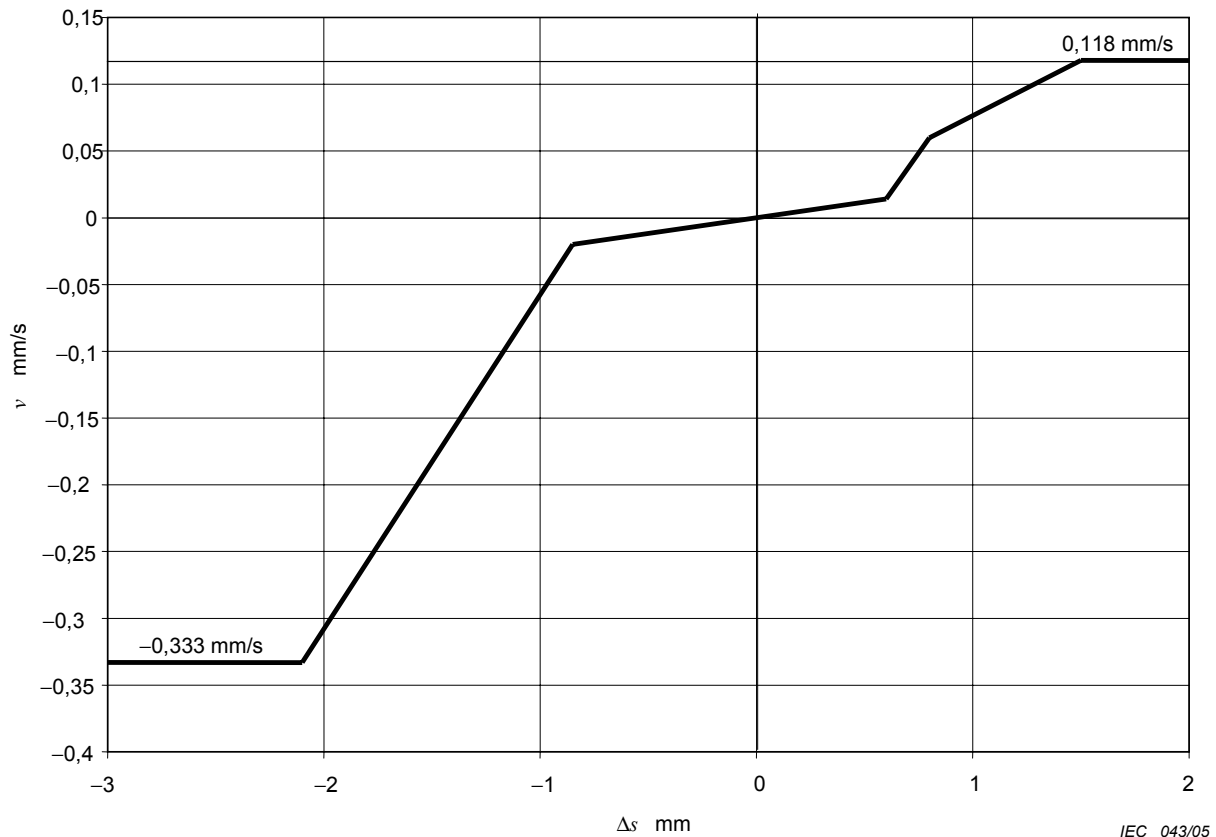


Figure 7b) – Vitesse du servomoteur en fonction du déplacement Δs du tiroir de la soupape (exemple type)

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.

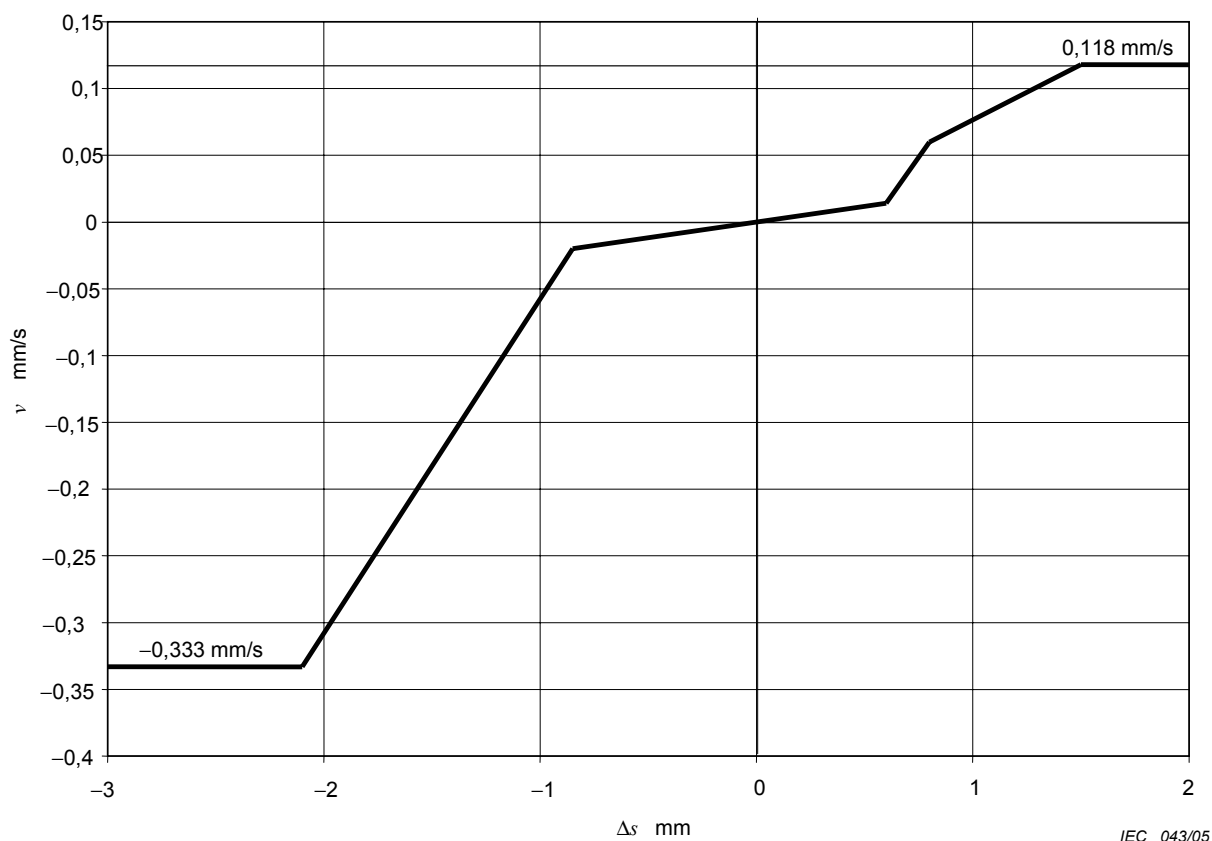


Figure 7b) –Servomotor speed versus displacement Δs of the valve spool (typical)

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.

6.6 Site tests of controller characteristics

The different technical designs and operational tasks of Hydro Generating plants shall be taken into account without limiting the freedom of choice regarding the test procedures.

6.6.1 Main controller tasks

In the following paragraphs, some additional information to IEC 61362 is given, not directly connected with the tests.

6.6.1.1 Opening control (primary mode)

The opening control serves to position the servomotor, either as a follow-up control in master control operations (for example speed control) or as an operating mode in network control.

The control equipment consists of the elements: opening controller, electro hydraulic converter and servomotor.

- Input signals: opening set-point value, if necessary speed dependent with permanent droop, actual opening value.
- Output signal: servomotor opening.
- Limit values:
 - servomotor opening ramp,
 - servomotor closing ramp,
 - opening limiter.

A special design of the turbine control is the provision of individual guide vane servomotors and electro hydraulic controls requiring synchronisation, to maintain all guide vanes at the same position. The synchronisation is achieved with the help of mechanical linkages or electronically, depending on the system adopted.

6.6.1.2 Speed control (primary mode)

The control equipment either consists of:

- a) the elements: speed controller, converter, hydraulic amplifier, or
- b) a series arrangement of speed controller and opening controller
 - Input signals:
 - speed set-point value;
 - actual speed value;
 - if necessary auxiliary and/or disturbance parameters (for example spiral pressure, water level, head, power, servomotor position).
 - Output signal: servomotor position.
 - Limit values: admissible speed changes in the event of load rejection; surge, suction wave and pressure changes in the event of loading, unloading and load rejections; maximum frequency changes in isolated operation with defined load changes.

6.6.1.3 Régulation de puissance (mode primaire)

L'équipement de régulation est composé:

- a) soit des éléments: régulateur de puissance, convertisseur, amplificateur hydraulique,
- b) soit d'une combinaison série d'un régulateur de puissance et d'un régulateur d'ouverture
 - Signaux d'entrée:
 - valeur de puissance désirée;
 - valeur de puissance effective;
 - vitesse avec la dépendance du statisme permanent;
 - si nécessaire, paramètres auxiliaires et/ou de perturbation (par exemple pression de la bêche spirale, niveau d'eau, hauteur de chute).
 - Signal de sortie: position du servomoteur.
 - Valeurs limites: limites supérieure et inférieure de puissance et plages interdites en fonction de la chute, de la cavitation, des conditions de charge partielle et dynamiques du système (par exemple situation de la cheminée d'équilibre).

6.6.1.4 Régulation de niveau d'eau (mode secondaire)

L'équipement de régulation est composé:

- a) soit des éléments: régulateur de niveau, convertisseur, amplificateur hydraulique,
- b) soit d'une combinaison série d'un régulateur de niveau et d'un régulateur d'ouverture,
- c) soit d'une combinaison série d'un régulateur de niveau, d'un régulateur de débit et d'un régulateur d'ouverture
 - Signaux d'entrée:
 - valeur désirée pour le niveau d'eau;
 - valeur du niveau d'eau effectif;
 - si nécessaire, grandeurs auxiliaires et/ou de perturbation (par exemple position des aubes directrices, marche en déchargeur de la centrale, verrouillage).
 - Signal de sortie: position du servomoteur.
 - Valeurs limites:
 - valeur maximale du niveau d'eau amont;
 - valeur minimale du niveau d'eau aval.

6.6.1.5 Régulation de débit (mode secondaire)

L'équipement de régulation est composé:

- a) soit des éléments: régulateur de débit, convertisseur, amplificateur hydraulique,
- b) soit d'une combinaison série de régulateurs de débit et d'ouverture
 - Signaux d'entrée:
 - valeur désirée pour le débit;
 - valeur du débit effectif (calculé le plus souvent);
 - si nécessaire, grandeurs auxiliaires et/ou de perturbation (par exemple position des aubes directrices, niveau d'eau).
 - Signal de sortie: position du servomoteur.

6.6.1.3 Power control (primary mode)

The control equipment either consists of:

- a) the elements: power controller, converter, hydraulic amplifier, or
- b) a series arrangement of power controller and opening controller
 - Input signals:
 - desired power value;
 - actual power value;
 - speed dependent on permanent droop;
 - if necessary, auxiliary and/or disturbance parameters (for example spiral pressure, water level, head).
 - Output signal: servomotor opening.
 - Limit values: upper and lower power limitation and banned regions dependent on head, cavitation, partial load and dynamic condition of the system (for example surge-tank situation).

6.6.1.4 Water level control (secondary mode)

The control equipment either consists of:

- a) the elements: water level controller, converter, hydraulic amplifier, or
- b) a series arrangement of water level controller and opening controller, or
- c) a series arrangement of water level controller, flow controller and opening controller
 - Input signals:
 - desired water level value;
 - actual water level value;
 - if necessary, auxiliary and/or disturbance variables (for example gate position, discharge of station, locking).
 - Output signal: servomotor opening.
 - Limit values:
 - maximum value of head race water level;
 - minimum value of tail race water level.

6.6.1.5 Flow control (secondary mode)

The control equipment either consists of:

- a) the elements: flow controller, converter, hydraulic amplifier or
- b) a series arrangement of flow and opening controller
 - Input signals:
 - desired flow value;
 - actual flow value (mostly calculated);
 - if necessary, auxiliary and/or disturbance variables (for example gate position, water level).
 - Output signal: servomotor opening.

- Valeurs limites:
 - niveau d'eau;
 - vagues (intumescence et aspiration) liées aux variations de débit.

6.6.2 Essais fonctionnels du système de régulation

Des essais doivent être effectués avec le système de régulation sans perturbation. Les étapes les plus importantes sont les suivantes:

- activer le mode de régulation choisi;
- entrer des signaux d'essais définis, c'est-à-dire:
 - grandeurs de commande;
 - changements de valeur de consigne des régulations de suivi (asservissements),
 - grandeurs auxiliaires et de perturbation.

Chacun des points de fonctionnement définis précédemment doit rester dans les limites correspondant à la plage de commande (par exemple en ce qui concerne la gamme de pressions, de vitesse du servomoteur, etc.).

- déterminer les critères d'évaluation des résultats atteints par optimisation des réglages du régulateur;
- conformément aux critères spécifiés pour la qualité de la régulation (par exemple déterminer le taux d'amortissement $0,8 < D < 1,1$ pour un certain temps de réponse, mesurer l'aire de régulation (critère intégral) etc.);
- en respectant les valeurs et charges limites admissibles (par exemple écart minimal du système, limitation des variations de vitesse, suppressions et vagues du plan d'eau);
- en utilisant les incertitudes de mesure recommandées, conformément à l'Article 7.

NOTE Pour le taux d'amortissement D (parfois noté ζ), la formule $D = 0,5 (T_1/T_2)$ s'applique, où T_1 et T_2 sont les constantes de temps d'un filtre du second ordre; $D = 0$ pour un amortissement nul et $D \geq 1$ pour un comportement apériodique.

6.6.3 Détermination des paramètres du régulateur

6.6.3.1 Réponses à échelon, comportements transitoires

Avant de faire les essais, il est important de

- déterminer les états d'équilibre de fonctionnement;
- sélectionner les amplitudes des échelons. Les signaux d'entrée doivent être tels qu'ils ne peuvent pas être rendus invalides suite à des influences perturbatrices possibles;
- choisir des critères d'évaluation des résultats pour la détermination des paramètres, en particulier si des non-linéarités interviennent pendant les essais (par exemple limites de vitesse de manoeuvre).

6.6.3.2 Caractéristiques de réponse fréquentielle

Etant donné que le comportement de la régulation peut habituellement être mieux évalué sur la base des réponses transitoires et que d'autre part, les mesures et les évaluations sont coûteuses, il convient que les mesures de réponse fréquentielle ne soient réalisées que dans des cas spéciaux. La réalisation de telles mesures doit être stipulée dans des accords spéciaux. En principe, les résultats d'essais de type conviennent.

- Limit values:
 - water level;
 - surge and suction waves in the event of flow changes.

6.6.2 Functional test of the control system

Tests shall be carried out with an undisturbed control system. The most important steps are:

- activation of the respective control mode;
- input of defined test signals, i.e.:
 - command variables;
 - set-point changes of the follow-up controls;
 - auxiliary and disturbance variables.

Each of the above defined operating points shall be within the control range maintaining limits (for example with respect to pressure range, servomotor speed etc.).

- determining the criteria for evaluating the results achieved by optimisation of the controller settings;
- according to specified criteria of control quality (for example determining the damping ratio $0,8 < D < 1,1$ for a time response, measuring the control area (integral criterion) etc.);
- adhering to the admissible limit values and loads (for example minimum system deviation, limitation of speed changes, pressure surge, and surge and suction waves);
- using recommended uncertainties in measurement according to Clause 7.

NOTE For the damping ratio D (or sometimes denoted as ζ) the formula $D = 0,5 (T_1/T_2)$ applies, whereby T_1 and T_2 are the time constants of an element of second order delay; $D = 0$ is zero damping and $D \geq 1$ is aperiodic damping.

6.6.3 Determination of control system's parameters

6.6.3.1 Step responses, transient functions

Prior to the test, the following is important:

- determination of operating states;
- selection of step amplitudes. The input signals shall be such that they cannot be invalidated by possible disturbing influences;
- choice of the evaluation criteria of the results for determination of the parameters, particularly if non-linearities occur during the tests (for example actuating speed limitations).

6.6.3.2 Frequency response characteristics

Since the control behaviour can usually be better evaluated on the basis of transient functions and since, on the other hand, measurements and evaluations are costly, frequency response measurements should only be made in special cases. The execution of such measurements is to be stipulated in special agreements. Type test results should be acceptable.

6.6.3.3 Insensibilités

Les essais d'insensibilité ne doivent être réalisés que sur les systèmes de régulation des centrales de puissance de pointe et des centrales avec des besoins de régulation précise de fréquence. Il convient de déterminer de façon appropriée respectivement une grandeur d'entrée et une de sortie dans les plages d'ouverture sélectionnées.

Pour la régulation de puissance, la valeur effective de puissance ne peut pas être utilisée comme grandeur de mesure. En tant que grandeur d'entrée, on choisit soit la fréquence qui est en permanence disponible, en tant que grandeur d'entrée additionnelle via le statisme permanent, soit la consigne de puissance.

6.6.3.3.1 Localisation des insensibilités

La localisation des insensibilités est la suivante:

- Les essais sont démarrés avec la position du servomoteur comme variable de sortie. Dans quelques cas, par exemple avec des commandes individuelles des aubes directrices, la valeur moyenne peut être choisie en tant que variable de sortie.
- Si la sensibilité est insuffisante, mesurer étape par étape les variables de sortie amont, jusqu'à la sortie du régulateur.

6.6.3.3.2 Essai d'insensibilité avec enregistrement X-Y

Le régulateur doit avoir un temps de dosage d'intégration court, car sinon l'insensibilité est surévaluée. Par exemple, il convient que le quotient du temps d'action intégrale T_i et du gain de l'action proportionnelle K_P soit aussi faible que possible (de façon idéale, action proportionnelle pure). Il est par conséquent nécessaire, pendant l'essai, de changer les paramètres du régulateur pour réaliser l'essai.

Les étapes les plus importantes sont

- l'enregistrement de l'interdépendance entre la grandeur de sortie et la grandeur d'entrée pour les points de fonctionnement en ouverture sélectionnés;
- la détermination de l'insensibilité $i_x/2$ à partir de la bande morte.

6.6.3.3.3 Test d'insensibilité au moyen de la réponse transitoire (caractéristiques temporelles)

Le régulateur doit avoir un temps de dosage d'intégration court, car sinon l'insensibilité est surévaluée. Par exemple, il convient que le quotient du temps d'action intégrale T_i et du gain de l'action proportionnelle K_P soit aussi faible que possible (de façon idéale, action proportionnelle pure). Il est par conséquent nécessaire, pendant l'essai, de changer les paramètres du régulateur pour réaliser l'essai.

Les étapes principales comprennent:

- l'enregistrement des grandeurs d'entrée et de sortie avec de petites variations définies de la grandeur d'entrée pour les points de fonctionnement en ouverture sélectionnés;
- la détermination de l'insensibilité $i_x/2$ à partir de la bande morte. Si la grandeur d'entrée est superposée à des fluctuations aléatoires, souvent seule la sensibilité de la réponse peut être mesurée.

Pour les insensibilités recommandées, se reporter à 4.3.2 de la CEI 61362. Les incertitudes de mesure acceptables sont données à l'Article 7.

6.6.3.3 Insensitivities

Insensitivity testing is only to be carried out on control systems in peak load power plants and in power plants with respect to accuracy of frequency control. Suitable input and output parameters (one variable for each) should be agreed within selected opening ranges.

For power control, the actual power value cannot be used as a measuring variable. As an input parameter, the frequency, which via the power frequency droop is always available as an additional input variable, or the power set-point are chosen.

6.6.3.3.1 Localisation of insensitivities

The localisation of insensitivities is the following:

- The tests are started with the servomotor position as an output variable. In some instances, for example with individual wicket gate control, the mean value can be chosen as output variable.
- If sensitivity is insufficient, step by step measurement of output variables against the signal flow, up to the controller output.

6.6.3.3.2 Insensitivity test with X-Y recording

The controller shall have a short reset time since otherwise the insensitivity appears to be increased. For instance, the quotient of integral action time T_i and proportional-action gain K_P should be as low as possible (ideally, proportional action only). It is therefore necessary to change during the test the parameters of the controller to carry out the test.

The most important steps are

- recording of the interdependence between output variable and input variable for selected operating openings;
- determination of insensitivity $i_x/2$ from the dead band.

6.6.3.3.3 Insensitivity test by means of transient response functions (time characteristics)

The controller shall have a short reset time since otherwise the insensitivity appears to be increased. For instance, the quotient of integral action time T_i and proportional-action gain K_P should be as low as possible (ideally, proportional action only). It is therefore necessary to change during the test the parameters of the controller to carry out the test.

The main steps include:

- recording of input and output variables with small defined changes of the input variable for selected operating openings;
- determination of the insensitivity $i_x/2$ from the dead band. If the input variable is superposed by stochastic fluctuations, often only the sensitivity of response can be measured.

For the recommended insensitivity, see 4.3.2 of IEC 61362. Acceptable measuring uncertainties are given in Clause 7.

6.6.3.3.4 Essais sur fluctuations en ligne de 2 grandeurs mécaniques ou hydrauliques avec enregistrement X-Y

Les essais sur fluctuations en ligne sont conduits dans le cas de positionneurs synchronisés, et servent à enregistrer les discontinuités mécaniques et/ou hydrauliques. Il est présumé qu'à l'état d'équilibre, les positions absolues sont en concordance entre elles.

Les essais peuvent, par exemple, concerner:

- la position des distributeurs de 2 turbines-pompes pendant le fonctionnement en charge (écart admissible avec ajustement lent, habituellement <1 %);
- la position d'une aube directrice vis-à-vis de la valeur moyenne de toutes les positions des aubes directrices dans le cas d'une commande individuelle de chaque aube directrice (écart admissible habituellement <0,5 %).

Les étapes les plus importantes sont

- la sélection d'une grandeur d'entrée appropriée;
- l'enregistrement du mouvement des 2 grandeurs de sortie lorsque la grandeur d'entrée est modifiée dans les 2 directions de la même valeur pour les ouvertures sélectionnées;
- la détermination des écarts mécaniques ou hydrauliques par rapport à un fonctionnement synchrone (perturbations dues aux fluctuations) à partir de la courbe d'hystérésis.

6.6.4 Paramètres caractéristiques des systèmes commandés

Si les performances de la régulation ne répondent pas aux attentes, sans que pour autant des défaillances du système de régulation puissent être constatées, les paramètres caractéristiques du système commandé doivent être vérifiés.

6.7 Essais de sécurité

6.7.1 Généralités

La fonction et l'étendue des dispositifs de sécurité sont décrits en 4.14 de la CEI 61362. En plus des fonctions qui s'y trouvent, telles que:

- la fermeture rapide sur défaut;
- l'arrêt d'urgence;
- le dispositif de sécurité de survitesse;
- le verrouillage;

on peut mentionner les systèmes de surveillance du système de régulation et le freinage du groupe, qui, dans un sens plus large, appartiennent également au système de sécurité.

Les essais de sécurité ont pour but de mettre en évidence que les dispositifs de protection de l'installation et du personnel remplissent bien leurs fonctions. Mis à part les intérêts du fabricant et de l'utilisateur, il peut y avoir des obligations provenant des autorités publiques et des compagnies d'assurance, qui doivent être prises en considération.

Habituellement, lors des essais, la centrale est à une charge plus élevée que dans les conditions normales d'exploitation (survitesse, délestage, surpression). Par conséquent, il convient que le fabricant, l'utilisateur et, s'il le faut, les autorités publiques se mettent d'accord sur le type d'essais qui sont à réaliser.

6.6.3.3.4 Flutter tests of 2 mechanical or hydraulic variables with X-Y recording

The flutter tests are carried out with synchronous operation of positioners and serve to record mechanical and/or hydraulic discontinuities. It is assumed that in the steady-state condition the absolute positions are in accordance with each other.

The tests may for instance include:

- the position of 2 pump turbine guide vanes during load operation (admissible deviation with slow adjustment usually <1 %);
- the position of one guide vane against the mean value of all guide vane positions with individual guide vane control (admissible deviation usually <0,5 %).

The most important steps are

- selection of a suitable input variable;
- recording of the movement of both output variables when changing the input variable in both directions by the same amount for selected openings;
- determination of mechanical or hydraulic deviations from synchronous operation (flutter disturbances) from the hysteresis.

6.6.4 Characteristic parameters of controlled systems

If the control performance does not meet expectations without deficiencies of the control system being noted, the characteristic parameters of the controlled system shall be checked.

6.7 Safety tests

6.7.1 General

The function and the scope of the safety devices are described under IEC 61362, 4.14. In addition to the facilities mentioned there, such as:

- trip (rapid shut down);
- emergency shutdown;
- overspeed safety device;
- interlocking;

systems for monitoring the control system and braking of the unit may be mentioned, which in a broader sense also belong to the safety system.

The safety test is meant to prove that the protection devices of the plant and the personnel fulfil their tasks. Apart from the interests of the manufacturer and the user, there may be obligations of public authorities and insurance companies which shall be taken into consideration.

Usually, the tests put more load on the plant than under normal operating conditions (overspeed, load rejection, pressure surges). Therefore, the manufacturer, user and, if required, public authorities should be in agreement on what kind of tests are to be carried out.

6.7.2 Stratégie d'essai

En général, les parcours de tous les signaux doivent être contrôlés. Afin de limiter le nombre de délestages de charge nécessaires pour les essais, les équipements de surveillance et de protection peuvent être contrôlés par tronçons. Cela peut être nécessaire dans le cas de systèmes de protection complexes à tester. L'essai du parcours complet des signaux doit être assuré en choisissant le moins possible de tronçons se recouvrant.

6.7.2.1 Essais des capteurs

Pour calibrer les mesures et valeurs limites des transmetteurs de mesure, leur fonctionnement est à contrôler sous les conditions les plus réalistes possibles (par exemple réduction de la pression effective dans le réservoir de l'accumulateur (réservoir sous pression) jusqu'à la valeur de déclenchement par fermeture rapide).

6.7.2.2 Contrôle du fonctionnement

Les conditions de verrouillage et les différentes possibilités de fermeture rapide sont à contrôler pour autant que cela est possible pendant l'arrêt (essais à sec).

6.7.2.3 Contrôle des organes de sécurité

Le bon fonctionnement des actionneurs de sécurité individuels (déclenchement sur défaut, arrêt d'urgence) doit être mis en évidence par des essais spécifiques sur le groupe – si nécessaire, en fonctionnement réel.

6.7.2.4 Déclenchements du groupe de production

Afin de limiter au minimum le nombre de déclenchements effectifs du groupe, le bon fonctionnement de l'ensemble complet de l'équipement de sécurité, y compris le système de freinage, s'il en existe, doit être testé au moyen de défauts en réel avec des critères représentatifs de défauts.

6.7.3 Exécution des essais

L'étendue, la succession et la procédure des essais, de même que la responsabilité, doivent être fixées avant réalisation dans un programme d'essais. En plus, les conditions initiales et limites (par exemple hauteur de chute, puissance, débit) doivent être spécifiées pour chacun des essais individuels.

Si nécessaire, des dispositifs supplémentaires de mesure et d'enregistrement doivent être installés. Cela peut inclure des équipements pour mesurer:

- les temps de manoeuvre des soupapes;
- les temps de retard des soupapes de fermeture d'urgence et de sécurité;
- les pressions de manoeuvre dans les cylindres de freinage;
- les pressions dans les adductions;
- les ouvertures des actionneurs;
- les pressions de l'huile de régulation;
- la vitesse, la puissance et le débit de la turbine.

Les signaux d'essais peuvent être générés soit de façon interne ou externe, en fonction des possibilités du régulateur.

6.7.2 Test strategy

Generally, all signal routes shall be checked. In order to limit the number of load rejections necessary for the testing, the monitoring and protection equipment can be checked in sections. This may be necessary when testing complex protection systems. Testing of the complete signal route is to be ensured by choosing the least possible number of overlapping sections.

6.7.2.1 Sensor test

For the calibration of measuring and limit value transmitters, their function is to be checked under the most realistic conditions possible (for example real pressure reduction in the accumulator tank (pressure vessel) down to the tripping value).

6.7.2.2 Functional check

Interlocking conditions and the various tripping possibilities are to be checked during standstill (dry test) as far as possible.

6.7.2.3 Checking of the safety actuators

The function of the individual safety actuators (trip, emergency shutdown) shall be proven by specific tests on the unit – if necessary during operation.

6.7.2.4 Trips for the generating unit

In order to limit the number of actual trips of the generating unit to a minimum, proper functioning of the complete safety equipment including the braking device, if any, is to be tested by live trips with representative trip criteria.

6.7.3 Test performance

The scope, sequence and procedure of the tests as well as the responsibility are to be fixed beforehand in a test programme. In addition, the initial and boundary conditions (for example head, power, flow) have to be specified for the individual tests.

If necessary, additional measuring and recording facilities shall be installed. This may include equipment to measure:

- valve switching times;
- delay times of emergency and safety shutdown valves;
- actuating pressures in brake cylinders;
- pressures in the water ways;
- actuator openings;
- control oil pressures;
- turbine speed, power and flow.

The test signals can be generated either internally or externally corresponding to the possibilities from the controller.

6.8 Conditions à remplir pour les essais

6.8.1 Sources électriques

Si les systèmes de mesure et/ou d'amortissement sont constitués de circuits d'impédance électrique, alimentés par un alternateur à excitation fixe et entraîné par l'arbre, l'alternateur peut être remplacé pour les essais par une source alternative dont la fréquence et la tension correspondent à celles de l'alternateur à excitation fixe à la vitesse normale. L'écart de tension doit être inférieur à 5 % du fondamental, à moins qu'une autre indication ne soit spécifiée dans le contrat.

Les autres tensions auxiliaires doivent être maintenues pendant l'essai dans les limites de ± 10 % de leurs valeurs nominales.

6.8.2 Turbine

Pour les essais de réception effectués sur les régulateurs de vitesse installés sur site, exception faite de ce qui est noté ci-après ou d'autres points autorisés d'un accord mutuel.

- La hauteur de chute de fonctionnement de la turbine doit être dans les limites spécifiées dans le contrat de la turbine; sinon, il convient que la méthode de correction fasse l'objet d'un accord.
- Les valeurs du niveau d'eau aval et de puissance turbine doivent être telles que le facteur de cavitation (σ) ne soit pas inférieur à la limite inférieure de la garantie ou de la recommandation du constructeur de la turbine.
- La puissance en régime permanent de la turbine ne doit pas s'écarter de la valeur spécifiée de plus de $\pm 1,5$ % de la puissance nominale.

6.8.3 Variations durant les essais particuliers

Pour les essais effectués à des conditions de vitesse constante et de pression d'huile constante, les variations de la source de la vitesse et de l'alimentation en huile sous pression ne doivent pas excéder les limites suivantes pendant une marche particulière:

- a) vitesse $\pm 0,1$ % pour les mesures à des conditions d'équilibre,
- b) pression ± 10 % de la pression d'huile moyenne,

exception faite de ce qui est noté ci-après ou d'autre point autorisé d'un accord mutuel.

6.8.4 Dispositions adéquates pour les essais

Il est recommandé qu'au moment de la conception de l'installation, une attention soit apportée aux dispositions à prendre pour procéder aux essais. Il convient de prendre en compte les conditions des essais au moment où l'acquéreur potentiel, ou ses ingénieurs-conseils, soumet une demande aux fournisseurs possibles. L'étendue des essais à réaliser en accord avec les exigences de ce code doit être spécifiée dans le contrat.

6.8.5 Ecart admissible par rapport aux valeurs spécifiées

Il est important que les valeurs spécifiées indiquées dans le contrat, sur lesquelles les garanties indiquées sont basées, soient respectées le plus précisément possible. Les écarts relatifs par rapport aux valeurs spécifiées et avec lesquels il est autorisé à procéder à un essai de réception pour un système de régulation sont spécifiés en 6.8.6.

6.8 Test conditions to be fulfilled

6.8.1 Electrical sources

If the measuring and/or damping systems are arranged as electrical impedance networks fed from a shaft driven, fixed excitation generator, the generator can be replaced for the tests by an AC-source whose frequency and voltage correspond to those of the fixed excitation generator at normal speed. The voltage deviation shall be less than 5 % of the fundamental unless otherwise specified by contract.

Other auxiliary voltages shall be maintained during the test within ± 10 % of their rated values.

6.8.2 Turbine

For acceptance tests performed on speed control systems installed at site, except as may be noted hereinafter or otherwise permitted by mutual agreement.

- Operating head on the turbine shall be within the limits specified in the turbine contract, otherwise the method of correction should be agreed upon.
- Tailwater elevation and power output of the turbine shall be such that the cavitation factor (σ) is not less than the lower limit of the turbine manufacturer's guarantee or recommendation.
- Steady-state power output of the turbine shall not deviate from the specified value by more than $\pm 1,5$ % of rated output.

6.8.3 Fluctuations during individual test runs

For tests performed under conditions of constant speed and constant oil pressure, the fluctuations of the speed source and supply oil pressure shall not exceed the following limits during an individual run:

- a) speed $\pm 0,1$ % for measurements under steady-state conditions,
- b) pressure ± 10 % of average oil pressure,

except as may be noted hereinafter or otherwise permitted by mutual agreement.

6.8.4 Adequate provision for test

It is recommended that when the plant is being designed, attention be given to provisions for testing. The test conditions should be considered when the intending purchaser, or his engineers, submit an inquiry to possible suppliers. The extent to which tests are to be performed in accordance with the requirements of this code shall be stated in the contract.

6.8.5 Permissible deviation from specified values

It is important that specified values stated in the contract, upon which stated guarantees are based, be adhered to as closely as possible. The relative deviations from specified values under which it is permissible to make a control system acceptance test are specified in 6.8.6.

6.8.6 Ecart des valeurs moyennes par rapport aux conditions de fonctionnement spécifiées

6.8.6.1 Vitesse

Si les essais de réception ne peuvent pas être réalisés à la vitesse spécifiée, l'écart autorisé par rapport à la vitesse spécifiée et ses conséquences sur les résultats de l'essai de réception doivent, préalablement aux essais, avoir été soumis à un accord.

6.8.6.2 Système oléo-hydraulique

Les essais de réception des systèmes oléo-hydrauliques se rapportent aux paramètres suivants:

a) Pression

Les essais de réception, réalisés sur un système de régulation installé sur site avec la turbine en marche ou à l'arrêt, doivent être réalisés avec la pression d'huile spécifiée dans le contrat; en ce qui concerne les essais réalisés dans les ateliers du fabricant du système de régulation, en raison de l'absence d'effort de manoeuvre nécessaire à la turbine, la pression de l'huile du dernier étage d'amplification du système de commande peut être réduite en conséquence après avoir démontré le fonctionnement satisfaisant à la pression spécifiée. Cette réduction de la pression d'huile doit faire l'objet d'un accord avant de procéder aux essais.

b) Qualité et température de l'huile

Les essais de réception doivent être réalisés avec une qualité d'huile prescrite par le fournisseur ou fournie par le client avec l'accord du fournisseur.

Les températures de l'huile au cours des essais doivent correspondre aux conditions normales de fonctionnement en continu et se trouver dans une plage indiquée par le fabricant.

La température de l'huile dont il est question ici est celle de l'alimentation en huile sous haute pression mesurée à l'intérieur ou le plus près possible du système de régulation.

Les prescriptions du fabricant concernant l'absence de mousse et de matières étrangères dans l'huile doivent être strictement respectées.

6.8.7 Mise à disposition de l'instrumentation

Pour autant que rien d'autre ne soit spécifié dans le contrat, le client doit se procurer l'instrumentation nécessaire. Le compte-rendu définitif doit comporter le nom du fabricant et le numéro de série des instruments indiqué par le fabricant, et décrire entièrement les dispositifs spéciaux ou les modifications apportées aux instruments standard utilisés en relation avec l'essai de réception.

6.8.8 Etalonnage de l'instrumentation

Tous les instruments qui ne peuvent pas être étalonnés sur site doivent être accompagnés de certificats d'étalonnage, valables à la date des essais, établis par un institut officiel accepté par les 2 parties. La mise à disposition des certificats d'étalonnage dépend de la responsabilité de la partie qui fournit les instruments pour les essais. Sauf omission sur accord, la répétition des étalonnages doit être faite après achèvement des essais. L'une ou les 2 parties peuvent, si elles le désirent, assister aux essais d'étalonnage et de réétalonnage.

6.8.6 Deviation of average values from specified operating conditions

6.8.6.1 Speed

If acceptance tests cannot be performed at the specified speed, the permissible deviation from the specified speed and its effect on the acceptance test results shall be agreed upon prior to tests.

6.8.6.2 Oil hydraulic system

The acceptance tests of oil hydraulic systems pertain to the following parameters:

a) Pressure

Acceptance tests, performed on a control system installed on site with the turbine running or at a standstill, shall be performed with the oil pressure as specified in the contract; for tests performed in the shops of the control system manufacturer, because of the absence of regulating force required by the turbine, the oil pressure of the last amplification stage of the controller system may be reduced correspondingly after demonstrating satisfactory operation at the specified pressure. This reduction in oil pressure shall be mutually agreed upon prior to the conduct of the tests.

b) Oil quality and temperature

Acceptance tests shall be performed with an oil quality prescribed by the supplier or provided by the purchaser with the approval of the supplier.

Oil temperatures during the tests shall correspond to normal sustained operating conditions and lie within a range indicated by the manufacturer.

The oil temperature herein referred to is that of the high pressure oil supply measured within or as close as possible to the control system.

The prescriptions of the manufacturer regarding absence of foam and foreign matters in the oil shall be strictly observed.

6.8.7 Provisions of instruments

Unless otherwise specified by contract, the purchaser shall be responsible for obtaining the necessary instruments. The final report shall state the manufacturer and manufacturer's serial number of the instruments and completely describe special devices or modifications to standard instruments used in connection with the acceptance test.

6.8.8 Calibration of instruments

All instruments which cannot be calibrated on site shall carry calibration certificates, valid on the date of the tests, issued by an official institution which is acceptable to both parties. The provision of calibration certificates shall be the responsibility of the party providing the test instruments. Unless omitted by agreement, repeat calibrations shall be made after completion of the tests. Either one or both parties may, if they so wish, witness calibration and recalibration tests.

6.9 Essais sur site en réseau isolé

6.9.1 Conditions préliminaires

NOTE Il convient de ne pas considérer les essais en réseau isolé comme impératifs.

Il convient que la décision de procéder ou non à un essai en réseau isolé et la décision du choix du type d'essai à réaliser soient prises par le propriétaire/l'exploitant de la centrale au moment de l'appel d'offres. Il convient que les facteurs suivants soient pris en considération par le propriétaire/l'exploitant lors de la définition de l'étendue des essais en réseau isolé:

- les limites de performance de la turbine, par exemple en raison des vitesses limites d'ouverture et de fermeture;
- le rôle prévu des machines dans la philosophie de gestion du réseau;
- l'aspect coûts, tels que les coûts directs (par exemple le coût de l'essai et de l'équipement) et les coûts indirects (par exemple perte de revenu de production);
- il convient que les détails de l'essai soient basés sur les conditions prévues du réseau isolé;
- le propriétaire/l'exploitant doit se coordonner avec les responsables de la gestion du réseau pour déterminer les détails de l'essai. Il convient de rappeler que la réponse du système de régulation est affectée par les caractéristiques du réseau isolé et de l'alternateur.

Trois méthodes peuvent être considérées pour examiner le comportement de l'installation en fonctionnement en réseau isolé: la simulation numérique de tous les composants (se reporter à l'Article 8), les essais sur site avec simulation du réseau isolé et les essais sur un réseau isolé réel.

6.9.2 Essais avec simulation de réseau isolé

Une méthode d'essai très pratique est la simulation en ligne; elle est habituellement suffisante pour la plupart des cas. La stabilité du fonctionnement en réseau isolé dépend essentiellement du choix optimal des paramètres dynamiques du système de régulation de la vitesse qui sont utilisés pour ce mode de fonctionnement. Avant les essais sur site, les valeurs appropriées de ces paramètres sont généralement calculés avec un logiciel spécifique d'optimisation, basé sur des modèles plus ou moins précis des adductions hydrauliques, de la turbine, de l'alternateur et des charges.

Toutefois, les installations hydroélectriques réelles sont parfois différentes des modèles mathématiques, les données peuvent être erronées et les équipements sujets à des aléas et à des modifications pendant leur durée de vie: pour cette raison, la qualité des calculs numériques peut, dans certains cas, paraître relativement inadéquate.

Pour cette raison, il est souvent souhaitable, avant place de procéder à des essais réels en réseau isolé sur site ou à leur place, de mettre au point une méthode intermédiaire basée sur un «simulateur en ligne de réseau isolé».

La Figure 8 représente le schéma de principe d'un tel simulateur (les variables sont en valeurs relatives): le groupe de production fonctionne en parallèle sur le réseau électrique interconnecté à différentes valeurs de puissance active (correspondant à différents points souhaités pour le fonctionnement en réseau isolé). Par conséquent, la vitesse du groupe est maintenue constante (ou presque constante) par le réseau électrique.

Le principe du simulateur peut être décrit comme suit: un signal, représentant les variations de vitesse/fréquence qui se produiraient si le groupe alimentait une charge isolée, est élaboré par calcul à partir de la puissance électrique active mesurée aux bornes de l'alternateur. Ce signal de vitesse/fréquence simulé est ensuite envoyé au régulateur à la place (ou en superposition) du signal réel de vitesse/fréquence.

6.9 Isolated network field tests

6.9.1 Preconditions

NOTE Isolated grid tests should not be considered mandatory.

The decision whether to perform an isolated grid test and the type of testing to be performed should be stated by station owner/operator at the time of tender. The following factors should be considered by the owner/operator when defining the scope of isolated grid testing:

- the performance constraints of the turbine, for example due to maximum opening and closing rates;
- the intended role of the machines in the network management philosophy;
- cost implications like direct costs (for example cost of test and equipment) and indirect costs (for example lost generation revenue);
- the details of the test should be based on the predicted isolated grid conditions;
- the owner/operator shall co-ordinate with the network managing body to determine the details of the test. It should be remembered that the response of the control system is affected by the characteristics of the isolated network and the generator.

Three methods to investigate the behaviour of the plant operating on an isolated network can be considered: numerical simulation of all components (see Clause 8), field tests by simulated isolation and field tests on a real isolated grid.

6.9.2 Tests by simulated isolation

A very practical test method is on-line simulation and is usually sufficient for most cases. The stability of isolated grid operation depends essentially on the optimum selection of the dynamic parameters of the speed control system which are used for this mode. Before the field tests, the suitable values of these parameters are generally calculated with optimisation specific software, based on more or less accurate models of water passages, turbine, generator and load.

However, real power plants are sometimes different from mathematical models, data can be erroneous, and equipment subject to contingencies and modifications during their lifetime: therefore, the quality of numerical calculations may appear relatively inadequate in certain cases.

For this reason, it is often desirable, before or in place of carrying out real isolated grid field tests, to develop an intermediate method, based on an «on-line isolated grid simulator».

Figure 8 represents the principle scheme of such a simulator (the variables are in relative values): the generating unit is operating in parallel with the interconnected power system at different values of power output (corresponding to the different operating points desired for the isolated network operation). Therefore, the speed of the unit is held constant (or nearly constant) by the power system.

The principle of the simulator can be described as follows: a signal, representing the speed/frequency variations which would occur if the unit were supplying an isolated load, is developed by calculation from the measured electrical power output of the generator. This simulated speed/frequency signal is then delivered to the controller in place of (or in addition to) the actual speed/frequency signal.

La fréquence simulée est obtenue par l'intégration de la différence entre la mesure de la puissance active et une valeur de référence de puissance réglable (somme de la valeur initiale de la puissance et d'un signal d'essai); elle prend en considération:

- l'inertie du groupe (constante d'accélération caractéristique de l'inertie du groupe T_a);
- l'inertie de la charge (constante d'accélération caractéristique de l'inertie de la charge T_b ; cette constante est souvent choisie égale à zéro);
- le coefficient d'autorégulation du système réglé (e_n), qui est la différence entre le coefficient d'autorégulation de la charge (e_g) et le coefficient d'autorégulation de la turbine (e_t).

Un essai typique de simulation de réseau isolé est l'essai de réponse à un échelon: un échelon est appliqué sur la référence de puissance réglable, et l'évolution temporelle du signal simulé de la vitesse/fréquence est enregistrée. Il convient de prendre garde à l'amplitude du signal échelon, qui doit être significative, mais avec une valeur typique maximale correspondant à 10 % de la puissance nominale.

Dans cette simulation en ligne, les effets dynamiques des composants réels du système hydraulique sont inclus, c'est-à-dire la colonne d'eau, la turbine (par simplification, sa dépendance vis-à-vis de la vitesse peut aussi être prise en compte dans le coefficient d'autorégulation de la turbine), le régulateur, y compris toutes les non-linéarités.

L'effet des variations de vitesse simulées du groupe sur le débit de la turbine est toutefois négligé, du fait que la vitesse réelle du groupe est maintenue constante; par conséquent, l'imprécision sera accrue par cette simplification.

Un point particulier est le comportement de l'alternateur, qui est différent en réseau interconnecté et en réseau isolé. En fonctionnement en réseau interconnecté, l'alternateur peut être représenté comme un système du second ordre (fréquence propre typique entre 0,8 Hz et 1,5 Hz); la puissance active est affectée par des oscillations électromécaniques à cette fréquence propre. Dans la plupart des cas (à l'exception des cas de la commande à action rapide des déflecteurs de la turbine Pelton), le temps de réponse de la régulation de vitesse est plus élevé, de telle sorte que l'influence de ce phénomène peut habituellement être négligée et la puissance active de l'alternateur peut être supposée égale à la puissance mécanique de la turbine (pertes de l'alternateur négligées).

Par ailleurs, le réseau isolé peut être modélisé très simplement, en négligeant le comportement dynamique complexe des charges.

Comme mesure de précaution, pour des raisons de sécurité, il est nécessaire que le simulateur permette au régulateur de revenir plus vite aux conditions normales de fonctionnement du système de régulation, c'est-à-dire à la fréquence mesurée du réseau interconnecté à la place de la fréquence simulée; ces précautions sont essentielles dans le cas d'oscillations divergentes durant l'essai, par exemple en raison de valeurs non adaptées des paramètres du régulateur de vitesse.

La Figure D.16 représente un enregistrement sur site d'une telle réponse à échelon avec une simulation en ligne en réseau isolé sur une turbine Francis.

The simulated frequency is obtained by integration of the difference between the power output measurement and an adjustable power reference (sum of the initial value of the power and of a test signal); it takes into account:

- the inertia of the unit (unit acceleration constant T_a);
- the inertia of the load (load acceleration constant T_b ; this constant is often taken equal to zero);
- the controlled system self-regulation factor (e_n), which is the difference between the load self-regulation (e_g) factor and the turbine self-regulation factor (e_t).

One typical simulated isolation test is the step-response test: a step signal is applied to the adjustable power reference, and the simulated speed/frequency signal following this step change is recorded in the time domain. Attention should be paid to the magnitude of the step signal, which shall be significant, but with a typical maximum value corresponding to 10 % of the rated power output.

In this on-line simulation, the dynamic effects of the real components of the hydraulic system are included, i.e. the water column, the turbine (for simplicity, its dependence on the speed can also be taken into account by the turbine self-regulation factor), the controller, including all non-linearities.

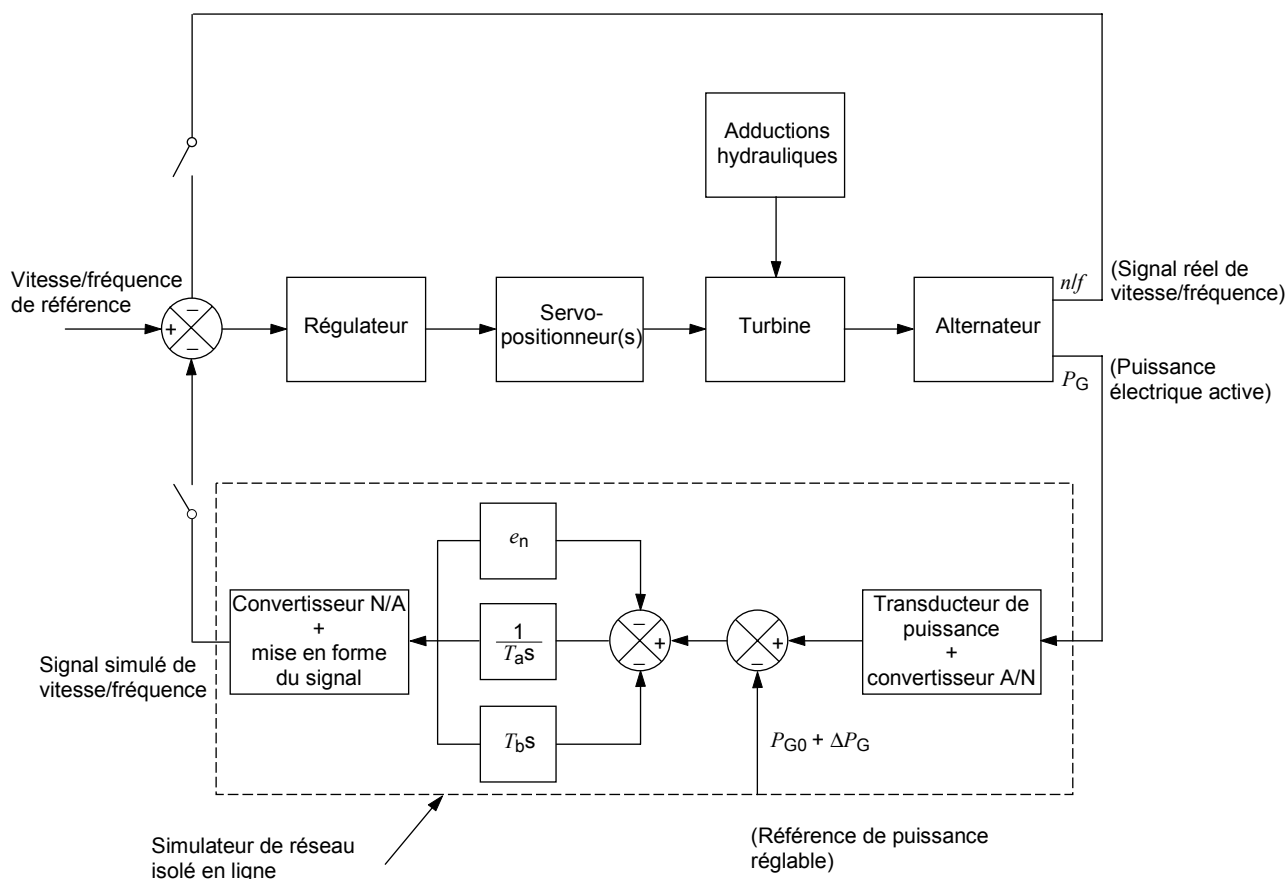
The effect of the simulated unit speed change to turbine flow in these tests is neglected as the actual unit speed is held constant, therefore the inaccuracy will be increased by this simplification.

One particular point is the behaviour of the generator, which is different in inter-connected network and isolated networks. In interconnected network operation, the generator can be represented as a second-order system (natural frequency typically between 0,8 Hz and 1,5 Hz); the power output is affected by electromechanical oscillations at this natural frequency. In most cases (except in cases with fast acting deflector control of Pelton turbines) the response time of the speed control is longer, so that the influence of this phenomenon can usually be neglected and the power output of the generator can be assumed equal with the mechanical power of the turbine (losses of the generator neglected).

Moreover, the isolated network can be modelled very simply, neglecting the complex dynamical behaviour of the loads.

As a precautionary measure, for safety reasons, it is necessary that the simulator allows the controller to quickly revert back to normal operating conditions of the control system, i.e. to the measured frequency of the interconnected grid in place of the simulated frequency; these precautions are essential in case of divergent oscillations during the test, for example due to un-adapted values of parameters of the speed control system.

Figure D.16 presents a field recording of such a step-response by on-line isolated grid simulation with a Francis turbine.



IEC 044/05

Figure 8 – Exemple d'essai de simulation en ligne de réseau isolé

6.9.3 Essais réels en réseau isolé

Les essais réels en réseau isolé ne sont habituellement réalisés que si l'exploitant du réseau les demande de façon spécifique. Ils peuvent être coûteux, en impliquant la participation de nombreuses personnes (les opérateurs de la centrale, des réseaux de transport et de distribution ou du client industriel à alimenter en mode de réseau isolé). Ils nécessitent d'apporter un soin particulier au planning et à l'exécution, de façon à parer à une interruption inacceptable du réseau isolé.

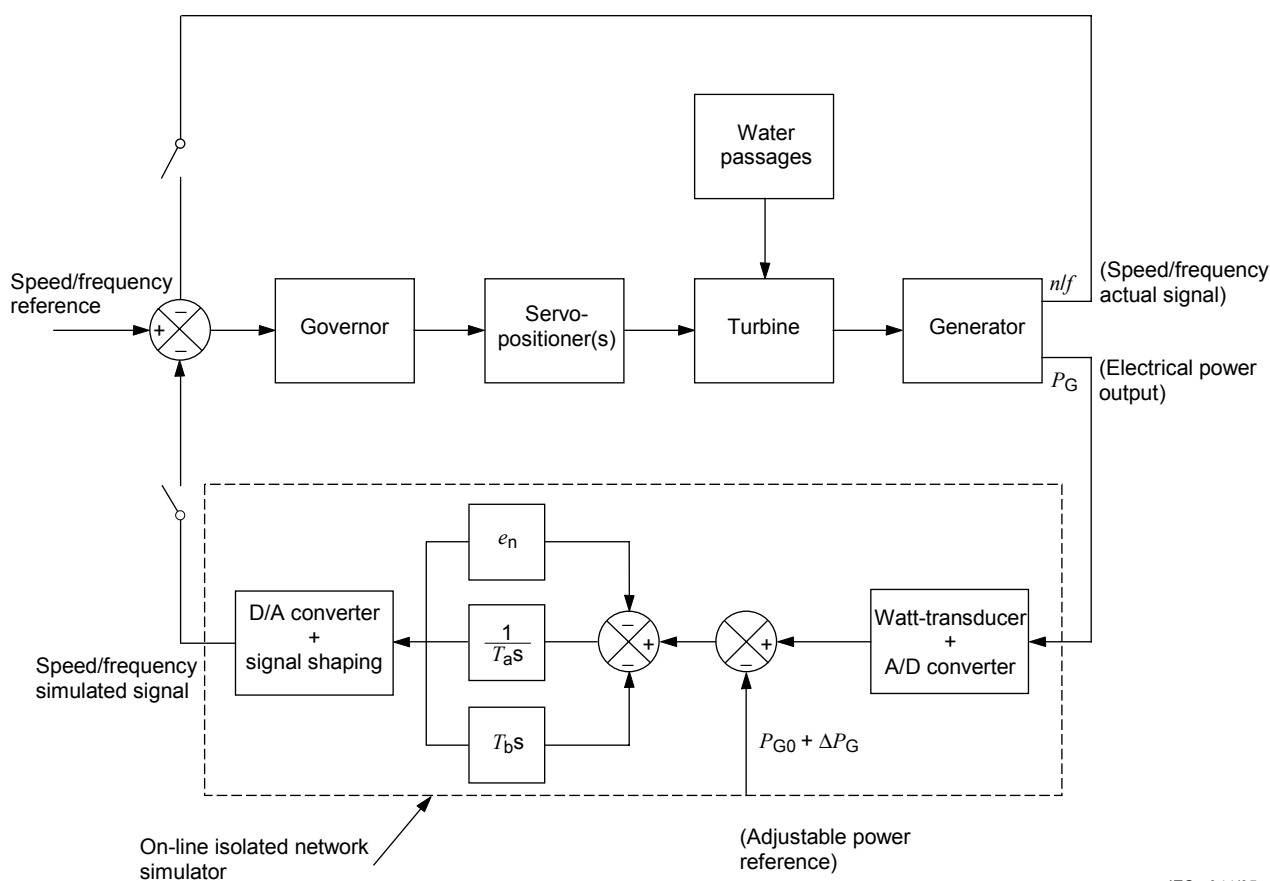
Il convient que l'amplitude de la variation de charge lors du passage du réseau interconnecté au réseau isolé soit initialement relativement faible. Cette amplitude et les paramètres dynamiques du régulateur de vitesse peuvent être prédéterminés par le calcul et/ou par simulation en ligne.

L'amplitude des variations de charge peut ensuite être augmentée graduellement pour déterminer le point où les variations de fréquences deviennent inacceptables.

6.10 Rôle du régulateur pour la stabilité dans les réseaux interconnectés

Dans une machine hydraulique, les variations du couple sur l'arbre peuvent être causées par:

- a) les variations des forces de pression agissant sur les aubes de la roue de la turbine/de la pompe;
- b) les variations des forces électromagnétiques agissant sur l'alternateur/le moteur.



IEC 044/05

Figure 8 – Example of on-line simulated isolated grid test

6.9.3 Tests on real isolated grid

Real isolated grid tests are usually carried out only if the grid operator requires them specifically. They can be costly, with the involvement of numerous parties (the operators of the power plant, of the transmission grid and of the distribution or of the industrial consumer to be supplied in isolation mode). They require careful planning and execution in order to prevent unacceptable disruption to the isolated network.

The amplitude of the load change when transferring from the interconnected grid to the isolated one should be initially relatively small. This amplitude and the dynamic parameters of the speed control system can be pre-determined by calculation and/or on-line simulation.

The amplitude of the load changes can be gradually increased to determine the point at which the frequency variations become unacceptable.

6.10 Role of controller for stability in interconnected power systems

The fluctuations of shaft torque in a hydraulic machine can be induced by:

- a) variations of the pressure forces acting on the runner/impeller blades;
- b) variations of the electro-magnetic forces acting on the generator/motor.

Les variations de pression sont un fait naturel dans les machines hydrauliques. Se reporter à 4.3.1.1 de la CEI 60193 pour en avoir une description complète. En général, les variations de pression se produisent de façon typique entre 0,2 et 3 fois la fréquence correspondant à la vitesse de rotation de la roue.

Des variations du couple liées à la fréquence propre de l'alternateur peuvent également se produire.

Normalement, la fréquence de ces oscillations se situe dans le domaine de 0,8 Hz à 1,5 Hz et dépend des caractéristiques (topologie, fréquence, etc.) du réseau interconnecté, du point de fonctionnement de l'alternateur (puissances active et réactive) et des paramètres de la régulation de la tension.

Une résonance peut avoir lieu aux charges partielles d'une turbine Francis en raison de l'interaction entre les variations de pression et/ou les oscillations naturelles de la conduite forcée d'une part, et la fréquence propre de l'alternateur raccordé à un réseau interconnecté d'autre part. Ce phénomène provoque des oscillations de vitesse et/ou de puissance active aux bornes du groupe de production hydraulique.

Il est possible que le régulateur de la turbine hydraulique ne soit pas capable de supprimer ces oscillations de puissance. Cela peut être facilement vérifié en faisant fonctionner le groupe de production hydraulique en limitation d'ouverture (distributeur, pales de roue ou injecteur), avec le ou les servomoteurs à l'état d'équilibre. Toute variation de vitesse et/ou de puissance est causée par la turbine ou l'alternateur relié au réseau électrique interconnecté.

L'objectif de la régulation moderne des réseaux électriques est de fournir de la puissance à une fréquence et à une tension constantes. Toutefois, il peut survenir des oscillations («swings») de puissance associées à des oscillations de fréquence, par suite de la nature complexe des systèmes de production et de transport. Des stabilisateurs de puissance, faisant partie du système d'excitation, sont fournis pour réduire les oscillations de la puissance. Le régulateur de la turbine peut également aider à réduire les oscillations de puissance.

Dans d'autres cas, le régulateur de la turbine peut provoquer ou aggraver l'oscillation locale de la turbine avec son système d'adduction hydraulique, ce qui peut influencer ou dégrader le fonctionnement du réseau. Un exemple concerne la régulation de puissance du régulateur de la turbine, avec prise en compte de la caractéristique de statisme permanent «fréquence/puissance», dans les installations de production hydrauliques avec des cheminées d'équilibre.

On peut être en présence d'oscillations générales de puissance si les paramètres réglables du régulateur automatique de tension (AVR) et/ou du stabilisateur de puissance (PSS) ne sont pas optimisés. Il convient que les oscillations de puissance acceptables pour une installation hydroélectrique fonctionnant sur un réseau interconnecté ne soient pas supérieures à 5 % (crête-à-crête) de la puissance nominale.

7 Incertitudes dans les essais de régulateur

En général, tous les essais comportent, dans une certaine mesure, des erreurs. Les erreurs systématiques ne peuvent pas être éliminées en répétant les mesures, étant donné qu'elles sont définies par les caractéristiques des instruments de mesure et par la méthode de mesure. En revanche, les erreurs fortuites peuvent être réduites en répétant les mesures. Lors des essais de régulateur, les erreurs fortuites ne peuvent être que rarement déterminées vu que ces mesures sont rarement répétées. En relevant les courbes caractéristiques statiques, dans le meilleur des cas, il est au mieux possible d'établir une courbe d'égénéralisation et ensuite de déterminer l'erreur aléatoire moyenne. C'est pourquoi, seules les incertitudes liées aux erreurs systématiques sont traitées dans les paragraphes suivants. Si aucune erreur fortuite n'est déterminée, l'incertitude réelle des mesures est majorée d'une part aléatoire inconnue, mais généralement faible.

Pressure fluctuations are a natural occurrence in hydraulic machinery. Refer to 4.3.1.1 of IEC 60193 for a full description. The pressure fluctuations generally occur typically between 0,2 and 3 times the runner peripheral frequency.

The torque fluctuations induced by the natural frequency of an electric generator can also occur.

Normally the frequency of these oscillations is in the region of 0,8 Hz to 1,5 Hz and is dependent upon characteristics (topology, frequency, etc.) of the interconnected power system, operation point of the generator (active and reactive power), and parameters of the voltage regulation.

A resonance can result at partial loads of a Francis turbine due to the interaction of the pressure fluctuations and/or the natural oscillations of the penstock and the natural frequency of the generator, connected to an inter-connected power system. This phenomenon results in the fluctuation of the speed and/or power output of the hydro-generating unit.

The hydro turbine controller may not be able to suppress these power swings. This can be easily checked by operating the hydro-generating unit under gate (wicket gate, runner blade or nozzle) limit control, with the servomotor(s) in the steady-state condition. Any speed and/or power fluctuation is due to the turbine or generator and interconnected power system.

The aim of the modern power system control is to provide power at constant frequency and voltage. However power swings with associated frequency swings can be experienced due to the complex nature of generation and transmission systems. Power system stabilisers are provided, as part of the excitation system, to reduce the power swings. The turbine controller can also help in reducing the power swings.

In other cases, the turbine controller can cause or worsen local hydro turbine oscillation involving its water conductor system, that could influence or deteriorate the power system. An example is the turbine controller power output control, based on “frequency versus power” permanent speed droop characteristics, on hydro power installations with surge tanks.

Overall power swings can be experienced if the adjustable parameters of Automatic Voltage Regulator (AVR) and /or Power System Stabiliser (PSS) are not optimised. The acceptable power swings on a hydro generation unit, operating in an inter-connected power system, should not be more than 5 % (peak to peak) of the rated power.

7 Inaccuracies in controller tests

Generally, all tests have errors up to a certain extent. Systematic errors cannot be eliminated by repetition of measurements, as they are defined by the characteristics of the measuring instruments and by the measuring arrangement. However, random errors can be reduced by repeated measurements. With controller measurements, random errors can only seldomly be determined since these measurements are hardly ever repeated several times. When recording static characteristic curves, it is at best possible to establish an equalising curve and then determine the mean random error. Therefore, systematic uncertainties are dealt with in the following subclauses. If no random errors are determined, the real uncertainty of measurements is larger by an unknown but generally small random portion.

Fondamentalement, il convient que l'incertitude liée aux instruments de mesure et aux chaînes de mesure utilisés, ainsi qu'aux méthodes de mesure, corresponde à l'importance des mesures à effectuer et de leurs résultats. Souvent, cela résulte des spécifications contractuelles.

Dans ce qui suit, il est donné des recommandations pour les incertitudes systématiques admissibles en ce qui concerne les grandeurs mesurées les plus importantes, en fonction de la tâche à accomplir. Les incertitudes couvrent toujours l'ensemble de la chaîne de mesure depuis le capteur jusqu'à l'affichage et/ou l'enregistrement, en incluant la transmission par télécommande, s'il y en a. Les oscillations de perturbation en superposition des grandeurs mesurées peuvent être éliminées par filtrage. Pendant cette opération, il n'est permis ni un amortissement sensible, ni un décalage de phase majeur du signal à déterminer; il convient que la fréquence de coupure du filtre dépasse d'au moins 10 fois la fréquence propre principale du système réglé.

Pour toutes les grandeurs mesurées, la différence doit être faite entre les installations regroupées dans les catégories du Tableau 1. Des tableaux listant des programmes d'essais spécifiques sont présentés en Annexe B.

Tableau 1 – Catégories de groupes et centrales

Niveau	Description	Remarques
I	Groupes fonctionnant en puissance de pointe	
II	Groupes fonctionnant en puissance de base Groupes connectés à des grands réseaux Petits groupes fonctionnant en réseau isolé	
III	Petits groupes avec génératrices asynchrones (régulation de position et centrales fil de l'eau fonctionnant en commande de limiteur d'ouverture vannage)	Groupes turbine-alternateur dans des réseaux isolés ayant des oscillations de fréquence importantes en raison des variations permanentes de la charge

Dans beaucoup d'installations, les incertitudes venant se placer entre les catégories indiquées ci-dessus sont autorisées. Très souvent, les instruments de mesure industriels sont suffisants. Avant chaque mesure, il convient que l'incertitude de mesure admissible fasse l'objet d'un accord en fonction de la tâche de mesure particulière. Les valeurs admissibles d'incertitudes des appareils de mesure pour les différentes catégories sont données au Tableau 2.

Basically, the uncertainty of the applied measuring instruments and measuring chains as well as of the measurement evaluation should correspond to the importance of the measurements to be carried out and their results. Often it results from the contractual specifications.

In the following, recommendations are given for the admissible, systematic uncertainties with respect to the most important measured variables dependent on the task to be carried out. The uncertainties always cover the complete measuring chain from the transmitter to the display and/or recording including telecontrol transmission, if any. Superimposed, disturbing oscillations of the measured variables can be filtered out. During this process, neither a perceptible damping nor a major phase shift of the signal to be determined are permissible; the cut off-frequency of the filter should surpass the essential frequency of the control process by at least 10 times.

For all measured variables, the difference is to be made between plants grouped in the categories shown in Table 1. Tables listing the specific test programs are presented in Annex B.

Table 1 – Unit and plant categories

Level	Description	Remarks
I	Units for peakload operation	
II	Units for base load operation Units in big grids Small units for isolated load operation	
III	Small units with induction generators (position control and run of the river projects with gate limiter operation)	Turbine-generator sets in separate networks having major frequency oscillations due to permanently varying load

In many plants, uncertainties ranging between the above categories are allowed. Very often, the industrial measuring instruments are sufficient. Prior to each measurement, the admissible measuring uncertainty should be agreed upon dependent on the particular measuring task. The admissible values of the instrument uncertainties for the different categories are shown in Table 2.

Tableau 2 – Incertitudes admissibles des appareils de mesure

Pos. n°	Description	Niveau I	Niveau II	Niveau III
7.1	Fréquence, vitesse			
7.1.1	Mesures d'insensibilité $ f_n \leq$ $ \Delta f \leq$ (si $f_r = 50$ Hz)	0,002 % 0,001 Hz	0,002 % 0,001 Hz	0,1 % 0,05 Hz
7.1.2	Fréquence/vitesse lors de la mesure des courbes statiques $ f_n \leq$ $ \Delta f \leq$ (si $f_r = 50$ Hz)	0,1 % 0,05 Hz	0,1 % 0,05 Hz	0,4 % 0,2 Hz
7.1.3	Vitesse pendant les opérations de démarrage et d'arrêt $ f_n \leq$ $ \Delta f \leq$ (si $f_r = 50$ Hz)	0,5 % 0,25 Hz	0,5 % 0,25 Hz	2 % 1 Hz
7.2	Courses			
7.2.1	Mesure de l'insensibilité $ f_y \leq$	0,05 %	0,05 %	0,5 %
7.2.2	Mesures en essais sur fluctuations en ligne (fonctionnement synchrone distributeurs) $ f_y \leq$	0,05 %	0,05 %	0,5 %
7.2.3	Courses pendant les opérations de démarrage et d'arrêt, de fonctionnement sur réseau interconnecté et isolé $ f_y \leq$	1 %	1 %	2 %
7.3	Puissance Toutes les données en pourcent se réfèrent à la puissance maximale $ f_p \leq$	0,5 %	0,5 %	2 %
7.4	Pressions/chutes			
7.4.1	Toutes les données se réfèrent à la pression p_o ou à la chute h_o à l'état d'équilibre, calculé pour le niveau d'une ligne centrale horizontale. Pressions/chutes pendant les opérations de démarrage et d'arrêts, de fonctionnement en réseau interconnecté et en réseau isolé $ f_p \leq$ Dans des cas particuliers, des valeurs plus élevées peuvent être autorisées	2 %	2 %	2 %
7.4.2	Pressions d'huile Toutes les données se réfèrent à la pression nominale p_1 de l'accumulateur de pression $ f_p \leq$	2 %	2 %	2 %
7.5	Niveaux d'eau			
7.5.1	Régulation de niveau d'eau ^{a)} $ \Delta H \leq$	–	0,5 cm	2 cm
a) Protection spéciale du capteur contre l'influence des vagues.				

Table 2 – Admissible measuring instrument uncertainties

Item No.	Description	Level I	Level II	Level III
7.1	Frequency, speed			
7.1.1	Insensitivity measurements $ f_n \leq$ $ \Delta f \leq$ (with $f_r = 50$ Hz)	0,002 % 0,001 Hz	0,002 % 0,001 Hz	0,1 % 0,05 Hz
7.1.2	Frequency/speed when measuring static curves $ f_n \leq$ $ \Delta f \leq$ (with $f_r = 50$ Hz)	0,1 % 0,05 Hz	0,1 % 0,05 Hz	0,4 % 0,2 Hz
7.1.3	Speed during start-up and switching-off processes $ f_n \leq$ $ \Delta f \leq$ (with $f_r = 50$ Hz)	0,5 % 0,25 Hz	0,5 % 0,25 Hz	2 % 1 Hz
7.2	Strokes			
7.2.1	Insensitivity measurement $ f_y \leq$	0,05 %	0,05 %	0,5 %
7.2.2	Flutter test (synchronous operation) measurements (guide vane – guide vane) $ f_y \leq$	0,05 %	0,05 %	0,5 %
7.2.3	Strokes during start-up and shut down processes, network and isolated operation $ f_y \leq$	1 %	1 %	2 %
7.3	Power All percentage data refers to maximum power $ f_p \leq$	0,5 %	0,5 %	2 %
7.4	Pressure/heads			
7.4.1	All data refer to the pressure p_o or the head h_o in steady state, calculated for the horizontal centre line elevation. Pressure/heads during start-up and shut-down processes, network and isolated operation $ f_p \leq$ In special cases, greater values can be permitted	2 %	2 %	2 %
7.4.2	Oil pressures All data refers to the nominal pressure p_1 of the pressure accumulator $ f_p \leq$	2 %	2 %	2 %
7.5	Water levels			
7.5.1	Water level control ^{a)} $ \Delta H \leq$	–	0,5 cm	2 cm
^{a)} Proper protection of transducer from influence of waves.				

Tableau 2 (suite)

Pos. no	Description	Niveau I	Niveau II	Niveau III
7.5.2	Variation du niveau d'eau dans les cheminées d'équilibre. Toutes les données se réfèrent à la différence entre le niveau d'eau le plus haut et celui le plus bas, Δh_o dans la cheminée d'équilibre $ f_h \leq$	1 %	1 %	1 %
7.6	Temps			
7.6.1	Temps morts $ \Delta t \leq$	0,05 s	0,05 s	0,05 s
7.6.2	Temps de manoeuvre, de synchronisation et transitoire $ \Delta t \leq$	0,2 s	0,2 s	0,2 s
7.7	Débits Débit absolu $ f_Q \leq$ Résolution	5 % 1 %	5 % 1 %	5 % 1 %
a) Protection spéciale du capteur contre l'influence des vagues.				

8 Simulation du fonctionnement de la régulation et de la commande

8.1 Remarques d'ordre général

La simulation de processus physiques n'est pas un essai à proprement parler. Toutefois, étant donné que les essais peuvent être remplacés et/ou simplifiés dans une mesure plus ou moins grande par les simulations, il est utile d'inclure celles-ci dans la présente norme.

En général, la simulation du comportement des composants, des installations ou de parties d'entre elles entraîne des coûts. Plus les parties simulées sont compliquées et plus haute est la précision avec laquelle leur comportement doit être déterminé, plus les dépenses sont élevées. C'est pourquoi l'étendue et la tâche d'une simulation doivent être, au préalable, convenues dans le contrat. En règle générale, un simulateur de centrale est un dispositif séparé. Il peut toutefois aussi être conçu comme une section de programme à part à l'intérieur du régulateur numérique. L'avantage du dispositif séparé est que les interfaces entre le système de régulation et le simulateur peuvent être conçues tout à fait comme dans la centrale elle-même.

Les fonctions suivantes peuvent être demandées à la simulation.

- Pré-examen de l'ensemble de l'installation, y compris le système de régulation pour le choix et l'optimisation des valeurs de réglage du régulateur (paramètres) et – si nécessaire – des algorithmes du régulateur, ainsi que pour faire l'essai des conditions de fonctionnement qui ne sont pas faciles à reproduire dans l'installation (par exemple fonctionnement isolé). La durée de calcul nécessaire pour le faire n'a pas d'importance.
- Etudes paramétriques de l'influence des caractéristiques non prévisibles de l'installation, par exemple le coefficient d'autorégulation du réseau. De nouveau, la durée de calcul n'a pas d'importance.
- Essai de réception en usine du système de régulation avec le système réglé également simulé (constante de temps d'accélération du groupe T_a , constante de temps d'inertie de l'eau T_W , etc.). Dans cet essai, les parties du système de régulation qui ne peuvent pas être incluses dans l'essai de réception doivent être simulées, comme par exemple le système d'huile sous pression pour les actionneurs et servomoteurs. Pour ce faire, un simulateur temps réel est nécessaire.

Table 2 (continued)

Item No.	Description	Level I	Level II	Level III
7.5.2	Water level fluctuation in surge tanks. All data refer to the difference between the highest and lowest water level, Δh_o in the surge tank $ f_h \leq$	1 %	1 %	1 %
7.6	Time			
7.6.1	Dead times $ \Delta t \leq$	0,05 s	0,05 s	0,05 s
7.6.2	Actuating, synchronising and transient times $ \Delta t \leq$	0,2 s	0,2 s	0,2 s
7.7	Flow Absolute flow $ f_Q \leq$ Resolution	5 % 1 %	5 % 1 %	5 % 1 %
a) Proper protection of transducer from influence of waves.				

8 Simulation of governing and control operations

8.1 General remarks

The simulation of physical processes is not a test, properly speaking. However, since the tests can be substituted and/or simplified to a greater or lesser extent by simulations, it is useful to include them into the present standard.

Generally, the simulation of the behaviour of component parts, plants or parts thereof involve costs. The more complicated the simulated parts and the higher the precision with which their behaviour is to be determined, the higher the expenses. Therefore, the scope and task of a simulation is to be agreed upon contractually, in advance. As a rule, a plant simulator is a separate device. However, it can also be designed as a separate programme section within the digital controller. The advantage of the separate device is that the interfaces between the control system and the plant simulator can be designed just like in the plant itself.

The following tasks can be assigned to simulation.

- Pre-examination of the complete plant including the control system for selection and optimisation of the controller set-point values (parameters) and – if necessary – of the controller algorithms and for the testing of operating conditions which cannot easily be produced in the plant (for example isolated operation). The computing time needed for this is of no importance.
- Parameter studies on the influence of unpredictable plant characteristics, for example the power system (grid) self regulating factor. The computing time again is of no importance.
- Workshop acceptance test of the control system together with the simulated controlled system (unit acceleration time constant T_a , water inertia time constant T_W , etc.). In this test, those parts of the control system which cannot be included in the acceptance test shall be simulated, such as for example the oil pressure system for actuators and servomotors. For this, a real time simulator is required.

- Formation du personnel sur le fonctionnement de la centrale, soit en usine, soit sur le site. Si la formation doit être faite sur le système de régulation original, on doit ici aussi utiliser un simulateur temps réel de centrale.

8.2 Caractéristiques du simulateur

Le simulateur est censé reproduire le plus exactement possible toutes les propriétés physiques importantes de la partie devant être simulée. En plus du comportement à l'équilibre, toutes les propriétés dynamiques doivent être reproduites correctement, comprenant en détail ce qui suit.

- Dans les simulations de la centrale, tous les composants importants du système d'adductions hydrauliques doivent être déterminés. Pour ce qui est des tronçons de conduites soumis à un fort degré de variations de pression dynamique, on doit tenir compte de la compressibilité de l'eau et de la flexibilité de la paroi de la conduite. Les cheminées d'équilibre doivent être modélisées avec le plus grand soin, en particulier si des niveaux d'eau extrêmes sont à déterminer, tandis que les conduites de distribution et les tronçons courts similaires de conduites peuvent souvent être simplifiées.
- Les diagrammes caractéristiques des machines hydrauliques et les autres courbes caractéristiques utiles doivent être introduits avec le plus de précision possible, tout au moins pour tous les domaines importants (diagrammes et courbes caractéristiques modèle).
- Il convient que les dispositifs de manoeuvre contiennent toutes les non-linéarités, comme par exemple les limitations de vitesse des servomoteurs ou les lois de manoeuvre à plusieurs pentes.
- Dans les réseaux séparés, les caractéristiques des charges sont rarement connues. C'est pourquoi, on doit s'assurer que même les cas les plus défavorables ont été pris en compte dans la simulation.
- Afin d'éviter les dommages provoqués par des temps de verrouillage ou de réglage incorrects pendant le démarrage, il convient de prendre en compte l'influence des forces sur les temps de manoeuvre du servomoteur lors des essais des systèmes de commande oléo-hydrauliques ayant des fonctions de verrouillage importantes (par exemple les systèmes de commande des vannes sphériques amont et aval, associés à des conditions difficiles de surpression).
- Quand les fonctions de commande électronique sont simulées lors des essais en usine, les fonctions importantes de verrouillage qui doivent fonctionner de façon fiable dès le début du démarrage doivent également être implémentées.

8.3 Incertitudes des simulateurs de centrale, des calculs de surpression et des paramètres de régulation

8.3.1 Généralités

Toutes les simulations sont sujettes à des incertitudes. Cela s'applique aux simulateurs de centrale, aux calculs de surpression et des paramètres de régulation qui comportent tous les mêmes éléments. Il y a différentes raisons pour ces incertitudes. Dans les Paragraphes qui suivent, les incertitudes inévitables sont relevées en fonction de leur origine.

8.3.2 Incertitudes sur les données d'entrée

Il faut distinguer entre

- les incertitudes imprévisibles dans les données d'entrée, et
- les simplifications spécifiques faites dans le traitement des données d'entrée.

- Personnel training in plant operation either in the workshop or on site. If training is to be carried out on the original control system, here again a real-time simulator shall be used for the plant.

8.2 Simulator characteristics

The simulator is meant to reproduce all important physical properties of the part to be simulated as exactly as possible. Besides the steady-state behaviour, above all the dynamic properties shall be reproduced correctly, including, in detail, the following.

- In plant simulations, all the significant components of the water passage system shall be determined. For pipe sections subjected to a high degree of dynamic pressure variations, the water compressibility and the pipe wall flexibility shall be taken into account. Surge tanks shall be carefully modelled, particularly if extreme water levels are to be determined, whereas distribution pipes and similar short pipe sections can often be simplified.
- Characteristic diagrams of hydraulic machines and other relevant characteristic curves shall be entered as accurately as possible, at least for all relevant areas (model characteristic diagrams and curves).
- Adjusting devices should contain all non-linearities, for example servomotor speed limitations or graded actuating laws.
- In separate networks, the load characteristics are seldom known. Therefore, it shall be made sure that even the most unfavourable cases are considered in the simulation.
- In order to avoid damage due to incorrect interlocking or control times during start-up, the influence of the forces on the servomotor times should be taken into account when testing oil and water hydraulic control systems with important interlocking functions (for example headrace- and tailrace spherical valve control systems in connection with difficult pressure surge conditions).
- When simulating electronic control functions in work shop tests, important interlocking functions which shall operate reliably right from the beginning during start-up, are also to be implemented.

8.3 Inaccuracy of plant simulators, calculations of pressure surge and control parameters

8.3.1 General

All simulations are prone to inaccuracies. This applies to plant simulators, calculations of pressure surge and control parameters all of which have the same elements. There are different reasons for the inaccuracies. In the following Subclauses, the unavoidable inaccuracies are listed according to their origin.

8.3.2 Inaccuracy of input data

Distinction must be made between

- unforeseeable inaccuracies of the input data, and
- specific simplifications made in input data processing.

Exemples d'incertitudes imprévisibles dans les données d'entrée:

- écarts sur les diagrammes et courbes caractéristiques modèles des turbines et des soupapes par rapport à ceux de la centrale;
- écarts sur le moment d'inertie du groupe;
- écarts sur les résistances à la friction et les coefficients de résistance des différents composants;
- écarts sur les vitesses de manoeuvre des organes de réglage du distributeur et des vannes causés par des forces et des couples hydrauliques.

Ces facteurs ne peuvent pas être mesurés et peuvent avoir pour conséquence des différences significatives entre la simulation et la réalité.

Lors de la préparation des données d'entrée, les simplifications systématiques suivantes sont par exemple faites:

- simplification des conduites d'amenée, piquages, cônes;
- ajustement des sections partielles ou des vitesses d'onde des différents tronçons de conduite par rapport aux pas de temps de calcul;
- considération grandement simplifiée de l'inertie des masses d'eau dans les groupes.

En général, les effets de ces simplifications systématiques peuvent être maintenus dans des limites raisonnables lorsque cela a été effectué avec soin.

8.3.3 Incertitudes liées aux programmes de calcul

Les programmes sont basés sur la connaissance actuelle de la description mathématique des processus physiques significatifs et sur les méthodes numériques pour résoudre les systèmes d'équation. Quelques exemples de simplifications de calcul sont donnés ci-après, desquels résultent des incertitudes de calcul:

- utilisation de la théorie de la ligne de courant, en négligeant par conséquent les influences multidimensionnelles;
- énergie cinétique, négligée;
- utilisation des diagrammes et courbes caractéristiques en régime statique;
- utilisation de signaux temporels pour des processus non stationnaires qui en réalité sont continus.

L'expérience a montré que ces influences sont si faibles dans ces processus à évolution relativement lente qu'elles peuvent en fait être négligées.

8.3.4 Conclusions

On peut conclure en disant que

- les résultats des simulations numériques, y compris les simulateurs de centrale, sont en général prédisposés aux erreurs;
- beaucoup d'expérience est nécessaire pour décider des simplifications et pour juger les documents et les résultats disponibles;
- l'expérience acquise à partir des calculs de suppression et des processus de régulation, en utilisant les mêmes éléments et simplifications que les simulateurs de centrale, ont montré que si l'on procède avec soin, les écarts de comportement de la centrale restent dans des limites acceptables, de telle sorte que les résultats de la simulation peuvent être utilisés pour dimensionner des parties de la centrale, pour juger les systèmes de régulation et pour prérégler les paramètres de régulation.

Examples of unforeseeable uncertainties of the input data are

- deviations of model characteristic diagrams and curves of the turbines and valves from those of the plant;
- deviations of the unit's moment of inertia;
- deviations of the friction resistances and the resistance coefficients of individual components;
- deviations of the actuator speeds of wicket gates and valves due to hydraulic forces and moments.

These factors cannot be measured and can result in significant differences between simulation and reality.

When preparing the input data, the following systematic simplifications are for instance made:

- simplification of distributing conduits, branches, cones;
- adjustment of the partial sections or wave velocities of staggered conduit systems to the computed time intervals;
- greatly simplified consideration of the mass inertia of the water masses in the units.

Generally, the effects of these systematic simplifications can be maintained in reasonably confined limits when being dealt with carefully.

8.3.3 Inaccuracy of computing programmes

The programmes are based on the actual knowledge of the mathematical description of the relevant physical processes and the numerical methods for solving the equation systems. Here are some examples of computing simplifications which result in computing inaccuracies:

- using the streamline theory thus neglecting multi-dimensional influences;
- neglect of the speed energy;
- using steady-state characteristic diagrams and curves;
- cycle time of non-stationary processes which in reality are continuous.

Experience has shown that these influences are so small in these relatively slowly evolving processes that they can actually be neglected.

8.3.4 Conclusions

In summary, it can be said that

- the results of computational simulations including plant simulators are generally prone to faults;
- a lot of experience is required to decide on the simplifications and to judge the documents and results available;
- experience gained from calculations of pressure surge and control processes, using the same elements and simplifications as plant simulators, have shown that when being dealt with carefully the deviations from the behaviour in the plant remain within acceptable limits so that the simulation results can be used for dimensioning the plant parts, for judging the control systems and for pre-setting the control parameters.

Annexe A (informative)

Procédures d'essais

A.1 Procédure d'essai d'insensibilité

(Régulation de vitesse)

a) Essai en usine

Valeurs mesurées à enregistrer:

- ordonnées: valeur réelle de la vitesse;
- abscisses: valeur réelle de la course du servomoteur.

Procédure d'essai:

La valeur désirée pour la vitesse doit être modifiée par échelons (avec un signal de perturbation additionnel) avec des échelons définis plus/moins. D'échelon en échelon, l'amplitude des variations de la vitesse se trouve réduite jusqu'à ce que le servomoteur ne présente plus de déplacement.

La valeur correspondante de l'amplitude de la variation de vitesse donne l'insensibilité de la régulation du groupe.

b) Essai sur site

Valeurs mesurées à enregistrer:

- ordonnées: valeur réelle de la vitesse ou de la fréquence;
- abscisses: course du servomoteur.

Procédure d'essai:

Une procédure possible d'essai consiste à utiliser le groupe connecté au réseau sans signal de perturbation additionnel. Dans la plage d'insensibilité, où seul le signal de vitesse est modifié, l'enregistrement montre l'insensibilité à partir d'une bande avec une accumulation de lignes, en partie verticales.

L'inclinaison de la bande d'insensibilité correspond à la valeur réglée de statisme permanent vitesse/course.

A.2 Procédure d'essai de temps mort

a) Essai en usine

Valeurs mesurées à enregistrer:

- ordonnées: signal de perturbation, valeur réelle de la vitesse et course du servomoteur;
- abscisses: temps.

Procédure d'essai:

La vitesse est à modifier par échelons dans la limite de $\pm 10\%$ de la vitesse nominale. La durée entre la variation soudaine de la valeur réelle de la vitesse et le commencement du déplacement du servomoteur est le temps mort. Une modification par échelons de la vitesse d'une valeur égale à 4 fois la bande morte spécifiée est convenable.

Annex A (informative)

Test procedures

A.1 Insensitivity test procedure

(Speed control)

a) Test in the workshop

Measuring values to be recorded:

- ordinate: actual value of speed;
- abscissa: actual value of servo motor stroke.

Test procedure:

The desired value of speed has to be changed in steps (with a disturbance signal) with defined plus/minus steps. From step to step, the amplitude of speed change becomes reduced until the servo motor shows no more movement.

The corresponding value of amplitude of speed change shows the insensitivity from the unit control.

b) Test in the field

Measuring values to be recorded:

- ordinate: actual value of speed or frequency;
- abscissa: servo motor stroke.

Test procedure:

One possible test procedure is to use the unit connected to the grid without additional disturbance signal. In the range of insensitivity, where only the speed signal is changing, the record shows the insensitivity as a band with accumulated, partly vertical lines.

The inclination from the band of insensitivity corresponds to the adjusted permanent speed droop.

A.2 Dead time test procedure

a) Test in the workshop

Measuring values to be recorded:

- ordinate: disturbance signal, actual value of speed and servomotor stroke;
- abscissa: time.

Test procedure:

The speed has to be changed in steps within $\pm 10\%$ of the rated speed. The time between the change in steps of actual value of speed and the beginning from the movement of servomotor is the dead time. The stepwise speed change of value equal to 4 times the specified dead band will be suitable.

b) Essai sur site

Les mêmes essais que ceux en usine peuvent être effectués, ou l'on peut procéder comme suit.

Valeurs mesurées à enregistrer:

- ordonnées: valeur réelle de la vitesse et course du servomoteur;
- abscisses: temps.

Procédure d'essai:

Le temps mort peut être obtenu à partir d'un délestage. C'est la durée entre le début de l'augmentation de vitesse et le début du déplacement du servomoteur.

L'essai du temps mort peut également être effectué avec des signaux d'entrée triangulaires à la place des échelons.

A.3 Procédure d'essai pour les indications de pression des servomoteurs

a) Objectif de l'essai

Déterminer l'amplitude et la direction des couples hydrauliques et de frottement (à l'ouverture et à la fermeture) dans le cas de révisions.

Ces amplitudes dépendent

- de la taille de la machine;
- de la chute et/ou le débit;
- de l'angle d'ouverture maximal des pales;
- du frottement;
- de la forme géométrique du distributeur et des pales.

Valeurs mesurées à enregistrer:

- ordonnées: les pressions courantes des côtés ouverture et fermeture du servomoteur p_o et p_c ;
- abscisses: la course du servomoteur et/ou la valeur de l'échelle indicatrice correspondante (on doit définir précisément ce qu'est 100 %);
- paramètres additionnels à noter:
 - la corrélation et/ou les échelles correspondantes pour la course du servomoteur vannage Y_{ga} en fonction de l'angle des aubes directrices $\varnothing$;
 - la course du servomoteur pales Y_{ru} en fonction de l'angle des pales β_2 et/ou l'angle tournant sur la plaque;
 - la chute statique H ;
 - le niveau d'eau aval;
 - la puissance de l'alternateur avec la turbine à pleine ouverture.

b) Procédure d'essai

Si possible, il convient que les mesures soient faites avec un appareil enregistreur.

En général, les aubes directrices et/ou les pales doivent être déplacées lentement et uniformément, d'une part afin de prendre en compte l'inertie des instruments de mesure et, d'autre part pour garantir le frottement par coulissement. En même temps, il convient que les pressions des côtés ouverture et fermeture soient mesurées, en faisant attention à ce que le servomoteur se déplace bien pendant la lecture (frottement par coulissement).

b) Test in the field

The same tests as in the workshop can be carried out, or as follows.

Measuring values to be recorded:

- ordinate: actual value of speed and servomotor stroke;
- abscissa: time.

Test procedure:

The dead time can be derived from a load rejection. It is the time between the beginning of speed increase and the beginning of the movement of the servomotor.

The dead time test can also be carried out with triangular input signals instead of steps.

A.3 Test procedure for the pressure indication from servomotors**a) Objective of the test**

To determine the size and direction of the hydraulic and frictional moments (opening and closing) for refurbishment purposes.

These sizes depend on:

- machine size;
- head and/or flow rate;
- maximum opening angle of the blades;
- friction;
- geometric form of wicket gate and runner.

Measuring values to be recorded:

- ordinate: the pressures prevailing on the opening and closing sides of the servomotor p_o and p_c ;
- abscissa: the servomotor's stroke and/or the value of the corresponding indicating scale (it shall be precisely defined what is 100 %);
- additional parameters to be noted:
 - the correlation and/or the relevant attached scales for servomotor stroke Y_{ga} versus guide vane angle $\varnothing$;
 - servomotor stroke Y_{ru} versus runner blade angle β_2 and/or turning angle on the plate;
 - the static head H ;
 - the tail race level;
 - the generator power at fully opened turbine.

b) Test procedure

If possible, the measurements shall be plotted with a recorder.

In general, the wicket gate and/or the runner shall be moved slowly and uniformly, on the one hand, to take the inertia of the measuring instruments into account, and on the other hand to guarantee sliding friction. At the same time, the pressures in the opening and closing sides should be measured, taking care that the servomotor moves during reading (sliding friction).

L'essai est à effectuer en 2 étapes:

- alternateur non synchronisé et aubes directrices de la position de marche à vide à la position fermée et vice versa;
- alternateur connecté au réseau depuis la position de pleine ouverture à la position de marche à vide et vice versa.

Une mesure doit toujours être effectuée dans les directions de l'ouverture et de la fermeture.

c) Mesures de pressions et course

Les instruments de mesure (manomètres) pour mesurer les pressions de l'huile ou de l'eau doivent être raccordés directement aux servomoteurs et non pas à une tuyauterie d'alimentation.

Sur les dispositifs de commande avec des vérins de fermeture utilisant l'eau, la pression de l'eau doit également être mesurée ou enregistrée sur toute la course, étant donné que la pression n'est pas constante en raison de la pression qui varie dans la conduite forcée.

Si les mesures ne sont pas effectuées au moyen d'un enregistreur, on doit observer ce qui suit.

- Il convient que les pressions soient lues à des intervalles respectifs d'au moins 10 % de la course. Il faut prendre garde à ce que le servomoteur se déplace lentement pendant la durée de la lecture.
- La pression ne peut être lue aux points de changement de sens (c'est-à-dire aux positions finales OUVERTE et FERMEE). C'est pourquoi, elle doit être mesurée à 2 % et à 98 %. Il convient que les ouvertures, où les pressions sont à lire, soient marquées sur l'indicateur dès le début.
- Il convient que les instruments de mesure soient étalonnés avant et après la mesure.
- Pour contrôler s'il n'y a pas de frottement excessif, l'indexage doit tout d'abord être réalisé avec une bêche spirale vide.

A.4 Procédure pour la mesure de caractéristiques de pression et débit des soupapes de régulation

a) Caractéristique de la pression (voir Figure 7a))

Valeurs mesurées à relever:

- ordonnées: pression dans les chambres pour l'ouverture et la fermeture;
- abscisses: position de la soupape.

Procédure d'essai:

Les chambres doivent être fermées ou le servomoteur doit se trouver dans la position finale correspondante, où le piston du servomoteur ne peut pas bouger, quand la soupape de régulation s'ouvre. L'inclinaison de la courbe de pression dépend des fuites internes de la soupape de régulation ou de la soupape de régulation et du servomoteur.

b) Caractéristique du débit (voir Figure 7b))

Valeurs mesurées à enregistrer:

- ordonnées: vitesse du servomoteur (débit);
- abscisses: position du tiroir de la soupape.

The test shall be carried out in 2 stages:

- generator unsynchronised and wicket gate from no-load position to closed position and vice versa;
- generator parallel to grid from full open position to no-load position and vice versa.

A measurement shall always be made in the opening and the closing direction.

c) Pressure and stroke measurement

Measuring instruments (manometers) to measure oil or water pressures shall be connected directly to the servomotors and not to a supply piping.

On control devices with water closing cylinders, the water pressure shall also be measured or recorded over the whole stroke, since the pressure is not constant because of the varying penstock pressure.

If the measurements are not carried out with a recorder, the following shall be observed.

- The pressures should be read at intervals of at least every 10 % of the stroke. Care shall be taken to see that the servomotor moves slowly at the time of reading.
- The pressure cannot be read in the reversal points (i.e. end positions OPEN and CLOSED). Therefore, it shall be measured at 2 % and 98 %. The openings, where the pressures shall be read, should be marked on the indicator at the beginning.
- The measuring instruments should be calibrated before and after the measurement.
- To check whether no excessive friction exists, indexing shall first of all be carried out with an empty spiral case.

A.4 Procedure for the measurement of the pressure and flow characteristics of control valves

a) Pressure characteristic (see Figure 7a))

Measuring values to be recorded:

- ordinate: pressure in the working ports for opening and closing;
- abscissa: valve position.

Test procedure:

The working ports shall be closed or the servomotor shall be in the corresponding end position, where the servomotor piston cannot move, when the control valve opens. The inclination from the pressure curve depends on the internal leakage of the control valve or from the control valve and the servomotor.

b) Flow characteristic (see Figure 7b))

Measuring values to be recorded:

- ordinate: servomotor speed (flow);
- abscissa: valve spool position.

Procédure d'essai:

Le tiroir de la soupape se trouve déplacé d'une course définie. L'inclinaison de la courbe de la course du servomoteur est proportionnelle au débit sous une chute de pression spécifiée. Le débit peut être calculé à partir de la formule:

$Q = A \times v$ avec A la section du servomoteur et v la vitesse du piston du servomoteur.

$v = \frac{Y}{t}$ avec Y la course du servomoteur et t le temps mesuré.

L'essai doit être répété pour plusieurs valeurs de position du tiroir de la soupape.

Le débit dépend aussi de la différence de pression Δp au niveau de la soupape de régulation. La relation est donnée par la formule:

$$Q \approx \sqrt{\Delta p}$$

Test procedure:

The valve spool becomes displaced by a defined stroke. The inclination from the curve of the servomotor stroke is proportional to the flow under a specified pressure drop. The flow can be calculated with the formula:

$$Q = A \times v \text{ with the servomotor area } A \text{ and the velocity } v \text{ of the servomotor piston.}$$

$$v = \frac{Y}{t} \text{ with the servomotor stroke } Y \text{ and the measuring time } t.$$

The test shall be repeated for several values of valve position.

The flow also depends on the pressure difference Δp at the control valve. The relation is shown by the formula:

$$Q \approx \sqrt{\Delta p}$$

Annexe B (informative)

Recommandation pour les essais des régulateurs turbine

B.1 Généralités

Quelques-uns de ces essais, suivant le tableau ci-après, doivent être réalisés pendant la phase du pré-démarrage, avant de remplir les adductions, appelée communément «en condition sèche». Se reporter à l'Annexe C.

Le terme CFN signifie «Conditions de Fonctionnement Normal». Il peut être nécessaire de réaliser certains essais sur une installation hydroélectrique existante pour des études de rénovation, etc.

Les contrôles suivants doivent être effectués dans les conditions de fonctionnement normal:

- pour une turbine du type à pales réglables, le mécanisme de commande des pales doit être en fonctionnement normal;
- s'il y a une vanne de sûreté ou un by-pass synchrone, ils doivent être réglés pour le fonctionnement normal.

La conduite de la centrale avec les instruments ou indicateurs habituels de conduite, d'enregistrement ou d'intégration, la préparation de protocoles graphiques et la supervision précise doivent être établis pour s'assurer que l'équipement soumis aux essais fonctionne selon les conditions prévues.

Les tableaux B.1 à B.12 suivants donnent, pour les différentes catégories de groupes, des programmes indicatifs d'essais en usine et sur site.

Annex B (informative)

Recommendation for testing of turbine controllers

B.1 General

Some of the tests, as per the following tables, shall be conducted during the pre-start stage prior to filling waterways, commonly referred to as dry condition. Refer to Annex C.

The term NOC means “Normal Operating Conditions”. Some of the tests may be required to be performed on an existing hydro-generating unit for rehabilitation studies, etc.

The following checks shall be made for normal operating conditions:

- for an adjustable blade type turbine, the blade control mechanism shall be in normal operation;
- if a relief valve or synchronous bypass is present, they shall be set for normal operation.

Plant control by ordinary operating, recording or integrating instruments or station meters, preparation of graphical logs and close supervision shall be established to assure that the equipment under test is operating in accordance with the intended conditions.

The following Tables B.1 to B.12 provide indicative test programmes for use in the factory or on site for the different categories of groups.

B.2 Niveau 1 – Groupes fonctionnant en puissance de pointe

B.2.1 Essais en usine

Tableau B.1 – Programme normal d'essais

Groupe fonctionnel	Partie	Essai	Conditions des essais
Modules principaux	Unité de commande hydraulique	1) Fonctions de fermeture rapide 2) Vitesse ouverture/fermeture 3) Fonctions manuelles 4) Essai servovalve/soupape proportionnelle	Servomoteur réel ou d'essai
	Régulateur turbine	1) Régulation d'ouverture 2) Commande multi servomoteurs 3) Supervision/alarmes 4) Autres fonctions	Servosystèmes simulés
Sous-modules	Système d'huile sous pression	1) Régulation de la pression 2) Capacité de la pompe 3) Plage d'alimentation électrique 4) Signaux d'alarme/de déclenchement	Qualité et température de l'huile dans la plage "normale"
	Surveillance de la vitesse	1) Niveaux de vitesse 2) Supervision/alarmes	

B.2 Level 1 – Units for peak load operation

B.2.1 Workshop tests

Table B.1 – Normal test programme

Functional group	Part	Test	Test conditions
Main modules	Hydraulic control unit	1) Shut down functions 2) Opening/closing speed 3) Manual functions 4) Servo/proportional valve test	Actual or dummy servomotor
	Turbine controller	1) Opening control 2) Multi servo control 3) Supervision/alarms 4) Other functions	Simulated servo-systems
Sub-modules	Oil pressure system	1) Pressure control 2) Pump capacity 3) Power supply range 4) Alarm/trip signals	Oil quality and temperature within "normal" range
	Speed monitor	1) Speed levels 2) Supervision/alarms	

Tableau B.2 – Programme complet d'essais

Groupe fonctionnel	Partie	Essai	Conditions des essais
Ensemble du système	Système assemblé	1) Sensibilité/bande morte 2) Temps mort 3) Régulation en boucle fermée (échelon de fréquence, échelon de charge) 4) Délestage à pleine charge	Servomoteur réel ou d'essai Groupe, système hydraulique et réseau simulés
Sous-systèmes	Servosystème 1 Servosystème 2	1) Caractéristique statique et précision 2) Essai dynamique (réponse à échelon ou harmonique)	Servomoteur réel ou d'essai
Modules principaux	Unité de commande hydraulique	1) Caractéristique de la soupape de distribution 2) Fonctions de fermeture rapide 3) Vitesse d'ouverture/de fermeture 4) Fonctions manuelles	Servomoteur réel ou d'essai
	Régulateur turbine	1) Régulation d'ouverture 2) Statisme permanent et autres fonctions de régulation 3) Séquences 4) Commande multiservo 5) Optimisation 6) Supervision/alarmes 7) Autres fonctions	Servosystèmes réels ou simulés Groupe, système hydraulique et réseau simulés
Sous-modules	Système d'huile sous pression	1) Régulation de la pression 2) Capacité de la pompe 3) Capacité de stockage d'énergie de manoeuvre 4) Plage d'alimentation électrique 5) Signaux d'alarme/de déclenchement	Qualité et température de l'huile dans la plage «normale»
	Surveillance de la vitesse	1) Niveaux de vitesse 2) Supervision/alarmes	

Table B.2 – Comprehensive test programme

Functional group	Part	Test	Test conditions
Overall system	Assembled system	1) Sensitivity/dead band 2) Dead time 3) Closed loop control (frequency step, load step) 4) Full load rejection	Actual or dummy servomotor Simulated unit, hydro and grid system
Subsystems	Servosystem 1 Servosystem 2	1) Static characteristic and accuracy 2) Dynamic test (step or harmonic response)	Actual or dummy servomotor
Main modules	Hydraulic control unit	1) Distributing valve characteristic 2) Shut down functions 3) Opening/closing speed 4) Manual functions	Actual or dummy servomotor
	Turbine controller	1, Opening control 2) Permanent droop and other control functions 3) Sequences 4) Multiservo control 5) Optimisation 6) Supervision/alarms 7) Other functions	Actual or simulated servosystems Simulated unit, hydro and grid system
Sub-modules	Oil pressure system	1) Pressure control 2) Pump capacity 3) Energy storage capacity 4) Power supply range 5) Alarm/trip signals	Oil quality and temperature within "normal" range
	Speed monitor	1) Speed levels 2) Supervision/alarms	

B.2.2 Essais sur site

Tableau B.3 – Programme normal d'essais

Groupe fonctionnel	Partie	Essai	Conditions des essais
Ensemble du système	Système complet	1) Stabilité en marche à vide 2) Stabilité en charge 3) Délestages de charge	Conditions de fonctionnement normal (CFN)
Sous-systèmes	Servosystème 1 Servosystème 2	1) Caractéristique statique et précision 2) Essai dynamique (réponse à échelon ou harmonique ^{a)})	Essai à sec
Modules principaux	Unité de commande hydraulique	1) Fonctions de fermeture rapide 2) Vitesse d'ouverture/de fermeture 3) Fonctions manuelles	CFN
	Régulateur turbine	1) Régulation d'ouverture 2) Commande multiservo 3) Supervision/alarmes 4) Autres fonctions	
Sous-modules	Système d'huile sous pression	1) Régulation de la pression 2) Signaux d'alarme/de déclenchement	CFN
	Surveillance de la vitesse	1) Niveaux de vitesse 2) Supervision/alarmes	
a) Normalement seulement pour l'essai de type.			

B.2.2 Field tests**Table B.3 – Normal test programme**

Functional group	Part	Test	Test conditions
Overall system	Complete system	1) No-load stability 2) Load stability 3) Load rejections	Normal operational conditions (NOC)
Subsystems	Servosystem 1 Servosystem 2	1) Static characteristic and accuracy 2) Dynamic test (step or harmonic response ^{a)})	Dry test
Main modules	Hydraulic control unit	1) Shut down functions 2) Opening/closing speed 3) Manual functions	NOC
	Turbine controller	1) Opening control 2) Multiservo control 3) Supervision/alarms 4) Other functions	
Sub-modules	Oil pressure system	1) Pressure control 2) Alarm/trip signals	NOC
	Speed monitor	1) Speed levels 2) Supervision/alarms	
a) Normally only for type test.			

Tableau B.4 – Programme complet d'essais

Groupe fonctionnel	Partie	Essai	Conditions des essais
Ensemble du système	Système complet	1) Stabilité en marche à vide 2) Stabilité en charge 3) Délestages de charge 4) Essai de stabilité en fonctionnement en réseau isolé	CFN CFN (réseau isolé) ou fonctionnement en réseau inter-connecté avec écart de vitesse simulé
Sous-systèmes	Servosystème 1 Servosystème 2	1) Caractéristique statique et précision 2) Essai dynamique (réponse à échelon ou harmonique ^{a)})	Essai à sec
Modules principaux	Unité de commande hydraulique	1) Fonctions de fermeture rapide 2) Vitesse d'ouverture/de fermeture 3) Fonctions manuelles	CFN
	Régulateur turbine	1) Régulation d'ouverture 2) Statisme permanent et autres fonctions de régulation 3) Séquences 4) Commande multiservo 5) Optimisation 6) Supervision/alarmes 7) Autres fonctions	
Sous-modules	Système d'huile sous pression	1) Régulation de la pression 2) Signaux d'alarme/de déclenchement	CFN
	Surveillance de la vitesse	1) Niveaux de vitesse 2) Supervision/alarmes	
a) Normalement seulement pour l'essai de type.			

Table B.4 – Comprehensive test programme

Functional group	Part	Test	Test conditions
Overall system	Complete system	1) No-load stability 2) Load stability 3) Load rejections 4) Isolated operation stability test	NOC NOC (isolated) or parallel operation with simulated speed deviation
Subsystems	Servosystem 1 Servosystem 2	1) Static characteristic and accuracy 2) Dynamic test (step or harmonic response ^{a)})	Dry test
Main modules	Hydraulic control unit	1) Shut down functions 2) Opening/closing speed 3) Manual functions	NOC
	Turbine controller	1) Opening control 2) Permanent droop and other control functions 3) Sequences 4) Multiservo control 5) Optimisation 6) Supervision/alarms 7) Other functions	
Sub-modules	Oil pressure system	1) Pressure control 2) Alarm/trip signals	NOC
	Speed monitor	1) Speed levels 2) Supervision/alarms	
a) Normally only for type test.			

B.3 Niveau 2 – Groupes fonctionnant en puissance de base

NOTE Groupes dans les grands réseaux. Petits groupes hydro-électriques fonctionnant en réseau isolé.

B.3.1 Essais en usine

Tableau B.5 – Programme normal d'essais

Groupe fonctionnel	Partie	Essai	Conditions des essais
Modules principaux	Unité de commande hydraulique	1) Fonctions de fermeture rapide 2) Vitesse d'ouverture/de fermeture 3) Fonctions manuelles 4) Essai servovalve/vanne proportionnelle	Servomotor réel ou d'essai
	Régulateur turbine	1) Régulation d'ouverture 2) Commande multiservo 3) Supervision/alarmes 4) Autres fonctions	Servosystèmes simulés
Sous-modules	Système d'huile sous pression	1) Régulation de la pression 2) Capacité de la pompe 3) Alarme/signaux de déclenchement	Qualité et température de l'huile dans la plage «normale»
	Surveillance de la vitesse	1) Niveaux de vitesse 2) Supervision/alarmes	

B.3 Level 2 – Units for base load operation

NOTE Units in big grids. Small hydro units for isolated load operation.

B.3.1 Workshop tests

Table B.5 – Normal test programme

Functional group	Part	Test	Test conditions
Main modules	Hydraulic control unit	1) Shut down functions 2) Opening/closing speed 3) Manual functions 4) Servo/proportional valve test	Actual or dummy servomotor
	Turbine controller	1) Opening control 2) Multiservo control 3) Supervision/alarms 4) Other functions	Simulated servosystems
Sub-modules	Oil pressure system	1) Pressure control 2) Pump capacity 3) Alarm/trip signals	Oil quality and temperature within "normal" range
	Speed monitor	1) Speed levels 2) Supervision/alarms	

Tableau B.6 – Programme complet d'essais

Groupe fonctionnel	Partie	Essai	Conditions des essais
Ensemble du système	Système assemblé	1) Sensibilité/bande morte 2) Temps mort 3) Régulation en boucle fermée (échelon de fréquence, échelon de charge)	Servomoteur réel ou d'essai Groupe, système hydraulique et réseau simulés
Sous-systèmes	Servo-système 1 Servo-système 2	1) Caractéristiques statiques et précision 2) Essai dynamique (réponse à échelon ou harmonique ^{a)})	Servomoteur réel ou d'essai
Modules principaux	Unité de commande hydraulique	1) Caractéristique de la soupape de distribution 2) Fonctions de fermeture rapide 3) Vitesse d'ouverture/de fermeture 4) Fonctions manuelles	Servomoteur réel ou d'essai
	Régulateur turbine	1) Régulation d'ouverture 2) Statisme permanent et autres fonctions de régulation 3) Séquences 4) Commande multiservo 5) Optimisation 6) Supervision/alarmes 7) Autres fonctions	Servosystèmes réels ou simulés Groupe, système hydraulique et réseau simulés
Sous-modules	Système d'huile sous pression	1) Régulation de la pression 2) Capacité de la pompe 3) Capacité de stockage d'énergie de manoeuvre 4) Plage d'alimentation électrique 5) Signaux d'alarme/de déclenchement	Qualité et température de l'huile dans la plage «normale»
	Surveillance de la vitesse	1) Niveaux de vitesse 2) Supervision/alarmes	

^{a)} Normalement seulement pour l'essai de type.

Table B.6 – Comprehensive test programme

Functional group	Part	Test	Test conditions
Overall system	Assembled system	1) Sensitivity/dead band 2) Dead time 3) Closed loop control (frequency step, load step)	Actual or dummy servomotor Simulated unit, hydro and grid system
Subsystems	Servo system 1 Servo system 2	1) Static characteristic and accuracy 2) Dynamic test (step or harmonic response ^{a)})	Actual or dummy servomotor
Main modules	Hydraulic control unit	1) Distr. valve characteristic 2) Shut down functions 3) Opening/closing speed 4) Manual functions	Actual or dummy servomotor
	Turbine controller	1) Opening control 2) Permanent droop and other control functions 3) Sequences 4) Multiservo control 5) Optimisation 6) Supervision/alarms 7) Other functions	Actual or simulated servosystems Simulated unit, hydro and grid system
Sub-modules	Oil pressure system	1) Pressure control 2) Pump capacity 3) Energy storage capacity 4) Power supply range 5) Alarm/trip signals	Oil quality and temperature within "normal" range
	Speed monitor	1) Speed levels 2) Supervision/alarms	
a) Normally only for type test.			

B.3.2 Essais sur site

Tableau B.7 – Programme normal d'essais

Groupe fonctionnel	Partie	Essai	Conditions des essais
Ensemble du système	Système complet	1) Délestages de charge	CFN
Sous-systèmes	Servosystème 1 Servosystème 2	1) Caractéristique statique et précision 2) Essai dynamique (réponse à échelon ou harmonique ^{a)})	Essai à sec
Modules principaux	Unité de commande hydraulique	1) Fonctions de fermeture rapide 2) Vitesse d'ouverture/de fermeture 3) Fonctions manuelles	CFN
	Régulateur turbine	1) Régulation d'ouverture 2) Commande multiservo 3) Supervision/alarmes 4) Autres fonctions	
Sous-modules	Système d'huile sous pression	1) Régulation de la pression 2) Signaux d'alarme/de déclenchement	CFN
	Surveillance de la vitesse	1) Niveaux de vitesse 2) Supervision/alarmes	
a) Normalement seulement pour l'essai de type.			

B.3.2 Field tests**Table B.7 – Normal test programme**

Functional group	Part	Test	Test conditions
Overall system	Complete system	1) Load rejections	NOC
Subsystems	Servosystem 1 Servosystem 2	1) Static characteristic and accuracy 2) Dynamic test (step or harmonic response ^{a)})	Dry test
Main modules	Hydraulic control unit	1) Shut down functions 2) Opening/closing speed 3) Manual functions	NOC
	Turbine controller	1) Opening control 2) Multiservo control 3) Supervision/alarms 4) Other functions	
Sub-modules	Oil pressure system	1) Pressure control 2) Alarm/trip signals	NOC
	Speed monitor	1) Speed levels 2) Supervision/alarms	
a) Normally only for type test.			

Tableau B.8 – Programme complet d'essais

Groupe fonctionnel	Partie	Essai	Conditions des essais
Ensemble du système	Système complet	1) Délestages de charge 2) Essai de stabilité en fonctionnement en réseau séparé	CFN CFN (réseau isolé) ou fonctionnement en réseau inter-connecté avec un écart de vitesse simulé
Sous-systèmes	Servosystème 1 Servosystème 2	1) Caractéristique statique et précision 2) Essai dynamique (réponse à échelon ou harmonique ^{a)})	Essai à sec
Modules principaux	Unité de commande hydraulique	1) Fonctions de fermeture rapide 2) Vitesse d'ouverture/de fermeture 3) Fonctions manuelles	CFN
	Régulateur turbine	1) Régulation d'ouverture 2) Statisme permanent et autres fonctions de régulation 3) Séquences 4) Commande multiservo 5) Optimisation 6) Supervision/alarmes 7) Autres fonctions	
Sous-modules	Système d'huile sous pression	1) Régulation de la pression 2) Signaux d'alarme/de déclenchement	CFN
	Surveillance de la vitesse	1) Niveaux de vitesse 2) Supervision/alarmes	

^{a)} Normalement seulement pour l'essai de type.

Table B.8 – Comprehensive test programme

Functional Group	Part	Test	Test conditions
Overall system	Complete system	1) Load rejections 2) Isolated operation stability test	NOC NOC (isolated) or parallel operation with simulated speed deviation
Subsystems	Servosystem 1 Servosystem 2	1) Static characteristic and accuracy 2) Dynamic test (step or harmonic response ^{a)})	Dry test
Main modules	Hydraulic control unit	1) Shut down functions 2) Opening/closing speed 3) Manual functions	NOC
	Turbine controller	1) Opening control 2) Permanent droop and other control functions 3) Sequences 4) Multiservo control 5) Optimisation 6) Supervision/alarms 7) Other functions	
Sub-modules	Oil pressure system	1) Pressure control 2) Alarm/trip signals	NOC
	Speed monitor	1) Speed levels 2) Supervision/alarms	
a) Normally only for type test.			

B.4 Niveau 3 – Groupes avec alternateurs asynchrones

B.4.1 Essais en usine

Tableau B.9 – Programme normal des essais

Groupe fonctionnel	Partie	Essai	Conditions des essais
Modules principaux	Unité de commande hydraulique	1) Fonctions de fermeture rapide 2) Vitesse d'ouverture/de fermeture 3) Fonctions manuelles 4) Essai servovalve/soupape proportionnelle	
	Système de régulation d'ouverture	1) Régulation d'ouverture 2) Supervision/alarmes	
Sous-modules	Système d'huile sous pression	1) Régulation de la pression 2) Alarme/signaux de déclenchement	Qualité et température de l'huile dans la plage «normale»
	Surveillance de la vitesse	1) Niveaux de vitesse 2) Supervision/alarmes	

Tableau B.10 – Programme complet d'essais

Groupe fonctionnel	Partie	Essai	Conditions des essais
Sous-systèmes	Servosystème 1 Servosystème 2	1) Caractéristique statique et précision 2) Essai dynamique (réponse à échelon ou harmonique)	
Modules principaux	Unité de commande hydraulique	1) Fonctions de fermeture rapide 2) Vitesse d'ouverture/de fermeture 3) Fonctions manuelles	
	Système de régulation d'ouverture	1) Régulation d'ouverture 2) Supervision/alarmes	
Sous-modules	Système d'huile sous pression	1) Régulation de la pression 2) Capacité de pompage 3) Capacité de stockage d'énergie de manoeuvre 4) Plage d'alimentation électrique 5) Signaux d'alarme/de déclenchement	Qualité et température de l'huile dans la plage «normale»
	Surveillance de la vitesse	1) Niveaux de vitesse 2) Supervision/alarmes	

B.4 Level 3 – Units with induction generators

B.4.1 Workshop tests

Table B.9 – Normal test programme

Functional group	Part	Test	Test conditions
Main modules	Hydraulic control unit	1) Shut down functions 2) Opening/closing speed 3) Manual functions 4) Servo/proportional valve test	
	Opening control device	1) Opening control 2) Supervision/alarms	
Sub-modules	Oil pressure system	1) Pressure control 2) Alarm/trip signals	Oil quality and temperature within "normal" range
	Speed monitor	1) Speed levels 2) Supervision/alarms	

Table B.10 – Comprehensive test programme

Functional group	Part	Test	Test conditions
Subsystems	Servosystem 1 Servosystem 2	1) Static characteristic and accuracy 2) Dynamic test (step or harmonic response)	
Main modules	Hydraulic control unit	1) Shut down functions 2) Opening/closing speed 3) Manual functions	
	Opening control device	1) Opening control 2) Supervision/alarms	
Sub-modules	Oil pressure system	1) Pressure control 2) Pump capacity 3) Energy storage capacity 4) Power supply range 5) Alarm/trip signals	Oil quality and temperature within "normal" range
	Speed monitor	1) Speed levels 2) Supervision/alarms	

B.4.2 Essais sur site

Tableau B.11 – Programme normal d'essais

Groupe fonctionnel	Partie	Essai	Conditions des essais
Ensemble du système	Système complet	1) Fermeture rapide	CFN
Modules principaux	Unité de commande hydraulique	2) Fonctions de fermeture rapide 3) Vitesse d'ouverture/de fermeture 4) Fonctions manuelles	CFN
	Système de régulation d'ouverture	1) Régulation d'ouverture 2) Supervision/alarmes	
Sous-modules	Système d'huile sous pression	1) Régulation de la pression 2) Signaux d'alarme/de déclenchement	CFN
	Surveillance de la vitesse	1) Niveaux de vitesse 2) Supervision/alarmes	

Tableau B.12 – Programme complet d'essais

Groupe fonctionnel	Partie	Essai	Conditions des essais
Ensemble du système	Système complet	1) Fermeture rapide	CFN
Sous-systèmes	Servosystème	1) Caractéristique statique et précision	Essai à sec
Modules principaux	Unité de commande hydraulique	1) Fonctions de fermeture rapide 2) Vitesse d'ouverture/de fermeture 3) Fonctions manuelles	CFN
	Système de régulation d'ouverture	1) Régulateur d'ouverture 2) Supervision/alarmes	
Sous-modules	Système d'huile sous pression	1) Régulation de la pression 2) Signaux d'alarme/de déclenchement	CFN
	Surveillance de la vitesse	1) Niveaux de vitesse 2) Supervision/alarmes	

B.4.2 Field tests**Table B.11 – Normal test programme**

Functional group	Part	Test	Test conditions
Overall system	Complete system	1) Shut down	NOC
Main modules	Hydraulic control unit	2) Shut down functions 3) Opening/closing speed 4) Manual functions	NOC
	Opening control device	1) Opening control 2) Supervision/alarms	
Sub-modules	Oil pressure system	1) Pressure control 2) Alarm/trip signals	NOC
	Speed monitor	1) Speed levels 2) Supervision/alarms	

Table B.12 – Comprehensive test programme

Functional group	Part	Test	Test conditions
Overall system	Complete system	1) Shut down	NOC
Subsystems	Servosystem	1) Static characteristic and accuracy	Dry test
Main modules	Hydraulic control unit	1) Shut down functions 2) Opening/closing speed 3) Manual functions	NOC
	Opening control device	1) Opening control 2) Supervision/alarms	
Sub-modules	Oil pressure system	1) Pressure control 2) Alarm/trip signals	NOC
	Speed monitor	1) Speed levels 2) Supervision/alarms	

Annexe C (informative)

Essais sur site de systèmes de régulation

NOTE Il est rappelé dans cette annexe quelques éléments de déroulement d'essais sur site dans le cadre de la réception de composants d'une turbine hydraulique en conformité avec la CEI 60545.

C.1 Données sur les conditions de fonctionnement

Les données suivantes doivent être disponibles pour avoir une mise en service satisfaisante du système de régulation:

- ouverture des aubes directrices (ou ouverture des pointeaux des turbines à action) pour la marche à vide, le démarrage et les limites de cavitation, en fonction des niveaux d'eau amont et aval, ainsi que, si besoin, ouverture des pales de roue ou du déflecteur;
- caractéristiques du système de régulation de la turbine (régulateurs, etc.) et du servomoteur;
- réglage du dispositif de protection de survitesse;
- caractéristiques du fluide pour le système d'huile sous pression, spécifications du filtre et information sur la fréquence et la méthode d'épuration;
- vitesse maximale d'emballement à l'état d'équilibre et variations maximales de vitesse et de pression aux différentes chutes de fonctionnement;
- information sur les pressions et niveaux d'huile auxquels les pompes et l'accumulateur devraient normalement fonctionner;
- pressions maximale et minimale du système d'huile sous pression.

C.2 Essais de prédémarrage avant de remplir les adductions d'eau

L'étape n° 1 est la suivante:

- calibrage des dispositifs de graduation et d'asservissement pour l'ouverture du distributeur et, où cela est applicable, pour les pales de roue, les pointeaux et les déflecteurs;
- fonctionnement du système d'huile sous pression se composant de pompes, de l'accumulateur, des dispositifs de démarrage et d'arrêt actionnés automatiquement et manuellement (soupapes de commande, soupapes d'isolement, etc.) et dispositifs de signalisation;
- vérification des niveaux et pressions du système d'huile sous pression;
- vérification des dispositifs de protection, tels que les alarmes et déclenchements de niveau, pression et température d'huile, avec les réglages définitifs;
- calibrage du convertisseur de puissance;
- vérification des temps de manoeuvre des servomoteurs, indépendamment des systèmes de régulation, si possible.

L'étape n° 2 est la suivante:

- fonctionnement des convertisseurs (servovalve, soupape proportionnelle, etc.), vérification du signal d'entrée électrique par rapport à la vitesse du servomoteur;
- fonctionnement des régulateurs électroniques, des dispositifs électroniques d'interfaces analogiques et des systèmes de commande électriques.

Annex C (informative)

Field test of control systems

NOTE This annex presents a number of on-site test application elements within the framework of the commissioning of hydraulic turbine components in accordance with IEC 60545.

C.1 Data on operating conditions

The following data shall be made available for satisfactory commissioning of the control system:

- guide vane opening (or needle opening of impulse turbines) for no-load, starting and cavitation limits, as function of headwater and tailwater levels also, where appropriate, runner blade or deflector opening;
- turbine control system (controllers, etc.) and servomotor characteristics;
- adjustment of overspeed protection device;
- characteristics of the fluid for the oil pressure system, filter specifications and information on purification frequency and method;
- maximum steady-state runaway speed and maximum speed and pressure variations at various operating heads;
- information on oil pressures and levels at which the pumps and accumulator should be normally operated;
- maximum and minimum pressures of the oil pressure system.

C.2 Pre-start tests prior to filling waterways

Step No. 1 is as follows:

- calibration of scales and feedback devices for wicket gate opening and where applicable, for runner blades, needles and deflectors;
- operation of the oil pressure system consisting of pumps, accumulator, automatic and manually operated starting and stopping devices (control valves, isolating valves etc.) and signalling devices;
- check oil levels and pressures of the oil pressure system;
- check protective devices, such as oil level, pressure and temperature alarms and trips, with final adjustments;
- calibration of power transducer;
- check operating times of the servomotors, independently of the control systems, if possible.

Step No. 2 is as follows:

- operation of converters (servo-valve, proportional valve, etc.), check of input electrical signal versus servomotor speed;
- operation of electronic controllers, analogue electronic interface devices and electrical control systems.

C.3 Essai de remplissage des adductions d'eau

Les dispositifs de protection automatiques qui actionnent le distributeur (ou les pointeaux/défecteurs pour les turbines à action) doivent être contrôlés.

C.4 Marche initiale

La mise en marche d'un groupe de production hydroélectrique, commandé par le système de régulation (régulateur, etc.), doit être réalisée en accord avec le coordinateur d'essai/de mise en service.

C.5 Essais en marche à vide

Le groupe de production doit être maintenu en commande manuelle à ou au-dessus de la vitesse de démarrage (en fonction de la conception du palier de butée et des autres paliers). Augmenter la vitesse de la machine jusqu'à la valeur nominale, s'assurer que l'alternateur a été équilibré par l'ingénieur de mise en route responsable de la mise en service de l'alternateur et de la turbine.

Provoquer une fermeture rapide en agissant sur l'arrêt, tout d'abord en fonctionnement manuel et ensuite en fonctionnement automatique en simulant un défaut.

Une fois les paliers en fonctionnement, le groupe de production doit être démarré en commande automatique. Vérifier que le système de régulation commande l'organe de réglage (distributeur ou pointeau) suivant la séquence de commande spécifiée et que la vitesse à l'état d'équilibre est atteinte sans dépassement excessif de la vitesse.

Optimiser les paramètres du régulateur pour le fonctionnement en marche à vide à vitesse non synchrone. Contrôler les performances en faisant varier la vitesse d'au moins 5 % et vérifier que le système de régulation automatique stabilise la vitesse à la valeur nominale.

Procéder à des essais du système de régulation suivant la procédure convenue.

Réaliser des déclenchements de machine, soit en simulant des défauts, soit en les créant, en s'assurant que les défauts créés ne sont pas nuisibles au groupe de production.

C.6 Essais en charge et en délestage de charge

Contrôler le fonctionnement des systèmes de régulation (régulateur, etc.) pour la prise de charge, les variations de charge et optimiser les paramètres du régulateur pour un fonctionnement stable sur le réseau.

Contrôler à nouveau les temps de manoeuvre des servomoteurs.

Déterminer l'augmentation momentanée de la vitesse et celle de la pression pendant les essais de délestages de charge qui sont à réaliser à 25 %, 50 %, 75 % et 100 % de la charge nominale.

Pour assurer les essais en sécurité, extrapoler les résultats en fonction de la charge sur les diagrammes obtenus lors des essais déjà effectués. Cela permettra de voir la tendance avant l'étape de délestage à partir de la valeur de charge suivante.

C.3 Test after filling waterways

Automatic protection devices which actuate the wicket gate (or needles/deflectors for impulse turbines) shall be checked.

C.4 Initial run

The operation of a hydro generating unit, under the control system (controller, etc.), shall be performed in agreement with the test/commissioning co-ordinator.

C.5 No-load tests

The generating unit shall be kept under manual control at or above the starting speed (depending on the design of thrust bearing and other bearings). Increase the machine speed to the rated value, ensuring that the generator has been balanced by the commissioning engineer responsible for generator and turbine commissioning.

Initiate shutdown by operating the stop, first by manual operation and then by automatic operation by simulating a fault.

After the bearing run, the generating unit shall be started under automatic control. Check that the control system controls the gate (wicket gate or needle) as per the specified control sequence and that the steady state speed is attained without excessive speed overshoot.

Optimise the controller parameters for unsynchronised speed no-load operation. Check the performance by varying the speed by at least 5 % followed by the automatic control system to stabilise the speed at the rated value.

Carry out control system tests as per the agreed procedure.

Perform machine trips, either by simulating faults or by creating faults, ensuring that the faults created are not detrimental to the generating unit.

C.6 Load and load rejection tests

Check the function of the control systems (controller, etc.) for load acceptance, load variation, and optimise the controller parameters for stable operation in the grid.

Re-check the operating times of the servomotors.

Determine the momentary speed rise and pressure rise during load rejection tests, to be performed at 25 %, 50 %, 75 % and 100 % of the rated load.

For safety testing, extrapolate results as a function of load in diagrams during testing. That makes it possible to see the trend before next load step.

C.7 Mesures et enregistrements

L'ingénieur de mise en route doit mesurer et enregistrer les grandeurs suivantes pendant les essais mentionnés ci-dessus:

- niveaux d'eau amont et aval;
- puissance active;
- ouverture du servomoteur;
- pression à l'entrée de la turbine;
- pression dans l'aspirateur;
- vitesse du groupe;
- pression du système d'huile sous pression;
- toutes grandeurs additionnelles du système de régulation, utiles pour l'interprétation.

C.7 Measurement and recordings

The commissioning engineer shall measure and record the following variables during the above mentioned tests:

- headwater and tailwater levels;
- power output;
- servomotor opening;
- pressure at turbine inlet;
- pressure in draft tube;
- unit speed;
- pressure of the oil pressure system;
- any additional control system variables useful for interpretation.

Annexe D (informative)

Exemples d'essais de systèmes de régulation

Vue d'ensemble

Les exemples suivants se réfèrent à des installations spécifiques avec des systèmes de régulation et des spécifications différents. C'est pourquoi, ils ne peuvent pas être transposés directement à d'autres installations. Le champ de l'essai, les valeurs admissibles, ainsi que le type et l'ampleur de la représentation peuvent différer considérablement suivant les cas individuels. Les exemples montrent comment l'on procède pour déterminer les valeurs des différents paramètres.

D.1 Essai d'insensibilité en régulation de vitesse avec enregistrement X-Y (exemple se référant à 4.1 et 6.6.3.3.2)

Turbine Pelton à 6 jets, $H_r = 1\,260$ m, $P_{Gr} = 260$ MW; régulateur de vitesse PI électronique; machine fonctionnant sur le réseau; temps d'action intégrale du régulateur minimal, amplification maximale; insensibilité d'un pointeau aux variations de fréquence.

a) Enregistrement des mesures, voir la Figure D.1

- Ordonnée: fréquence du réseau, mesurée à la prise de courant murale, filtrée (filtre passe-bas, fréquence de coupure 55 Hz).
- Instrument de mesure: instrument mesurant le cycle avec une résolution de 0,000 25 Hz et une durée d'intégration de 2 s¹⁾.
- Incertitude de la mesure:
 $|f_n| = 10^{-5} = 0,001 \text{ \%, } |\Delta f| = 0,000\,5 \text{ Hz.}$
- Abscisse: course du pointeau Y_{nz} en pourcentage.
- Instrument de mesure: transducteur angulaire capacitif, résolution d'environ 0,01 mm de la course du pointeau.
- Incertitude de la mesure:
 $|f_y| = 0,01 \text{ \% de course du pointeau.}$

b) Résultat et évaluation

- Bande morte (distance verticale de l'enveloppe): 0,011 1 Hz ou, en relatif par rapport à 50 Hz, $2,2 \times 10^{-4}$.
- Insensibilité: $1,1 \times 10^{-4}$ (valeur limite recommandée suivant la CEI 61362: 2×10^{-4}) correspondant à 0,005 5 Hz.

Statisme permanent de vitesse:

$$b_p = \frac{\Delta f [\text{Hz}] / 50}{\Delta Y_{nz} / Y_{nz \text{ max}}} \times 100 \text{ \%} \sim 4 \text{ \%}$$

- La garantie pour une centrale de puissance de pointe est remplie.

¹⁾ Possible dans un réseau peu perturbé/doit être réduite dans un réseau perturbé.

Annex D (informative)

Control system test examples

Overview

The following examples refer to special plants with different control systems and requirements. Therefore, they cannot be transferred directly to other plants. The test scope, the admissible values as well as the type and extent of the representation may differ considerably in individual cases. The examples show how to proceed in determining the values of the various parameters.

D.1 Insensitivity test under speed control with X-Y recording (example referring to 4.1 and 6.6.3.3.2)

6-jet Pelton turbine, $H_r = 1\,260$ m, $P_{Gr} = 260$ MW; electronic PI speed controller; machine in network operation; minimum controller reset time, maximum amplification; insensitivity of a jet needle to frequency variations.

a) Measuring recording, see Figure D.1

- Ordinate: power system frequency, taken from wall socket, filtered (low-pass filter, frequency 55 Hz).
- Measuring instrument: cycle measuring instrument with 0,000 25 Hz resolution within 2 s¹⁾ integration time.
- Measuring uncertainty:
 $|f_n| = 10^{-5} = 0,001 \text{ \%}$, $|\Delta f| = 0,000 \text{ 5 Hz}$.
- Abscissa: needle stroke Y_{nz} in percent.
- Measuring instrument: capacitive angular transmitter, resolution approximately 0,01 mm needle stroke.
- Measuring uncertainty:
 $|f_y| = 0,01 \text{ \% needle stroke}$.

b) Result and evaluation

- Dead band (vertical distance of the envelope line): 0,011 1 Hz or related to 50 Hz it gives $2,2 \times 10^{-4}$.
- Insensitivity: $1,1 \times 10^{-4}$ (setpoint value according to IEC 61362: 2×10^{-4}) corresponding to 0,005 5 Hz.
- Permanent speed droop:

$$b_p = \frac{\Delta f [\text{Hz}] / 50}{\Delta Y_{nz} / Y_{nz \text{ max}}} \times 100 \text{ \%} \sim 4 \text{ \%}.$$
- The guarantee for a peak-load power plant is fulfilled.

¹⁾ Possible in a smooth grid/must be reduced in a rough grid.

D.2 Essai d'insensibilité en régulation de puissance avec caractéristiques temporelles

(exemple se référant à 4.1 et 6.6.3.3.3)

Turbine Pelton à 6 jets, $H_r = 1\,260$ m, $P_{Gr} = 260$ MW; régulateur de puissance PI électronique; machine fonctionnant sur le réseau; statisme permanent de la vitesse/puissance hors service; insensibilité d'un pointeau avec changement brusque par échelon de la valeur de consigne de la puissance; amplitude minimale d'échelon ± 3 mV correspondant à 160 kW ou à 0,06 % de la charge totale.

a) Enregistrement des mesures, voir la Figure D.2

- Ordonnées: course du pointeau Y_{nz} en mV en réponse du groupe à échelon.
- Instrument de mesure: capteur angulaire capacitif, résolution d'environ 0,01 mm.
- Incertitude de mesure: $|f_y| =$ environ 0,01 % de course du pointeau.
- Abscisses: temps.

b) Résultat et évaluation

- Réponse claire à un échelon de consigne de $\pm 0,06$ % de la pleine charge.
- Insensibilité: $i_X/2 < 6 \times 10^{-4}$ (valeur recommandée suivant la CEI 61362: $i_X/2 < 1 \times 10^{-2}$)
- La garantie pour une installation de puissance de pointe est remplie.

D.3 Essai de synchronisation de 2 grandeurs réglées avec enregistrement X-Y

(exemple se référant à 6.6.3.3.4)

Turbine pompe, $H_r = 350$ m, $P_{Gr} = 275$ MW.

Régulateur électronique de vitesse et de puissance avec courbe caractéristique de pré-régulation de puissance en circuit correcteur.

Commande individuelle des aubes directrices.

Ajustement lent de limitation d'ouverture dans la plage entre 50 % et 80 % de l'ouverture des aubes directrices.

a) Enregistrement des mesures, voir la Figure D.3

- Ordonnées: dans chaque cas, course relative de l'aube directrice n° 12, Y_{12ga} en pourcentage.
- Abscisses: course relative des aubes directrices n°s 2 et 20, Y_{2ga} , Y_{20ga} en pourcentage.
- Instruments de mesure pour les ordonnées et les abscisses:
Capteur angulaire (transducteur de retour d'asservissement), résolution d'environ 0,005 % de l'angle d'ouverture totale de l'aube directrice.
- Incertitude de mesure: $|f_y| = 0,01$ % de l'angle d'ouverture totale de l'aube directrice.

b) Résultat et évaluation

- Performance de synchronisation: plus grand écart d'environ 0,12 % entre les aubes directrices 12 et 20, et environ 0,15 % entre les aubes directrices 2 et 12.
- Le fonctionnement synchrone des aubes directrices est bon.
Les différences réelles peuvent être un peu plus faibles en raison de l'effet de retard des amplificateurs.

D.2 Insensitivity test under power control with time characteristics (example referring to 4.1 and 6.6.3.3.3)

6-jet Pelton turbine, $H_r = 1\,260$ m, $P_{Gr} = 260$ MW; electronic PI power controller; machine in network operation; superimposed speed droop switched off; insensitivity of a jet needle with abrupt power set-point step change; minimum step amplitude ± 3 mV corresponding to 160 kW or 0,06 % of total load.

a) Measuring recording, see Figure D.2

- Ordinate: needle stroke Y_{nz} in mV as unit step response.
- Measuring instrument: capacitive angular transmitter, resolution approximately 0,01 mm.
- Measuring uncertainty: $|f_y| =$ approximately 0,01 % needle stroke.
- Abscissa: time.

b) Result and evaluation

- Clear response to a set-point step change of $\pm 0,06$ % of full load.
- Insensitivity: $i_X/2 < 6 \times 10^{-4}$ (set-point value according to IEC 61362: $i_X/2 < 1 \times 10^{-2}$).
- The guarantee for a peak-load power plant is fulfilled.

D.3 Flutter test of 2 regulated quantities with X-Y recording (example referring to 6.6.3.3.4)

Pump turbine, $H_r = 350$ m, $P_{Gr} = 275$ MW.

Electronic speed and power controller with power pre-control characteristic curve in transfer circuit.

Individual guide vane control.

Slow adjustment of gate limiter in the range between 50 % and 80 % guide vane opening.

a) Measuring recording, see Figure D.3

- Ordinate: in each case, stroke of guide vane No. 12, Y_{12ga} in percent.
- Abscissa: stroke of guide vanes Nos. 2 and 20, Y_{2ga} , Y_{20ga} in percent.
- Measuring instruments for ordinate and abscissa:
Angular transmitter (feedback transducer), resolution approximately 0,005 % of full guide vane angle.
- Measuring uncertainty: $|f_y| = 0,01$ % of full guide vane angle.

b) Result and evaluation

- Flutter performance: largest deviation approximately 0,12 % between guide vanes 12 and 20, and approximately 0,15 % between guide vanes 2 and 12.
- The synchronous operation of the guide vanes is good.
- The real differences can be a little smaller due to the effect of the amplifiers' delay.

D.4 Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en régulation de vitesse, régulateur PID

(exemple se référant à 4.1, 6.6.1.2 et 6.6.3.1)

Turbine pompe, $H_r = 430$ m, $P_{Gr} = 154$ MW.

Régulateur de vitesse PID électronique avec statisme permanent vitesse/course, commande individuelle des aubes directrices, les lois de positionnement sont préétablies électroniquement en sortie du régulateur.

Groupe en fonctionnement sur le réseau, entrée vitesse du régulateur ouverte, mode de fonctionnement du régulateur «en réseau isolé».

Entrée d'un échelon de vitesse fictif de +1 %.

a) Enregistrement des mesures, voir la Figure D.4

- Ordonnées 1: valeurs en pourcentage de la sortie du régulateur de vitesse Y_1 , de l'entrée de l'amplificateur Y_2 , (suivant les lois de positionnement), de la moyenne des positions des servomoteurs Y_{ga} , de la puissance active réelle de l'alternateur P_G , signal de déclenchement (sans échelle).
- Ordonnées 2: variations de chute du côté pression ΔH en m.
- Instruments de mesure: instruments de mesure industriels.
- Incertitude de mesure (estimation):
Pour toutes les valeurs en pourcentage se rapportant à la plage nominale, environ ± 1 % absolu; pour la chute ± 2 m.
- Abscisses: temps.

b) Résultat et évaluation

- La sortie du régulateur présente un comportement PID clair.
- En raison de la limitation de la vitesse de manoeuvre, l'action de dérivation sur l'entrée de l'amplificateur peut être difficilement reconnue. La même remarque s'applique au déplacement du servomoteur. Le terme d'action de dérivation (D) sert principalement à la compensation des retards et des insensibilités.
- Le déplacement moyen des servomoteurs démarre avec un retard de $T_q \approx 0,25$ s.
- La caractéristique de puissance montre clairement l'influence du coup de bélier; ce n'est qu'au bout d'environ 3,6 s que la puissance commence à varier dans la bonne direction (comportement de système à déphasage non minimal).

D.5 Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en régulation de vitesse pour la détermination des paramètres du régulateur PID

(exemple se référant à 4.1, 6.6.1.2 et 6.6.3.1)

Turbine Pelton à 2 jets, $H_r = 714$ m, $P_{Gr} = 30$ MW; régulateur de vitesse numérique avec algorithme PID et statisme permanent vitesse/course pointeau; groupe en fonctionnement sur le réseau; entrée vitesse du régulateur ouverte; mode de fonctionnement du régulateur «en réseau isolé»; entrée d'un échelon de vitesse fictif de $-0,42$ %.

a) Enregistrement des mesures, voir la Figure D.5a)

- Ordonnées 1: vitesse n en pourcentage.
- Ordonnées 2: pression conduite forcée H en m.
- Ordonnées 3: valeurs en pourcentage de la sortie du régulateur de vitesse Y , de la course du pointeau Y_{nz} et de la puissance de l'alternateur P_G .

D.4 Measurement of a unit step response with PID speed controller (example referring to 4.1; 6.6.1.2; 6.6.3.1)

Pump turbine, $H_r = 430$ m, $P_{Gr} = 154$ MW.

Electronic PID speed controller with permanent speed droop, individual guide vane control, actuator laws are preset electronically at the controller output.

Unit in grid operation, controller speed input open, controller mode “isolated operation”.

Input of a fictitious speed step of +1 %.

a) Measuring recording, see Figure D.4

- Ordinate 1: percentage scale for speed controller output Y_1 , amplifier input Y_2 , (according to actuator laws), mean value of servomotor stroke Y_{ga} , generator actual power value P_G , trigger signal (without scale).
- Ordinate 2: head on pressure side ΔH in m.
- Measuring instruments: industrial measuring instruments.
- Measuring uncertainty (estimation):
For all percentage values related to the nominal range, approximately ± 1 % absolute; for the head ± 2 m.
- Abscissa: time.

b) Result and evaluation

- The speed controller output shows a clear PID behaviour.
- Due to the limitation of the actuating speed, the derivative action at the amplifier input can hardly be recognised. The same applies to the servomotor movement. The derivative D-term mainly serves for compensating delays and insensitivities.
- The average servomotor movement starts delayed by $T_q \approx 0,25$ s.
- The power characteristic clearly shows the influence of the pressure surge; power only starts changing in the correct direction after approximately 3,6 s (non minimum phase behaviour).

D.5 Measurement of a unit step response with speed control for determination of PID controller parameters (example referring to 4.1; 6.6.1.2; 6.6.3.1)

2-jet Pelton turbine, $H_r = 714$ m, $P_{Gr} = 30$ MW; digital speed controller with PID algorithm and permanent speed droop; unit in grid operation; speed controller input open; mode of speed controller - “isolated operation”; input of a fictitious speed step of $-0,42$ %.

a) Measuring recording, see Figure D.5a)

- Ordinate 1: speed n in percent.
- Ordinate 2: penstock pressure H in m.
- Ordinate 3: percentage scale for speed controller output Y , needle stroke Y_{nz} and generator power output P_G .

- Instruments de mesure pour les ordonnées: instruments de mesure industriels.
- Incertitude de mesure (estimation):
Pour toutes les valeurs en pourcentage se rapportant à la plage nominale, environ $\pm 1\%$ absolu; pour la chute ± 2 m.
- Abscisses: temps.

b) Enregistrement des mesures, voir la Figure D.5b)

La sortie du régulateur Y et la course du pointeau Y_{nz} sont tracées avec une échelle de temps dilatée.

c) Résultat et évaluation

- La sortie du régulateur présente un comportement PID.
- En considérant le changement soudain de fréquence de $x_i = -0,21 \text{ Hz} = -0,42\%$, il en résulte les paramètres suivants du régulateur en se référant à la sortie du régulateur:
 - gain proportionnel: $K_p = \frac{1}{0,0042} \times 0,0125 = 3$ (course du servomoteur: $1,25\%$);
 - durée d'action intégrale: $T_i \sim 6,5 \text{ s}$ (sous-tangente);
 - statisme permanent de vitesse: $b_p = \frac{0,0042}{0,106} \times 100\% = 4\%$ (course du servomoteur: $10,6\%$).
- L'incertitude de l'évaluation – principalement due aux erreurs de lecture – est estimée à:
 $|\Delta K_p| \approx 0,2$; $|\Delta T_i| \approx 0,5 \text{ s}$; $|\Delta b_p| \approx 0,16\%$ (4% de $b_p = 4\%$).
- L'action dérivée sur la sortie du régulateur de vitesse peut être clairement reconnue, elle est pratiquement éliminée par la limitation de la vitesse de manoeuvre du servomoteur.

D.6 Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en fonctionnement en réseau isolé (exemple se référant à 4.1, 6.6.1.2 et 6.6.3.1)

Turbine Pelton à 2 jets, $H_r = 714 \text{ m}$, $P_{Gr} = 30 \text{ MW}$.

Régulateur de vitesse numérique à algorithme PI et statisme permanent vitesse/course pointeau; fonctionnant en réseau isolé avec charge venant de pompes.

Echelon de charge $-4,6 \text{ MW} = -15,3\% P_{Gr}$.

a) Enregistrement des mesures, voir la Figure D.6

- Ordonnées 1: vitesse n en pourcentage.
- Ordonnées 2: valeurs en pourcentage de la pression conduite forcée H et de la position du déflecteur Y_{de} .
- Ordonnées 3: valeurs en pourcentage de la sortie du régulateur Y , de la position du pointeau Y_{nz} et de la puissance de l'alternateur P_G .
- Instruments de mesure pour les ordonnées: instruments de mesure industriels.
- Incertitude de mesure (estimation):
Pour toutes les valeurs en pourcentage se rapportant à la plage nominale, environ $\pm 1\%$ absolu; pour la chute ± 2 m.
- Abscisses: temps.

- Measuring instruments for ordinates: industrial measuring instruments.
- Measuring uncertainty (estimation):
For all percentage values related to the nominal range, approximately ± 1 % absolute; for the head ± 2 m.
- Abscissa: time.

b) Measuring recording, see Figure D.5b)

The controller output Y and the needle stroke Y_{nz} are plotted scaled up.

c) Result and evaluation

- The speed controller output shows PID behaviour.
- Considering the sudden frequency change of $x_i = -0,21$ Hz = $-0,42$ % the following controller parameters result with reference to the controller output:
 - proportional gain: $K_p = \frac{1}{0,0042} \times 0,0125 = 3$ (servomotor stroke: 1,25 %);
 - integral action time: $T_i \sim 6,5$ s (sub-tangent);
 - permanent speed droop: $b_p = \frac{0,0042}{0,106} \times 100 \% = 4$ % (servomotor stroke: 10,6 %).
- The uncertainty of the evaluation – mainly due to reading errors – is estimated to be
 $|\Delta K_p| \approx 0,2$; $|\Delta T_i| \approx 0,5$ s; $|\Delta b_p| \approx 0,16$ % (4 % of $b_p = 4$ %).
- The D-part at the speed controller output can be clearly recognised; it is practically eliminated by the limitation of the positioning speed of the servomotor.

D.6 Measurement of a unit step response in isolated operation
(example referring to 4.1; 6.6.1.2; 6.6.3.1)

2-jet Pelton turbine, $H_r = 714$ m, $P_{Gr} = 30$ MW.

Digital speed controller with PI – algorithm and permanent speed droop; isolated grid operation with load from pumps.

Load step $-4,6$ MW = $-15,3$ % P_{Gr} .

a) Measuring recording, see Figure D.6

- Ordinate 1: speed n in percent.
- Ordinate 2: percentage scale for penstock pressure H and deflector stroke Y_{de} .
- Ordinate 3: percentage scale for speed controller output Y , needle stroke Y_{nz} and generator power P_G .
- Measuring instruments for ordinates: industrial measuring instruments.
- Measuring uncertainty (estimation):
For all percentage values related to the nominal range approximately ± 1 % absolute; for the head ± 2 m.
- Abscissa: time.

b) Résultat et évaluation

- La fréquence monte temporairement d'environ 3 % provoquant l'engagement des déflecteurs. Après une courte sous-oscillation, la fréquence atteint la nouvelle valeur finale au bout d'environ 45 s.
- La sortie du régulateur montre un dépassement dans la direction fermeture.
- Les pointeaux se ferment pendant 7 s à vitesse maximale jusqu'à ce que la vitesse recommence à descendre, et atteignent la nouvelle valeur finale au bout d'environ 30 s.
- Les variations de pression expirent relativement vite, il reste une petite oscillation de pression correspondant à une fluctuation respective de puissance, d'amplitude double $\sim 0,5$ %. Les variations de fréquence correspondantes sont difficilement discernables.
- Le circuit de régulation est stable.

D.7 Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en régulation de puissance (exemple se référant à 4.1, 6.6.1.3 et 6.6.3.1)

Turbine Pelton à 2 jets, $H_r = 714$ m, $P_{Gr} = 30$ MW.

Régulateur de vitesse numérique à algorithme PI et à statisme permanent vitesse/puissance sans caractéristique de préréglage de la puissance; groupe connecté au réseau avec régulateur de puissance.

Entrée d'échelons de fréquence fictive de $\pm 0,42$ % sur l'entrée de fréquence du régulateur de puissance.

a) Enregistrement des mesures, voir la Figure D.7

- Ordonnées 1: vitesse n en pourcentage.
- Ordonnées 2: pression conduite forcée H en m.
- Ordonnées 3: valeurs en pourcentage de la sortie du régulateur Y , de la position du pointeau Y_{nz} et de la puissance de l'alternateur P_G .
- Instruments de mesure pour les ordonnées: instruments de mesure industriels.
- Incertitude de mesure (estimation):
Pour toutes les valeurs en pourcentage se rapportant à la plage nominale, environ ± 1 % absolu; pour la chute ± 2 m.
- Abscisses: temps.

b) Résultat et évaluation

- La sortie du régulateur présente un comportement PI.
- La limitation de la vitesse de fermeture peut être notée clairement.
- Dans chaque cas, la nouvelle charge est atteinte au bout d'environ 35 s.
- Statisme permanent de la vitesse par rapport à la puissance $b_p \approx 3$ %.

D.8 Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en régulation de puissance (exemple se référant à 4.1, 6.6.1.3 et 6.6.3.1)

Turbine pompe, $H_r = 350$ m, $P_{Gr} = 275$ MW.

Régulateur de puissance électronique à caractéristique de préréglage de la puissance.

Régulation individuelle des aubes directrices.

Groupe connecté au réseau avec régulation de puissance.

Changement brusque de la valeur de consigne de puissance.

b) Result and evaluation

- The frequency rises temporarily by approximately 3 % causing the deflectors to engage. After a short undershoot, the frequency reaches the new final value after approximately 45 s.
- The speed controller output overrides in the closing direction.
- The needles close for about 7 s with maximum velocity until speed decreases again and reaches the new final value after about 30 s.
- The pressure variations die out relatively quick, a small pressure oscillation remains corresponding to a respective power fluctuation, double amplitude ~0,5 %. Frequency variations can hardly be noticed.
- The control circuit is stable.

D.7 Measurement of unit step responses with power control
 (example referring to 4.1; 6.6.1.3; 6.6.3.1)

2-jet Pelton turbine, $H_r = 714$ m, $P_{Gr} = 30$ MW.

Digital power controller with PI algorithm and permanent speed regulation without power pre-control characteristic; unit connected to the grid with power controller.

Input of fictitious frequency steps of $\pm 0,42$ % at the power controller frequency input.

a) Measuring recording, see Figure D.7

- Ordinate 1: speed n in percent.
- Ordinate 2: penstock pressure H in m.
- Ordinate 3: percentage scale for controller output Y , needle stroke Y_{nz} and generator power P_G .
- Measuring instruments for ordinates: industrial measuring instruments.
- Measuring uncertainty (estimation):
For all percentage values related to the nominal range approximately ± 1 % absolute; for the head ± 2 m.
- Abscissa: time.

b) Result and evaluation

- The power controller output shows PI behaviour.
- The limitation of the closing velocity can clearly be noted.
- In each case, the new load is reached after approximately 35 s.
- Permanent speed droop referred to the power $b_p \approx 3$ %.

D.8 Measurement of unit step responses with power control
 (example referring to 4.1; 6.6.1.3; 6.6.3.1)

Pump turbine, $H_r = 350$ m, $P_{Gr} = 275$ MW.

Electronic power controller with power pre-control characteristic.

Individual guide vane control.

Unit connected to the grid with power control.

Abrupt change of the power set-point.

a) Enregistrement des mesures, voir la Figure D.8

- Ordonnées 1: pression conduite forcée H en bars.
- Ordonnées 2: valeurs en pourcentage de la position des aubes directrices Y_{ga} et de la puissance de l'alternateur P_G .
- Instruments de mesure pour les ordonnées: instruments de mesure industriels.
- Incertitude de mesure (estimation):
Pour toutes les valeurs en pourcentage se rapportant à la plage nominale, environ $\pm 1 \%$ absolu; pour la chute $\pm 0,2$ bar.
- Abscisses: temps (dans le sens droite vers gauche).

b) Résultat et évaluation

- Sous l'effet de la courbe de pré-réglage, le déplacement du distributeur est presque linéaire jusqu'à la position finale. Etant donné que la puissance est affectée d'un retard, le distributeur présente un léger dépassement.
- Sous l'influence de l'à-coup de pression, la puissance varie dans les premiers instants d'environ 1% dans le sens opposé et de ce fait, suit la position du distributeur avec un retard de $\sim 1,5$ s lors de la fermeture et de ~ 3 s lors de l'ouverture.

D.9 Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en régulation de puissance pour la détermination des paramètres du régulateur PI
(exemple se référant à 4.1, 6.6.1.3 et 6.6.3.1)

Turbine pompe, $H_r = 430$ m, $P_{Gr} = 154$ MW.

Régulateur de puissance PI électronique avec caractéristique de pré-réglage de puissance.

Régulation individuelle des aubes directrices.

Les lois de positionnement sont pré-réglées électroniquement à la sortie du régulateur.

Groupe connecté au réseau, ouverture des entrées du régulateur correspondant aux valeurs réelles de la vitesse et la puissance; entrée d'une variation soudaine fictive de puissance sur une entrée supplémentaire du régulateur (courbe de pré-réglage de la puissance non active).

a) Enregistrement des mesures, voir la Figure D.9

- Ordonnées 1: valeurs en pourcentage de la sortie du régulateur Y , de la valeur moyenne des positions des servomoteurs Y_{ga} , de la puissance de l'alternateur P_G (signal de déclenchement sans échelle).
- Ordonnées 2: variations de pression conduite forcée ΔH en m du côté de la pression.
- Instruments de mesure pour les ordonnées: instruments de mesure industriels.
- Incertitude de mesure (estimation):
Pour toutes les valeurs en pourcentage se rapportant à la plage nominale, environ $\pm 1 \%$ absolu; pour la chute $\pm 0,2$ m.
- Abscisses: temps.

b) Résultat et évaluation

- La sortie du régulateur présente un comportement presque purement PI.
- Le déplacement moyen des servomoteurs démarre avec un retard de $T_q = 0,27$ s; la limitation de la vitesse de fermeture peut être vue clairement. Le temps mort réel du servomoteur est probablement moindre, étant donné que le signal de sortie du régulateur va initialement dans la mauvaise direction lors de la commutation à cause de la courte interruption du signal d'entrée.
- En considérant une variation de puissance fictive, relative, de 5% sur la valeur réelle de la puissance, il en résulte les paramètres suivants de régulation, à partir de l'analyse de la sortie du régulateur:

a) Measuring recording, see Figure D.8

- Ordinate 1: penstock pressure H in bars.
- Ordinate 2: percentage scale for guide vane position Y_{ga} and generator power P_G .
- Measuring instruments for ordinates: industrial measuring instruments.
- Measuring uncertainty (estimation):
For all percentage values related to the nominal range approximately ± 1 % absolute; for the head, $\pm 0,2$ bar.
- Abscissa: time (feeding from right to left).

b) Result and evaluation

- Under the effect of the pre-control curve, the wicket gate movement is almost linear up to the final position. Since power is delayed, the wicket gate overrides a little.
- Under the influence of the pressure surge, this power changes in the first movement by approximately 1 % to the opposite side and subsequently follows the wicket gate position with a time delay of $\sim 1,5$ s when closing and ~ 3 s when opening.

D.9 Measurement of a unit step response with power control for determination of PI-controller parameters
(example referring to 4.1; 6.6.1.3; 6.6.3.1)

Pump turbine, $H_r = 430$ m, $P_{Gr} = 154$ MW.

Electronic PI power controller with power pre-control characteristic.

Individual guide vane control.

Actuating laws are pre-set electronically at the controller output.

Unit connected to the grid, controller inputs for the actual speed and power values are open; input of a fictitious sudden power variation at an additional controller input (power pre-control curve not active).

a) Measuring recording, see Figure D.9

- Ordinate 1: percentage scale for power controller output Y , mean value of the servomotor strokes Y_{ga} , generator power P_G , (trigger signal without scale).
- Ordinate 2: change of penstock pressure ΔH in m on pressure side.
- Measuring instruments for ordinates: industrial measuring instruments.
- Measuring uncertainty (estimation):
For all percentage values related to the nominal range approximately ± 1 % absolute; for the head ± 2 m.
- Abscissa: time.

b) Result and evaluation

- The power controller output has an almost pure PI behaviour.
- The average servomotor movement starts with a delay of $T_q = 0,27$ s; the limitation of the closing velocity can clearly be seen. The real servomotor dead time is probably less since the controller output signal initially goes in the wrong direction when switching over because of the short interruption of the input signal.
- Considering a fictitious, relative, 5 % power variation on the actual power value, the following controller parameters result related to the controller output:

- Gain proportionnel: $K_P = \frac{1}{0,05} \times 0,0247 = 0,49$ (course du servomoteur = 2,47 %).
- Durée d'action intégrale $T_i = 4,2$ s (sous-tangente).
- L'incertitude de mesure est estimée à: $|\Delta K_P| \approx 0,1$; $|\Delta T_i| \approx 0,5$ s.
- La courbe de puissance montre clairement l'influence de l'à-coup de pression.

D.10 Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en régulation de niveau d'eau amont

(exemple se référant à 4.1, 6.6.1.4 et 6.6.3.1)

Centrale avec 2 turbines Francis et 2 turbines Pelton, $H_r = 190$ m.

Pour chaque turbine $P_{Gr} = 6$ MW, $Q_r = 3,5$ m³/s.

Bassin d'égalisation d'une surface d'environ 2 000 m².

Régulation mécanique des turbines avec régulateur de niveau numérique en superposition, agissant sur les limiteurs d'ouverture des 4 régulateurs mécaniques des turbines par l'intermédiaire d'un régulateur à trois positions; entrée d'un échelon de consigne de 0,5 m lors de l'exploitation d'une turbine Pelton à $P_G \sim 4,9$ MW.

Limites: puissance minimale 1 MW,
 puissance maximale 5,9 MW.

a) Enregistrement des mesures, voir la Figure D.10a) et la Figure D.10b)

Figure D.10a)

- Ordonnées: valeur de consigne et valeur réelle du niveau d'eau amont en m.
- Abscisses: temps.

Figure D.10b)

- Ordonnées 1: variation de pression conduite ΔH en m.
- Ordonnées 2: puissance de l'alternateur P_G en MW.
- Abscisses: temps.

Instruments de mesure: instruments de mesure industriels, enregistreur numérique.

Incertitude de mesure (estimation): niveau $\pm 0,02$ m; puissance $\pm 0,1$ % de la puissance nominale.

b) Résultat et évaluation

La valeur du niveau réel se déplace vers la nouvelle position avec une oscillation amortie; le plus grand dépassement est d'environ 0,1 m, restant ainsi en dessous de l'écart admissible de 0,2 m. Afin de maintenir la glace du bassin la plus basse possible en hiver (fonctionnement avec un groupe), une légère tendance à l'oscillation du niveau est la bienvenue.

Temporairement, la turbine atteint les 2 limites de puissance.

D.11 Mesure des réponses à échelon de groupes en régulation de niveau d'eau amont, en fonctionnement à plusieurs groupes

(exemple se référant à 4.1.2, 6.6.1.4 et 6.6.3.1)

Installation avec 2 turbines Francis et 2 turbines Pelton, $H_r = 190$ m.

Pour chaque turbine $P_{Gr} = 6$ MW, $Q_r = 3,5$ m³/s.

Bassin d'égalisation d'une surface d'environ 2 000 m².

- Proportional gain: $K_P = \frac{1}{0,05} \times 0,0247 = 0,49$ (servomotor stroke = 2,47 %).
- Integral action time $T_i = 4,2$ s (sub-tangent).
- The measuring uncertainty is estimated to be: $|\Delta K_P| \approx 0,1$; $|\Delta T_i| \approx 0,5$ s.
- The power curve clearly shows the influence of the pressure surge.

D.10 Measurement of a unit step response with head race level control (example referring to 4.1; 6.6.1.4; 6.6.3.1)

Plant with 2 Francis and 2 Pelton turbines, $H_r = 190$ m.

For each turbine $P_{Gr} = 6$ MW, $Q_r = 3,5$ m³/s.

Equalising basin of approximately 2 000 m² surface.

Mechanical turbine speed controller with superimposed digital level controller acting on the opening limiters of the 4 mechanical turbine controller via a three-position controller; input of a 0,5 m set-point step change when operating a Pelton turbine with $P_G \sim 4,9$ MW.

Limits: minimum load 1 MW,
maximum load 5,9 MW.

a) Measuring recording, see Figures D.10a) and D.10b)

Figure 10a)

- Ordinate: head race level set-point and actual value in m.
- Abscissa: time.

Figure 10b)

- Ordinate 1: variation of penstock pressure ΔH in m.
- Ordinate 2: generator power P_G in MW.
- Abscissa: time.

Measuring instruments: industrial measuring instruments, digital recorder.

Measuring uncertainty (estimation): level $\pm 0,02$ m; load $\pm 0,1$ % of nominal load.

b) Result and evaluation

The actual level value moves into the new position by way of damped oscillation; the largest overshoot is approximately 0,1 m, thus remaining below the admissible deviation of 0,2 m. In order to keep the ice of the basin as low as possible in winter time (one-unit operation) a slight tendency to level oscillation is welcome.

Temporarily, the turbines are reaching both load limits.

D.11 Measurement of the unit step responses with head race level control, in multi-unit operations (example referring to 4.1.2; 6.6.1.4; 6.6.3.1)

Plant with 2 Francis and 2 Pelton turbines, $H_r = 190$ m.

For each turbine $P_{Gr} = 6$ MW, $Q_r = 3,5$ m³/s.

Equalising basin of approximately 2 000 m² surface.

Régulation mécanique des turbines avec régulateur de niveau numérique en superposition, agissant sur les limiteurs d'ouverture des 4 régulateurs mécaniques des turbines, par l'intermédiaire d'un régulateur à trois positions.

Fonctionnement de la centrale avec 2 turbines Francis et 1 turbine Pelton.

11:20 h – introduction d'un échelon de consigne de $-0,5$ m,

12:03 h – introduction d'un échelon de consigne de $+0,5$ m,

12:50 h – groupe 3 déconnecté de la régulation de niveau et charge de la machine réduite à 1 MW.

Limites: puissance minimale pour les turbines Francis: 2 MW,
 puissance minimale pour les turbines Pelton: 1 MW,
 puissance maximale: 5,5 MW.

a) Enregistrement des mesures, voir la Figure D.11a) et la Figure D.11b)

Figure D.11a)

- Ordonnées: valeur de consigne et valeur réelle du niveau d'eau amont en m.
- Abscisses: temps.

Figure D.11b)

- Ordonnées 1: variations de pression conduite ΔH en m.
- Ordonnées 2: puissances des turbines en MW.
- Abscisses: temps.
- Instruments de mesure: instruments de mesure industriels, enregistreur numérique.
- Incertitude de mesure (estimation): niveau $\pm 0,02$ m; puissance $\pm 0,1$ % de la puissance nominale.

b) Résultat et évaluation

- La valeur réelle du niveau atteint la nouvelle valeur de consigne après un dépassement positif. Le dépassement est d'environ 0,1 m, restant ainsi en dessous de l'écart admissible de 0,2 m.
- Le comportement sur petits mouvements en régulation des groupes est garanti.
- Temporairement, les turbines atteignent les 2 limites de puissance.

D.12 Mesure d'un délestage de charge avec passage en marche à vide
 (exemple se référant à 4.2 et 6.6.1.2)

Turbine Kaplan, $H_r = 2,75$ m, $P_{Gr} = 1\,395$ kW.

Régulateur de vitesse PID électronique.

Alternateur séparé du réseau à $P_G = 1\,360$ kW.

a) Enregistrement des mesures, voir la Figure D.12

- Ordonnées 1: course du servomoteur des pales Y_{ru} en pourcentage.
- Ordonnées 2: course du servomoteur du distributeur Y_{ga} en pourcentage.
- Ordonnées 3: vitesse n en pourcentage.
- Instruments de mesure pour les ordonnées: instruments de mesure industriels mesurant les signaux de tension du régulateur.
- Incertitude de mesure (estimation): pour tous les paramètres en pourcentage environ $\pm 1,5$ % par rapport à la plage nominale.
- Abscisses: temps.

Mechanical turbine controller with superimposed digital level controller acting on the opening limiters of the 4 mechanical turbine controllers via a three-position controller.

Plant operating 2 Francis and 1 Pelton turbine.

11:20 h – input of a $-0,5$ m set-point step change,

12:03 h – input of a $+0,5$ m set-point step change,

12:50 h – unit 3 switched off from level control and machine load reduced to 1 MW.

Limits: minimum load – Francis turbine – 2 MW,

minimum load – Pelton turbine – 1 MW,

maximum load – 5,5 MW.

a) Measuring recording, see Figure D.11a) and Figure D.11b)

Figure D.11a)

- Ordinate: head race level set-point and actual value in m.
- Abscissa: time.

Figure D.11b)

- Ordinate 1: variation of penstock pressure ΔH in m.
- Ordinate 2: turbine loads in MW.
- Abscissa: time.
- Measuring instruments: industrial measuring instruments, digital recorder.
- Measuring uncertainty (estimation): level $\pm 0,02$ m; load $\pm 0,1$ % of nominal load.

b) Result and evaluation

- The actual level value reaches the new set-point value after an overshoot. The overshoot is approximately 0,1 m, thus remaining below the admissible deviation of 0,2 m.
- Small control movements of the unit are guaranteed.
- Temporarily, the turbines are reaching both load limits.

D.12 Measurement of a load rejection with transition into no-load operation
(example referring to 4.2; 6.6.1.2)

Kaplan turbine, $H_r = 2,75$ m, $P_{Gr} = 1\,395$ kW.

Electronic PID speed controller.

Generator separated from the grid at $P_G = 1\,360$ kW.

a) Measuring recording, see Figure D.12

- Ordinate 1: runner servomotor position Y_{ru} in percent.
- Ordinate 2: wicket gate servomotor position Y_{ga} in percent.
- Ordinate 3: speed n in percent.
- Measuring instruments for ordinates: industrial measuring instruments assigned voltage signals from the speed controller.
- Measuring uncertainty (estimation): for all percentage parameters approximately $\pm 1,5$ % in relation to the nominal range.
- Abscissa: time.

b) Résultat et évaluation

- Afin d'éviter un dépassement de vitesse vers le bas à la suite du dépassement positif, le distributeur se ferme petit à petit, pendant toute la durée à la vitesse maximale de fermeture.
- A une vitesse d'environ 103 %, le distributeur s'ouvre à nouveau sans avoir atteint la position fermée.
- Les pales se ferment à la valeur déterminée par la conjugaison distributeur/pales. Dans la plage de marche à vide, elles n'interfèrent pas avec la régulation pour obtenir une meilleure stabilité.
- La vitesse atteint la valeur nominale presque apériodiquement.

D.13 Mesure d'un délestage de charge avec passage en déchargeur puis retour en marche à vide (exemple se référant à 4.2 et 6.6.1.2)

Turbine Kaplan, $H_r = 2,75$ m, $P_{Gr} = 1\,395$ kW.

Régulateur de vitesse PID électronique.

L'alternateur est déconnecté du réseau à $P_G = 1\,300$ kW.

a) Enregistrement des mesures, voir la Figure D.13

- Ordonnées 1: course relative du servomoteur des pales Y_{ru} en pourcentage.
- Ordonnées 2: course relative du servomoteur du distributeur Y_{ga} en pourcentage.
- Ordonnées 3: vitesse relative n en pourcentage.
- Instruments de mesure pour les ordonnées: instruments de mesure industriels mesurant les signaux de tension du régulateur.
- Incertitude de mesure (estimation): pour tous les paramètres en pourcentage environ $\pm 1,5$ % par rapport à la plage nominale.
- Abscisses: temps.

b) Résultat et évaluation

- Contrairement à l'exemple D.12, les pales sont fixées à ce qui est appelé «l'ouverture déchargeur» pour la limitation de changement de débit et ainsi des ondes d'intumescences et d'aspiration. Lorsque cet état est remis à zéro (libéré, supprimé, annulé), les pales se ferment lentement jusqu'en position normale.
- Initialement, le distributeur se ferme à la vitesse maximale de manoeuvre, mais il est ensuite stoppé sur une ouverture relativement grande. Ainsi, par exemple, lorsqu'on atteint la vitesse nominale, le distributeur stabilise son ouverture à la position de marche à vide la plus élevée, conjuguée à la position des pales.
- A cause du fonctionnement turbulent en déchargeur (vortex dans l'aspirateur), le distributeur effectue de grands mouvements de réglage afin d'être en mesure de maintenir une vitesse stable. La vitesse présente de légères variations.
- A cause de l'ouverture plus grande des pales, l'augmentation maximale de la vitesse est plus faible que dans l'exemple D.12.

D.14 Mesure d'un démarrage et d'une prise de charge (exemple se référant à 4.2)

Turbine Pelton à 6 jets, $H_r = 1\,260$ m, $P_{Gr} = 260$ MW. Le pointeau n° 6 est commandé en ouverture pour le démarrage, et lorsque l'on atteint 20 % de la vitesse nominale, les pointeaux 1 à 5 s'ouvrent temporairement en complément pour une accélération plus rapide du groupe.

b) Result and evaluation

- In order to avoid a speed undershoot after the overshoot, the wicket gate closes stepwise, in each case at maximum velocity.
- At approximately 103 % speed, the wicket gate reopens without having reached the closed position.
- The runner closes at the value determined by the wicket gate/runner correlation. In the no-load range, it does not interfere with the control to achieve better stability.
- The speed reaches the nominal value almost aperiodically.

D.13 Measurement of a load rejection with limit control of surge and suction waves and with transition into no-load operation
(example referring to 4.2; 6.6.1.2)

Kaplan turbine, $H_r = 2,75$ m, $P_{Gr} = 1\,395$ kW.

Electronic PID speed controller.

Generator is disconnected from the system at $P_G = 1\,300$ kW.

a) Measuring recording, see Figure D.13

- Ordinate 1: runner servomotor position Y_{ru} in percent.
- Ordinate 2: wicket gate servomotor position Y_{ga} in percent.
- Ordinate 3: speed n in percent.
- Measuring instruments for ordinates: industrial measuring instruments assigned voltage signals from the controller.
- Measuring uncertainty (estimation): for all percentage parameters approximately $\pm 1,5$ % in relation to the nominal range.
- Abscissa: time.

b) Result and evaluation

- Contrary to example D.12, the runner is fixed at the so-called “surge-opening” for limitation of flow change and thus surge and suction waves. When this state is reset (released, removed, cancelled), the runner slowly closes to the normal cam position.
- Initially, the wicket gate closes at the maximum positioning speed, but is then stopped at a relatively large opening. So when, for instance, reaching the nominal speed, the wicket gate increases the opening up to the larger no-load position corresponding to the runner position.
- Due to the turbulent surge operation (draft tube vortex), the wicket gate performs large control movements in order to be able to maintain a steady speed. The speed shows slight variations.
- The maximum speed increase is, due to the larger runner opening, smaller than in example D.12.

D.14 Measurement of a start-up process under load
(example referring to 4.2)

6-jet Pelton turbine, $H_r = 1\,260$ m, $P_{Gr} = 260$ MW. Needle No. 6 is controlled to open for start-up, when reaching 20 % of nominal speed the needles 1 to 5 open temporarily in addition for faster acceleration of the unit.

a) Enregistrement des mesures, voir la Figure D.14

- Ordonnées 1: variation de chute ΔH en m.
- Ordonnées 2: valeurs relatives en pourcentage des courses des pointeaux de 1 à 6 Y_{nz} , de la consigne de charge de l'alternateur $P_{G \text{ set}}$, de la charge réelle de l'alternateur $P_{G \text{ act}}$, de la vitesse n .
- Instruments de mesure pour les ordonnées: instruments de mesure industriels.
- Incertitude de mesure (estimation): pour tous les paramètres en pourcentage environ ± 1 % absolu par rapport à la plage nominale; pour la variation de hauteur de chute ± 4 m.
- Abscisses: temps.

b) Résultat et évaluation

- 80 % de la vitesse nominale sont atteints après $t_{0,8} = 38$ s (CEI 61362).
- Stabilisation pour la synchronisation atteinte après $t_{SR} \approx 70$ s = $1,84 \times t_{0,8}$.
- Synchronisation après $t_s \approx 71$ s = $1,87 \times t_{0,8}$ (réglage suivant la CEI 61362 $t_s/t_{0,8} = 1,5$ à $5,0$).
- La stabilisation pour la synchronisation et la synchronisation répondent parfaitement aux exigences.
- L'augmentation de charge dans la plage de charges élevées pourrait être plus rapide si le régulateur de puissance était équipé d'une caractéristique de pré-réglage de puissance.

D.15 Mesure du passage de la turbine à pleine charge à un fonctionnement en compensateur synchrone
(exemple se référant à 4.2)

Turbine Pelton à 6 jets, $H_r = 1\,260$ m, $P_{Gr} = 260$ MW.

Les 6 pointeaux ferment à la vitesse maximale de manoeuvre.

a) Enregistrement des mesures, voir la Figure D.15

- Ordonnées 1: variation de hauteur de chute ΔH en m.
- Ordonnées 2: valeurs relatives en pourcentage de la course du pointeau Y_{nz} , de la charge réelle de l'alternateur $P_{G \text{ act}}$, de la vitesse n .
- Instruments de mesure pour les ordonnées: instruments de mesure industriels.
- Incertitude de mesure (estimation): pour tous les paramètres en pourcentage environ ± 1 % absolu par rapport à la plage nominale; pour la variation de hauteur de chute ± 4 m.
- Abscisses: temps.

b) Résultat et évaluation

- Variation linéaire des valeurs de consigne des pointeaux et de la charge (non indiqué sur la Figure D.15).
- Le déplacement des pointeaux dans la plage supérieure d'ouverture n'est pas linéaire suite à l'effet des forces hydrauliques.
- Une fermeture pas à pas est requise pour les petites ouvertures des pointeaux en raison de la surpression. Le pointeau n° 6 ferme quelque peu plus vite (se référer à la phase de démarrage, voir exemple D.14).
- L'augmentation de la hauteur de chute maximale est de 112 m, bien en dessous de la valeur admissible.

a) Measuring recording, see Figure D.14

- Ordinate 1: head change ΔH in m.
- Ordinate 2: percentage scale for needle positions 1 to 6 Y_{nz} , setpoint generator load $P_{G \text{ set}}$, actual generator load $P_{G \text{ act}}$, speed n .
- Measuring instruments for ordinates: industrial measuring instruments.
- Measuring uncertainty (estimation): for all percentage parameters approximately ± 1 % absolute in relation to the nominal range; for head change ± 4 m.
- Abscissa: time.

b) Result and evaluation

- 80 % of the nominal speed is reached after $t_{0,8} = 38$ s (IEC 61362).
- Readiness for synchronising reached after $t_{SR} \approx 70$ s = $1,84 \times t_{0,8}$.
- Synchronisation after $t_s \approx 71$ s = $1,87 \times t_{0,8}$ (set-point according to IEC 61362 $t_s/t_{0,8} = 1,5$ to 5,0).
- Readiness for synchronisation and synchronisation perfectly fulfils the requirements.
- The load increase in the upper load range could be faster if the power controller was equipped with a power pre-control characteristic.

D.15 Measurement of changeover from full turbine load to synchronous condenser operation (example referring to 4.2)

6-jet Pelton turbine, $H_r = 1\,260$ m, $P_{Gr} = 260$ MW.

The 6 needles close at maximum positioning speed.

a) Measuring recording, see Figure D.15

- Ordinate 1: head change ΔH in m.
- Ordinate 2: percentage scale for needle stroke Y_{nz} , actual generator load $P_{G \text{ act}}$, speed n .
- Measuring instruments for ordinates: industrial measuring instruments.
- Measuring uncertainty (estimation): for all percentage parameters approximately ± 1 % absolute in relation to the nominal range; for head change ± 4 m.
- Abscissa: time.

b) Result and evaluation

- Linear change of needle and load set-point values (not shown in Figure D.15).
- The needle movement in the upper opening range is non-linear as a result of the effect of the hydraulic forces.
- Closing in steps for small needle openings is necessary due to the pressure surge. Needle No. 6 closes somewhat faster (see start-up process in Figure D.14).
- The maximum head increase is 112 m, far below the admissible value.

D.16 Mesure de la réponse à échelon de puissance en réseau isolé simulé en ligne (exemple se référant à 6.9)

Turbine Francis, $H_r = 90$ m, $P_{Gr} = 13$ MW; course du servomoteur $Y_{max} = 273$ mm.

Régulateur de vitesse PID électronique; alternateur fonctionnant sur le réseau interconnecté, régulateur connecté au simulateur en réseau isolé en ligne.

Simulation d'une réponse à échelon de puissance avec les caractéristiques suivantes du réseau isolé simulé:

- puissance initiale $P_{G0} = 10,5$ MW,
- constante d'accélération caractéristique de l'inertie du groupe $T_a = 7,2$ s,
- constante d'accélération de charge $T_b = 0$,
- coefficient net d'auto réglage du système commandé $e_n = 1$ (puissance et fréquence sont indiquées à chaque fois en valeur relative par unité),
- puissance incrémentale $\Delta P_G = 2 \% P_{Gr}$.

a) Enregistrement des mesures, voir la Figure D.16

- Ordonnées 1: fréquence simulée.
- Ordonnées 2: puissance électrique.
- Ordonnées 3: position du servomoteur.
- Ordonnées 4: puissance mécanique.
- Abscisses: temps.
- Instruments de mesure pour les ordonnées: instruments de mesure industriels (à l'exception du mesureur de couple combiné avec une télétransmission pour la mesure de la puissance mécanique), enregistreur numérique.
- Incertitude de mesure: moins que $\pm 1 \%$ pour toutes les variables en rapport avec la plage nominale.

b) Résultat et évaluation

- La fréquence simulée a un comportement stable, similaire au résultat de la simulation numérique; le dépassement vers le bas atteint à peu près 0,8 % de la fréquence nominale pour un échelon de puissance de 2 % de la puissance nominale.
- L'ouverture du servomoteur, la puissance mécanique et la puissance électrique arrivent près de leurs valeurs finales en moins de 3 s.
- La puissance électrique de sortie est affectée par des oscillations électromécaniques à une fréquence naturelle entre 1 Hz et 2 Hz; l'amplitude de ces oscillations est relativement faible, et avec un filtre adapté pour cette mesure de puissance, le calcul de la fréquence simulée n'est pas perturbé.

D.16 Measurement of a power step-response in on-line simulated isolation test (example referring to 6.9)

Francis turbine, $H_r = 90$ m, $P_{Gr} = 13$ MW; servomotor stroke $Y_{max} = 273$ mm.

Electronic PID speed controller; generator in parallel with the interconnected grid, controller connected to the on-line isolated grid simulator.

Simulation of a power step-response with the following characteristics of the simulated isolated grid:

- initial power output $P_{G0} = 10,5$ MW,
- unit acceleration time constant $T_a = 7,2$ s,
- load acceleration time constant $T_b = 0$,
- controlled system net self-regulation factor $e_n = 1$ (with power and frequency expressed in “per unit”),
- incremental power $\Delta P_G = 2$ % P_{Gr} .

a) Measuring recording, see Figure D.16

- Ordinate 1: simulated frequency.
- Ordinate 2: electrical power output.
- Ordinate 3: servomotor position.
- Ordinate 4: mechanical power.
- Abscissa: time.
- Measuring instruments for ordinates: industrial measuring instruments (excepted the torque meter combined with a remote transmission for the measurement of the mechanical power), digital recorder.
- Measuring uncertainty (estimation): less than ± 1 % for all variables related to the nominal range.

b) Result and evaluation

- The simulated frequency has a stable behaviour, similar to the result of numerical simulation; the undershoot reaches about 0,8 % of the nominal frequency for a power step of 2 % of the rated output.
- The servomotor opening, the mechanical power and the electrical power comes close to their final values in less than 3 s.
- The electrical power output is affected by electromechanical oscillations at a natural frequency between 1 Hz and 2 Hz; the amplitude of these oscillations is relatively small, and with an adapted filter on this measurement of power, the calculation of the simulated frequency is not disturbed.

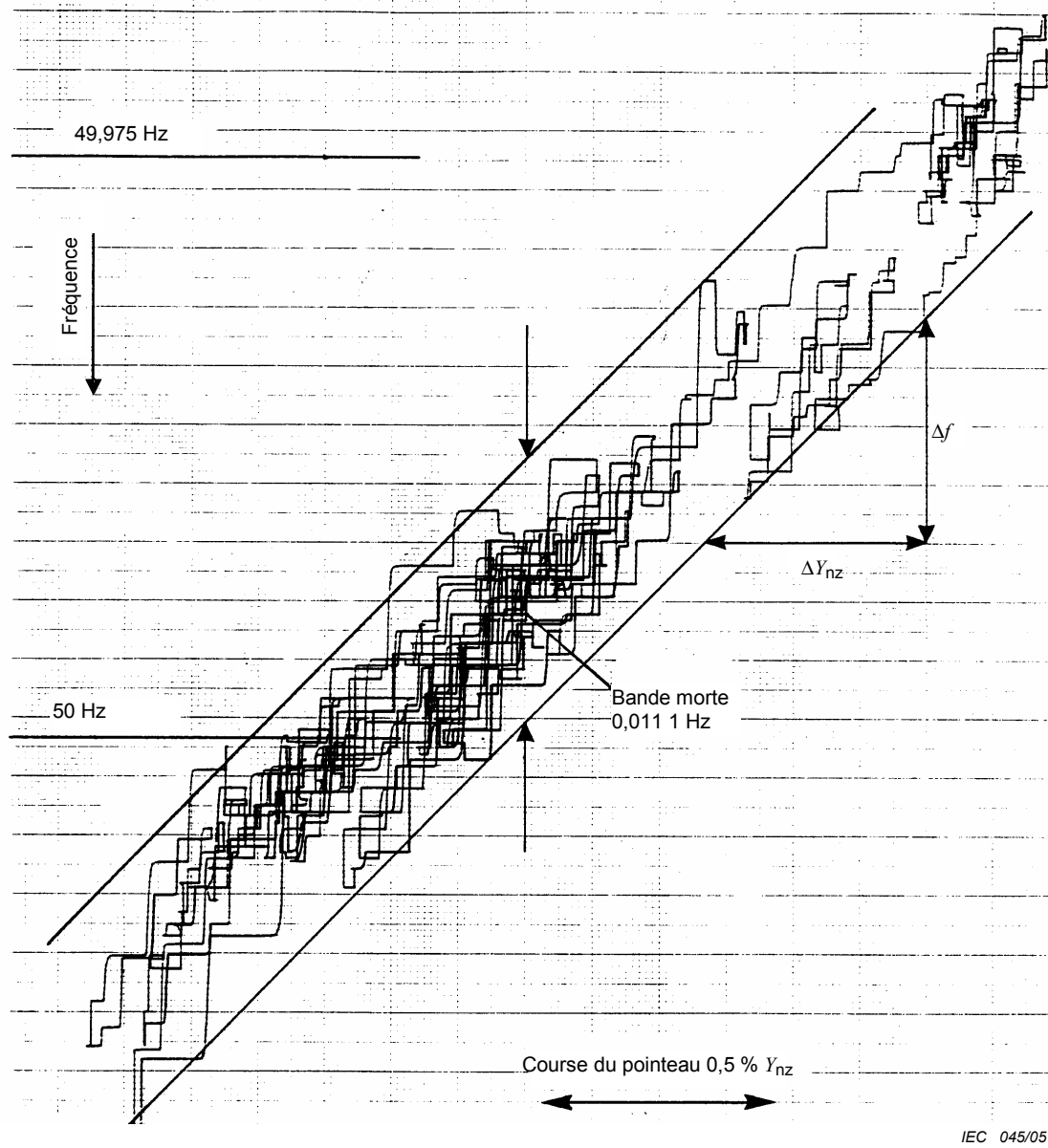


Figure D.1 – Essai d'insensibilité en régulation de vitesse avec enregistrement X-Y

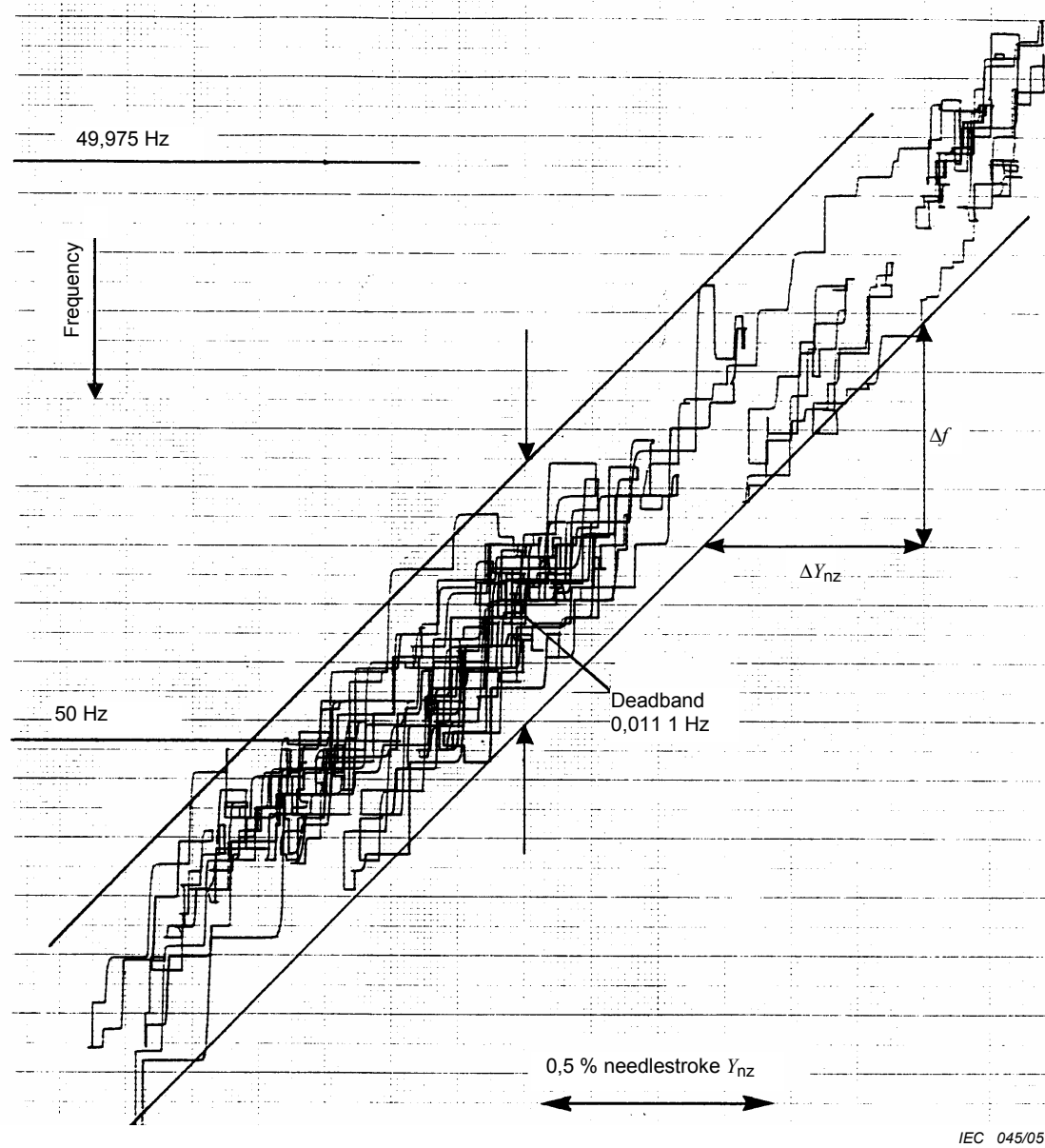


Figure D.1 – Insensitivity test under speed control with X-Y recording

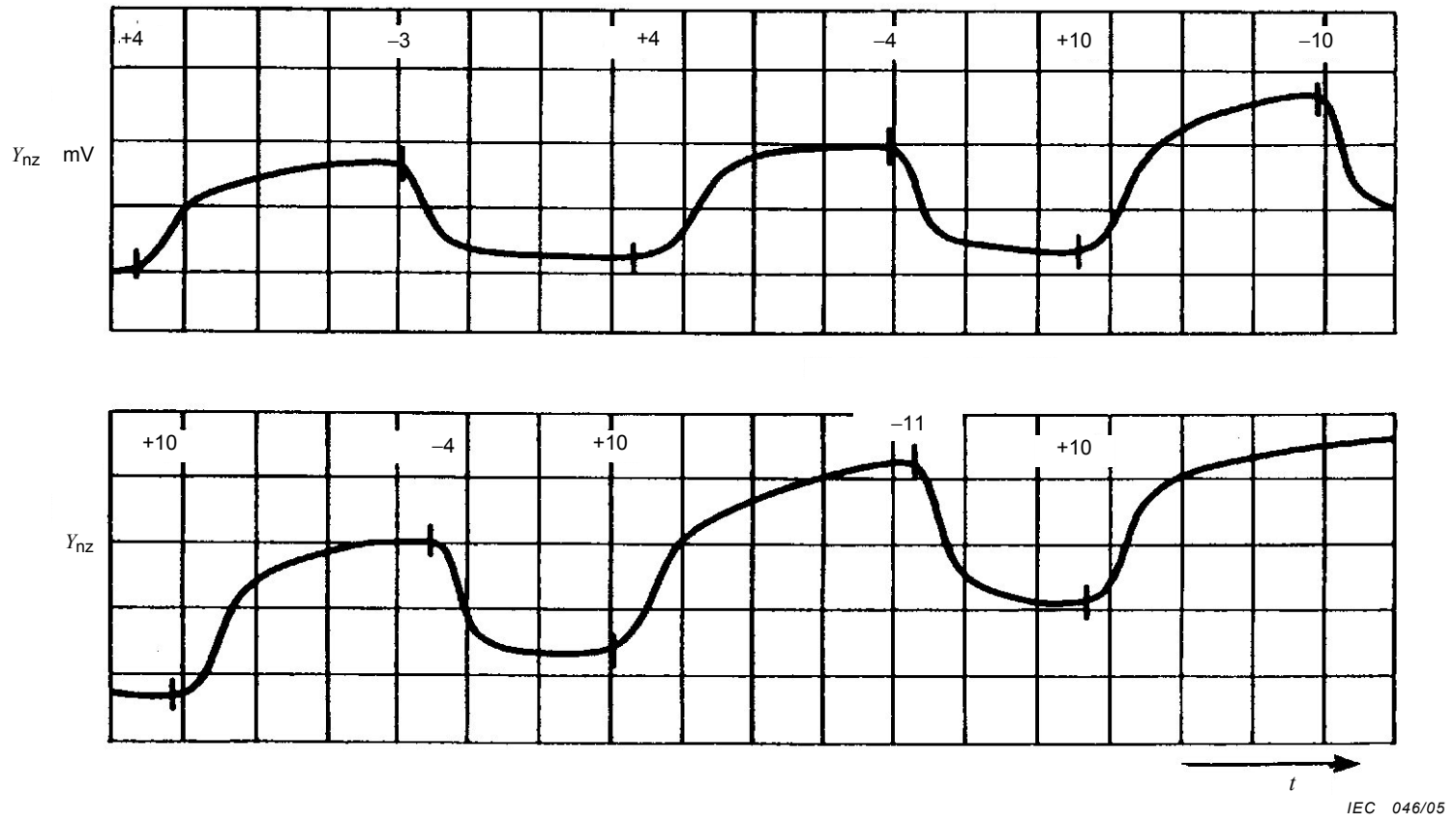


Figure D.2 – Essai d'insensibilité en régulation de puissance avec caractéristiques temporelles

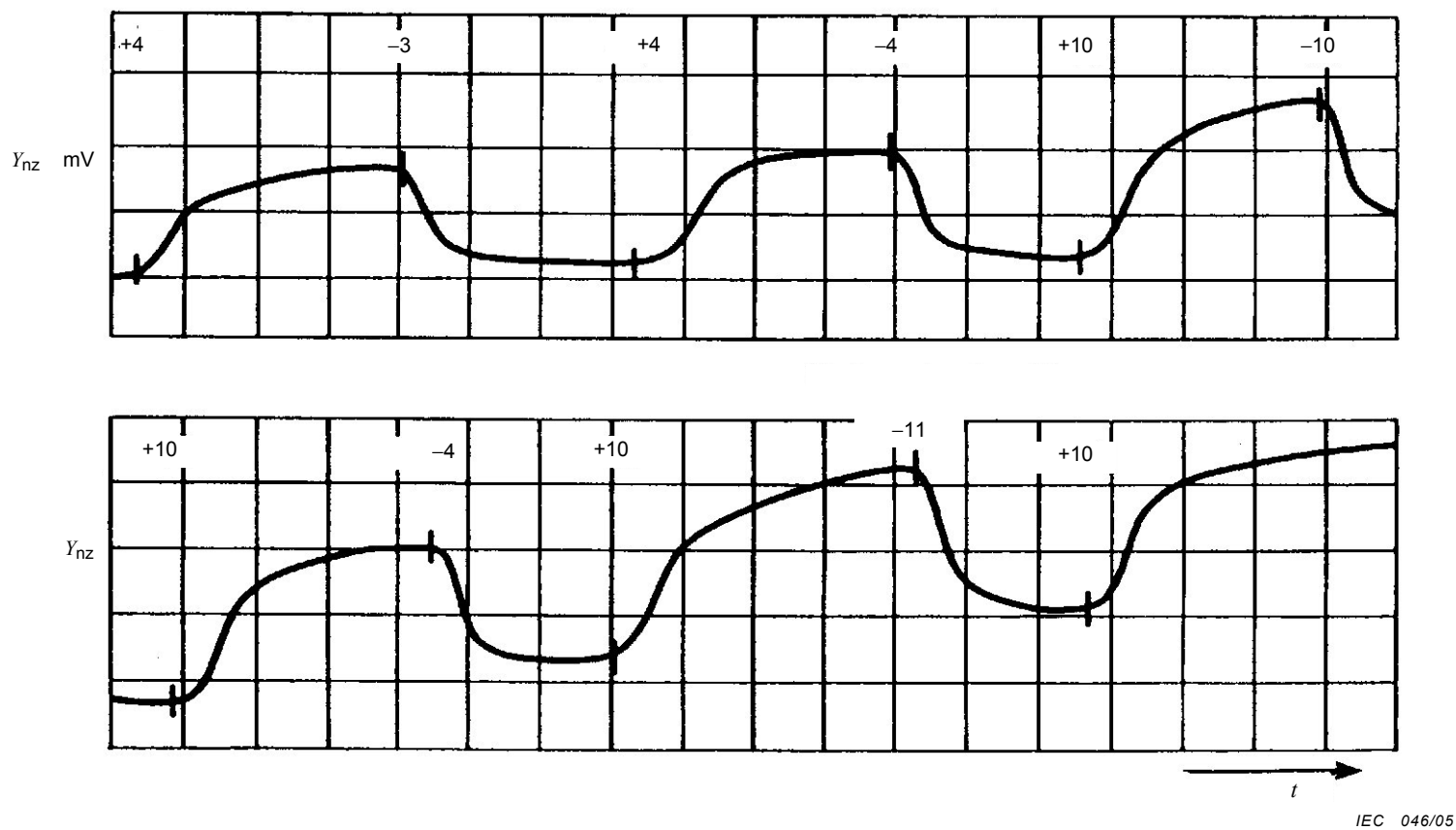


Figure D.2 – Insensitivity test under power control with time characteristics

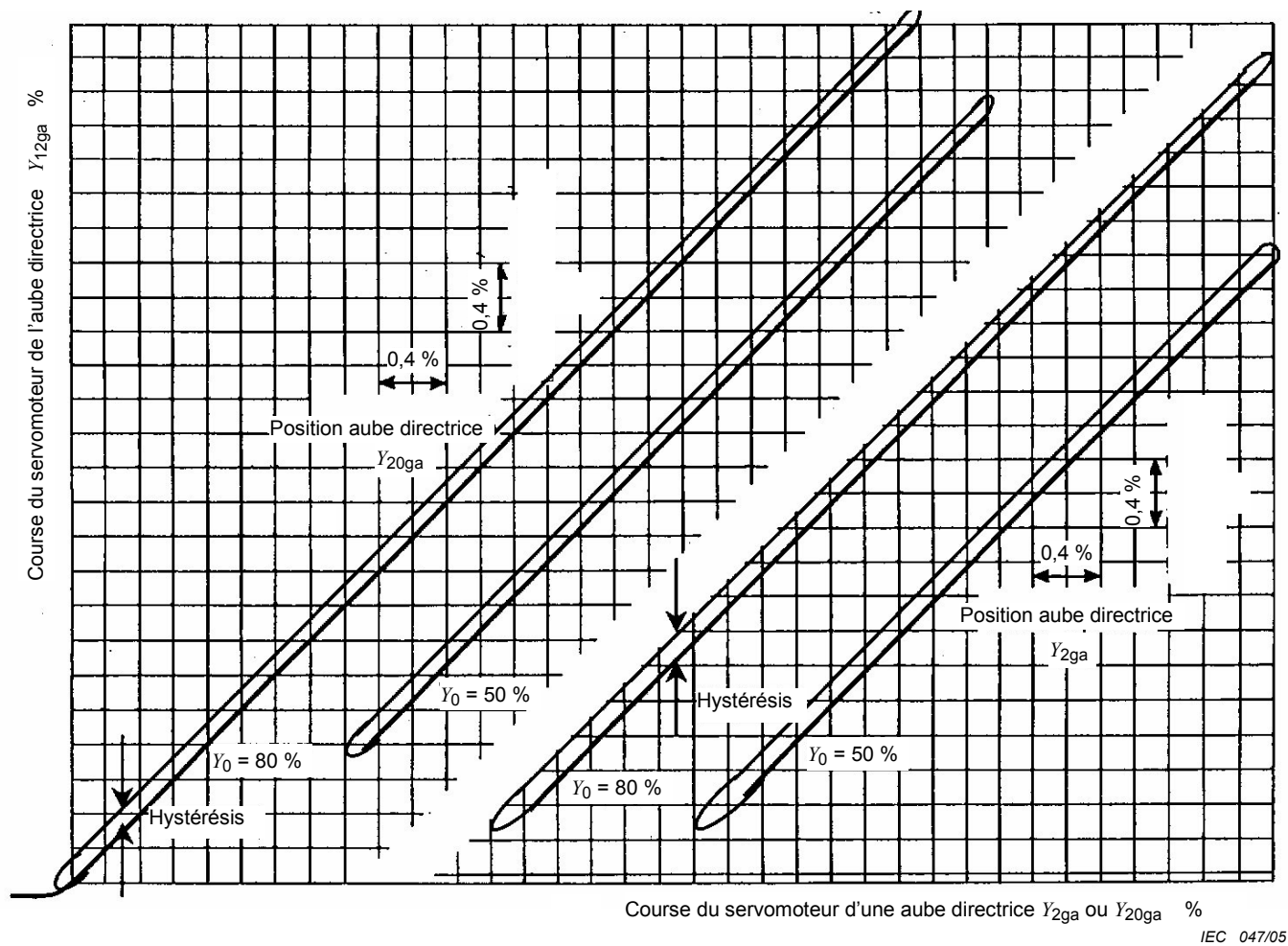


Figure D.3 – Essai de synchronisation de 2 grandeurs réglées avec enregistrement X-Y

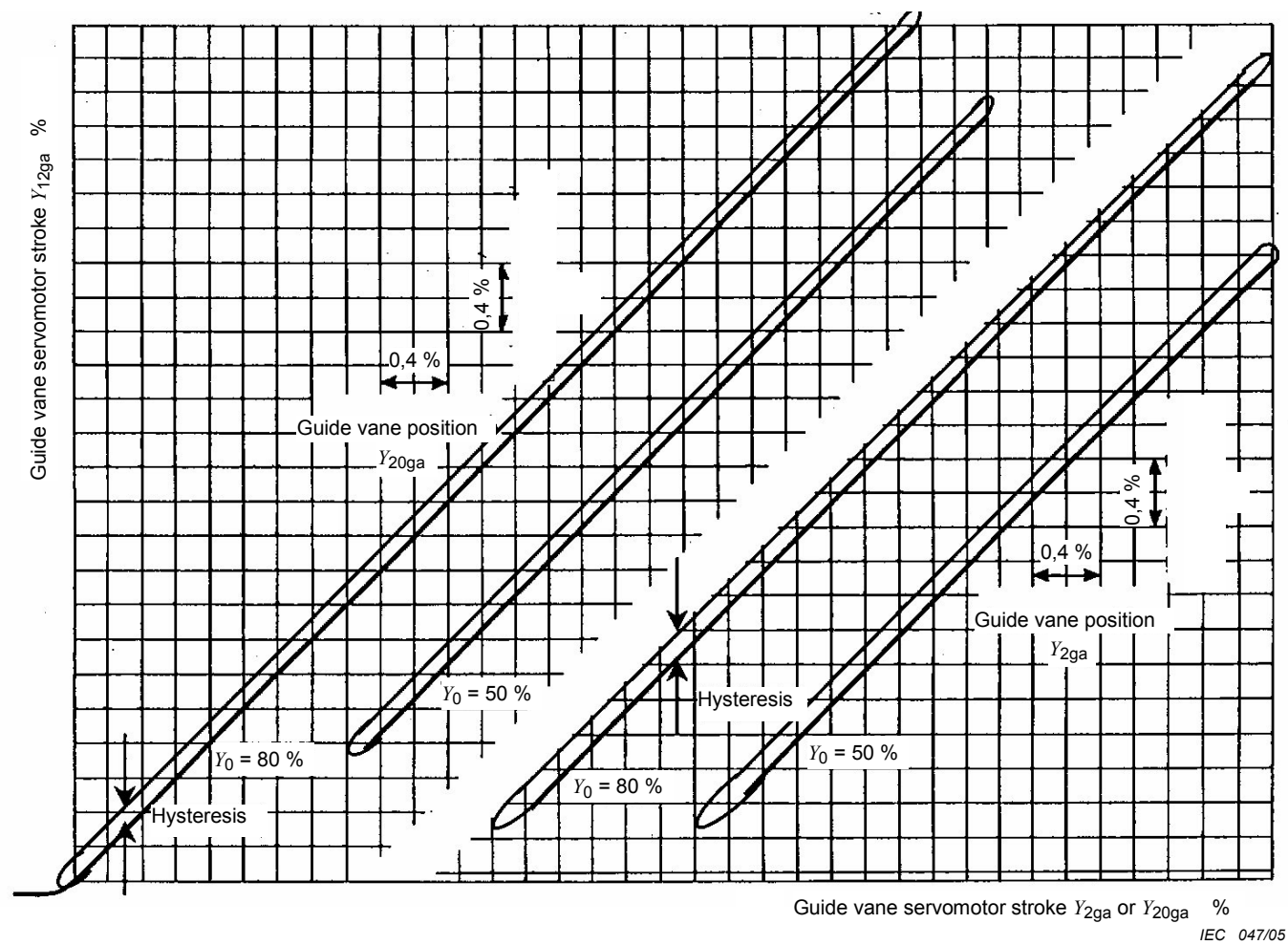


Figure D.3 – Flutter test of 2 regulated quantities with X-Y recording

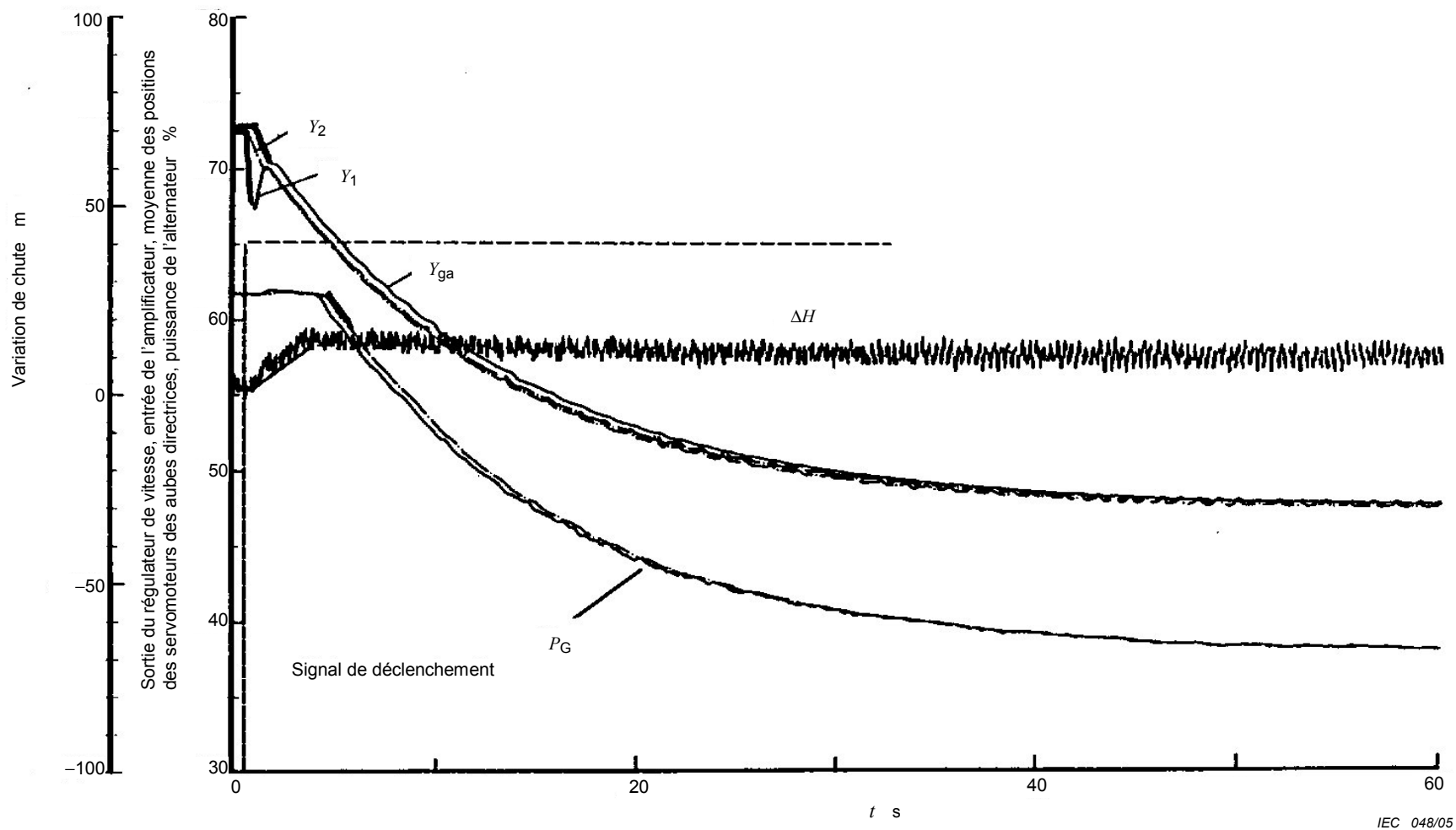
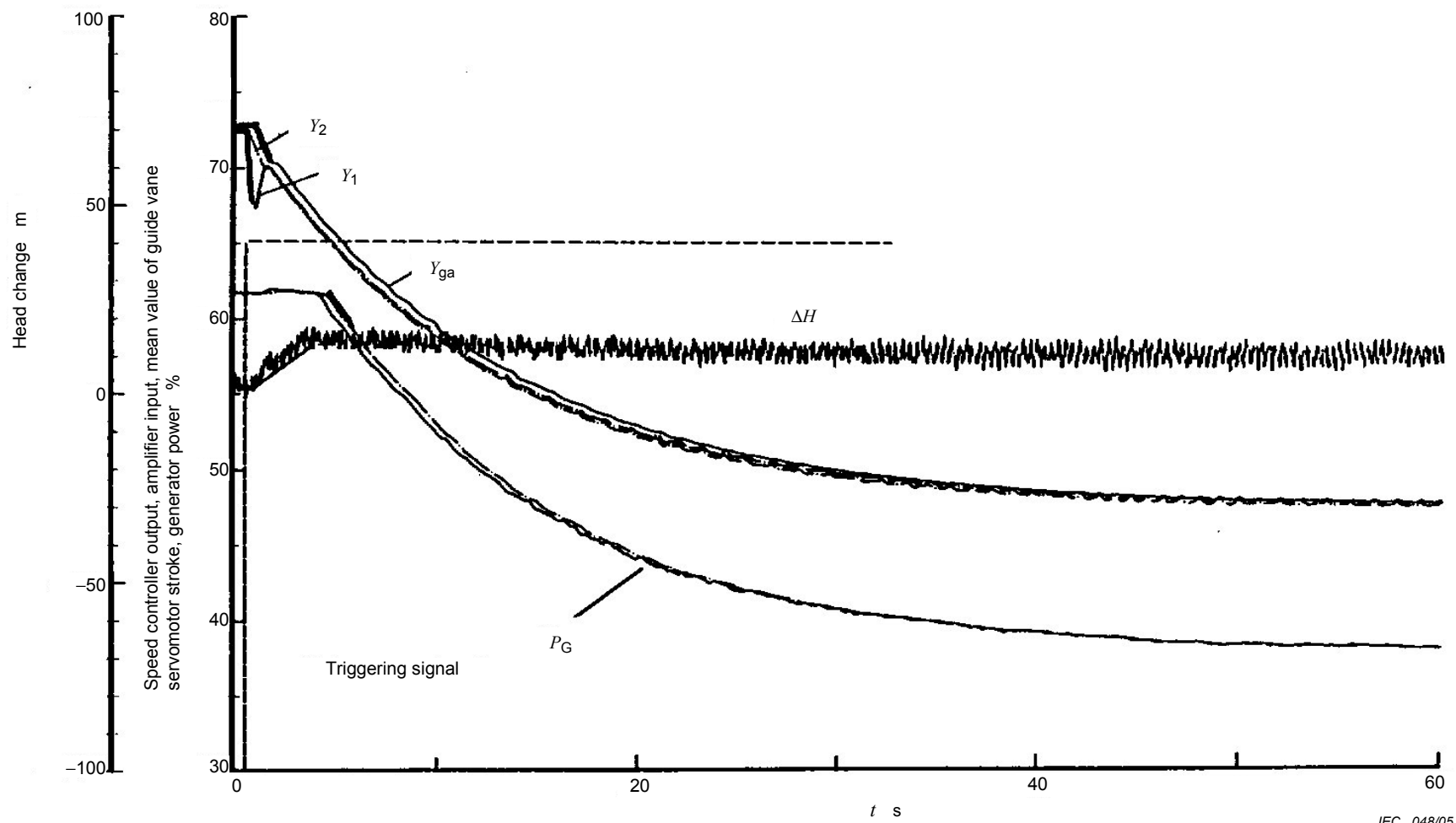


Figure D.4 – Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en régulation de vitesse, régulateur PID



IEC 048/05

Figure D.4 – Measurement of a unit step response with PID speed controller

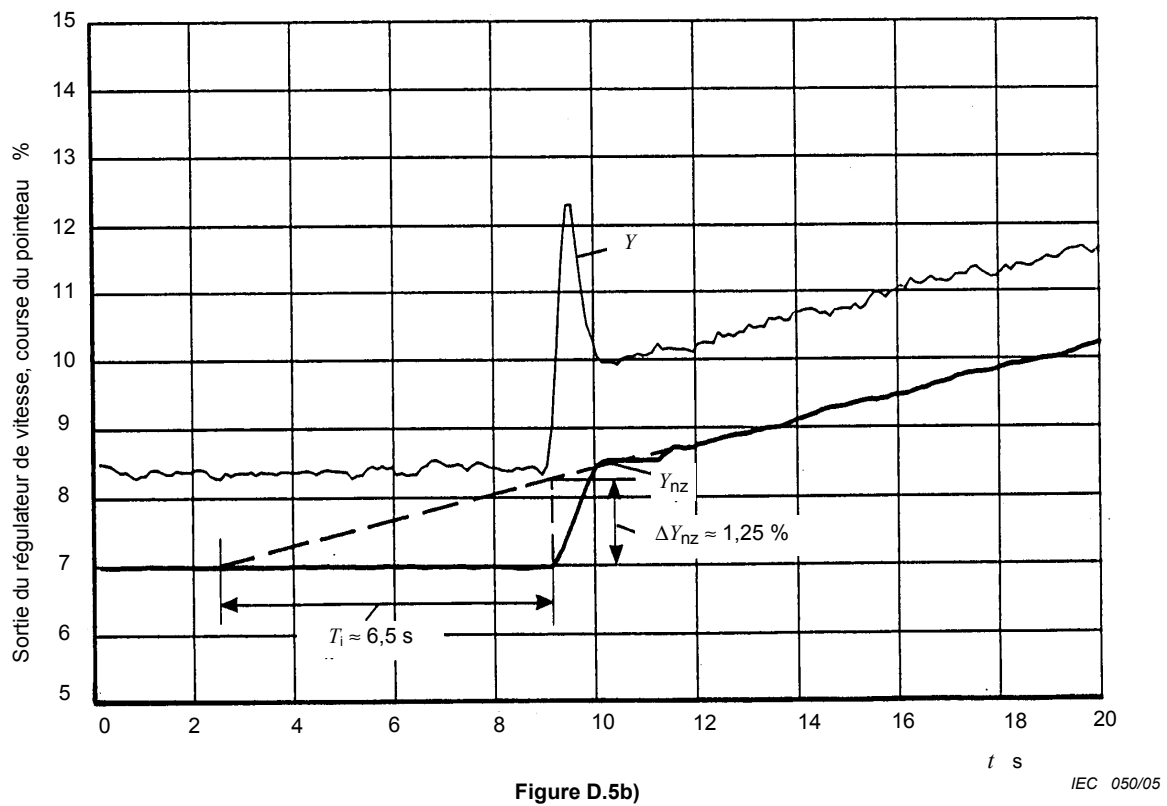
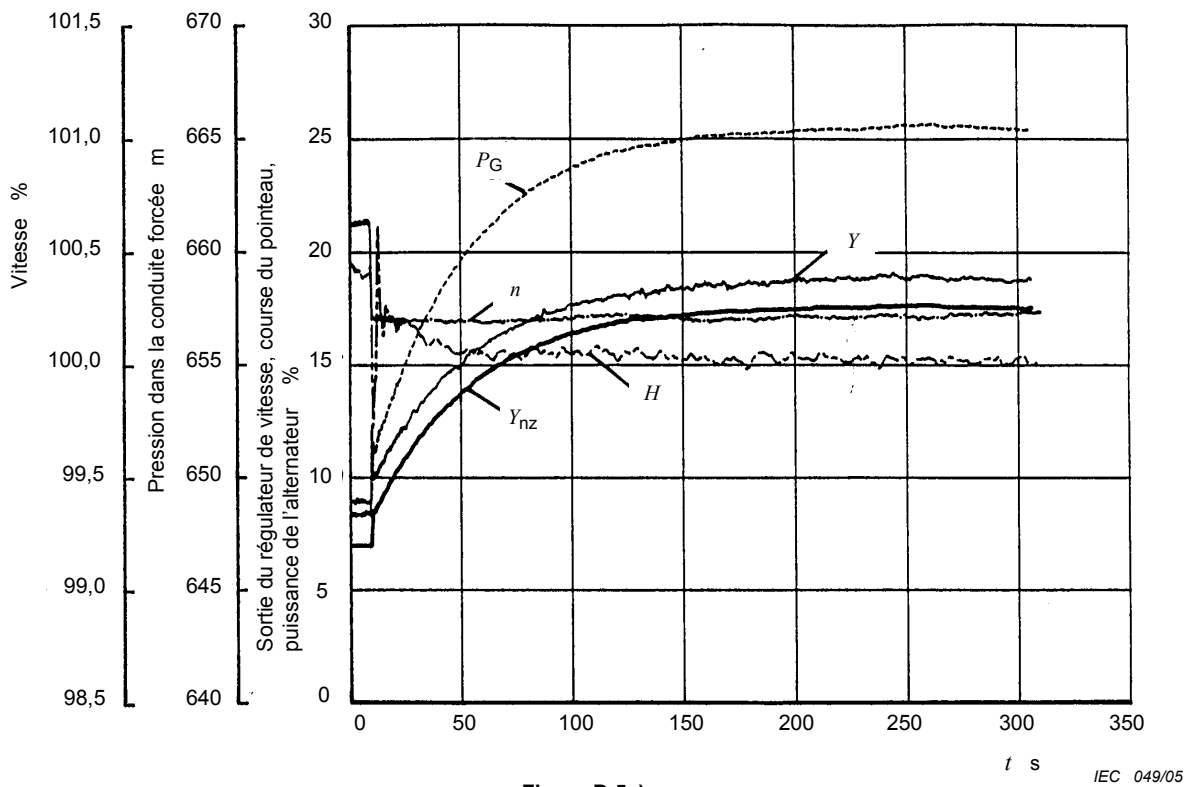


Figure D.5 – Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en régulation de vitesse avec détermination des paramètres du régulateur PID

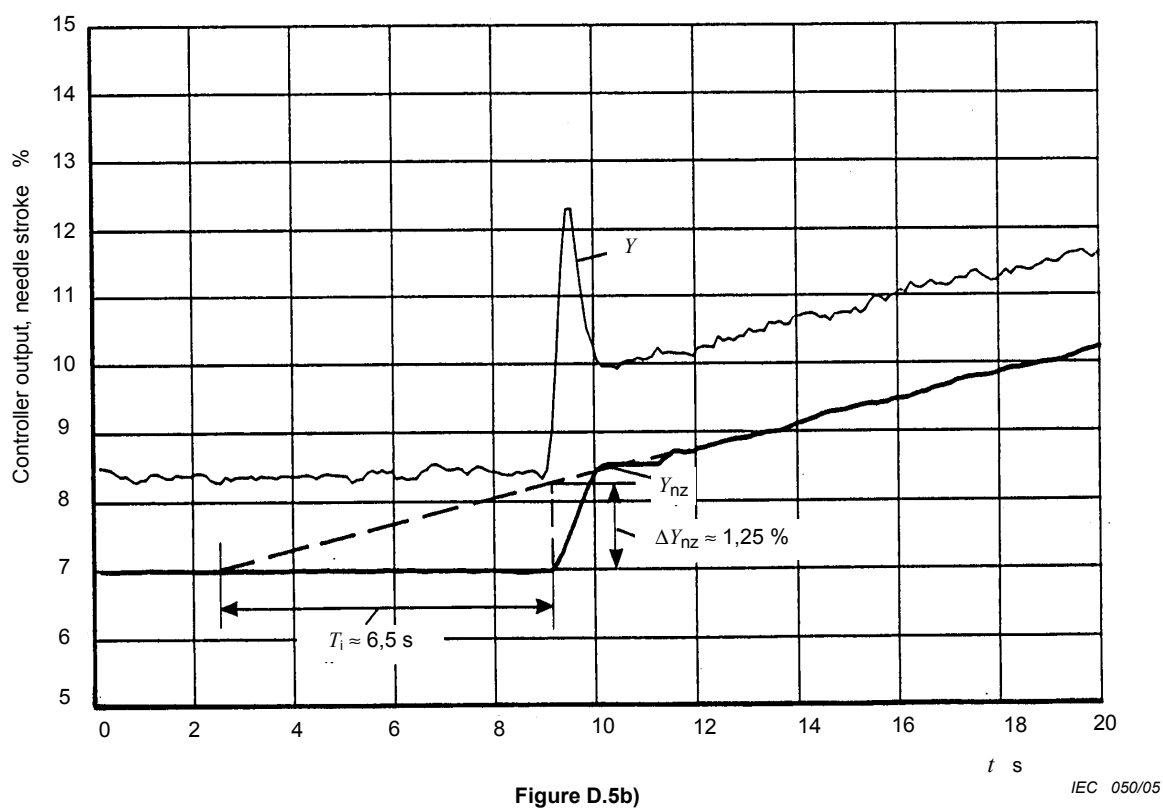
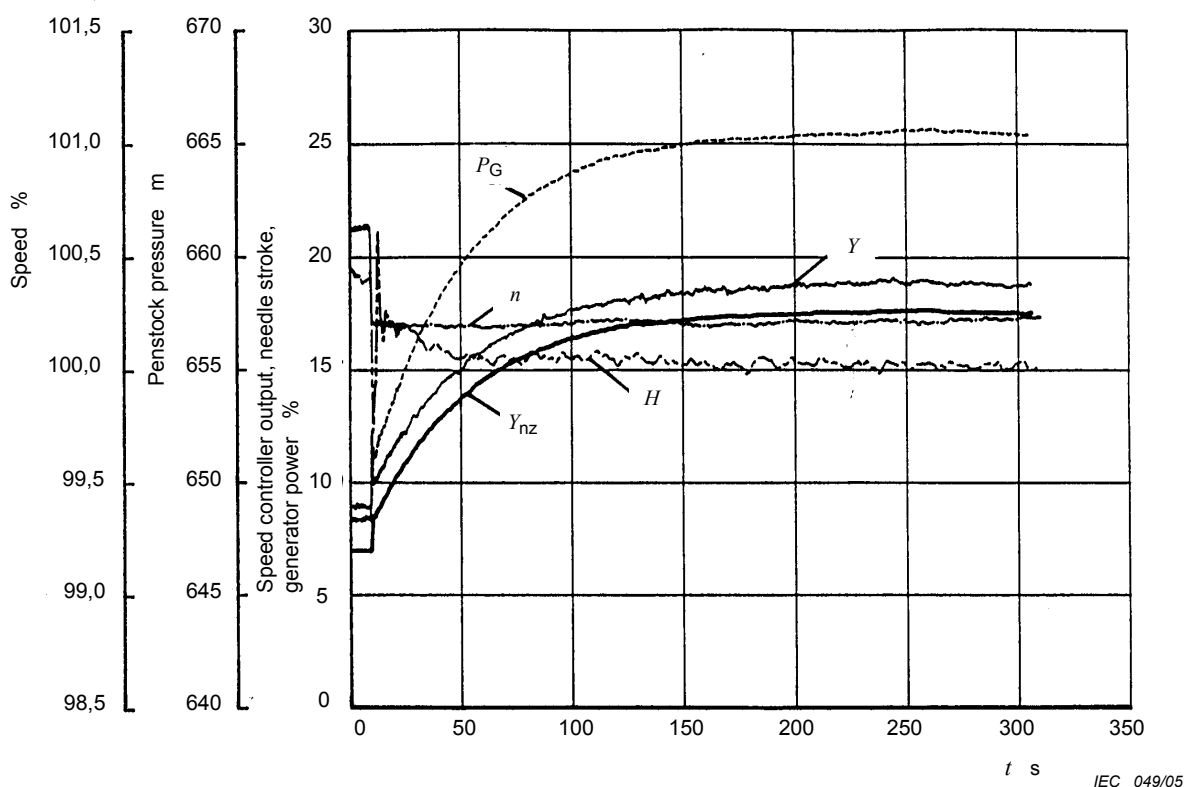


Figure D.5 – Measurement of a unit step response with speed control for determination of PID controller parameters

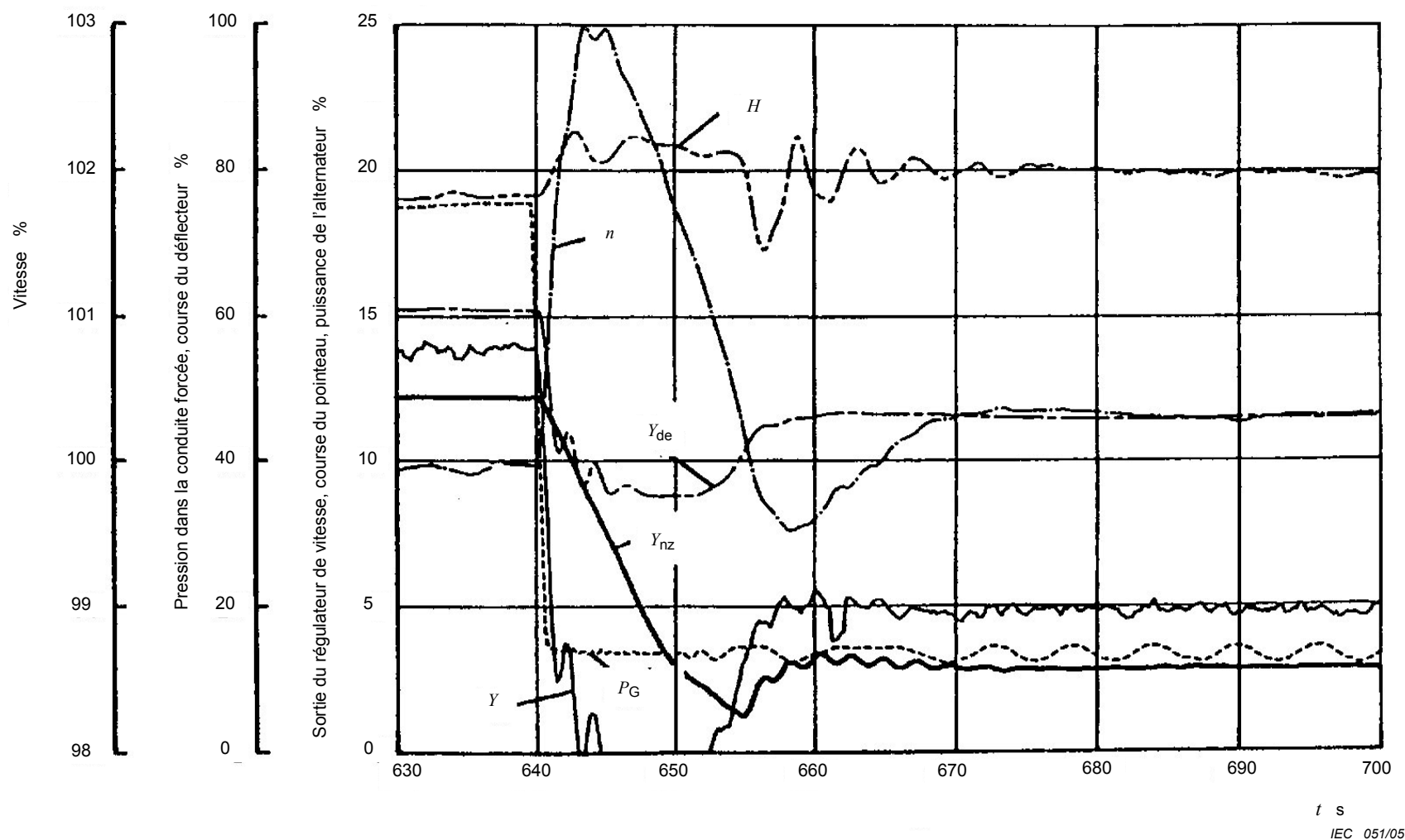


Figure D.6 – Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en fonctionnement en réseau isolé

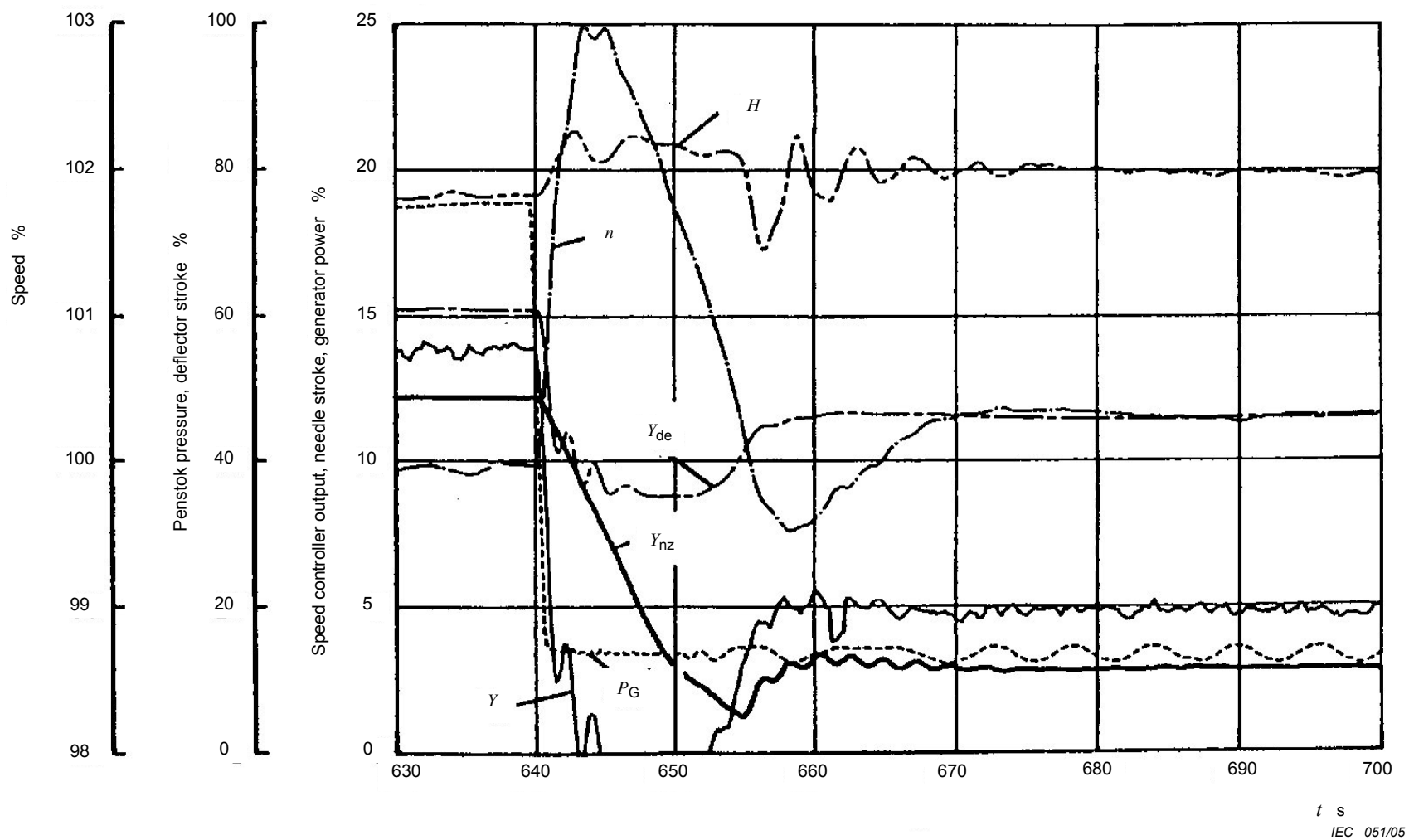
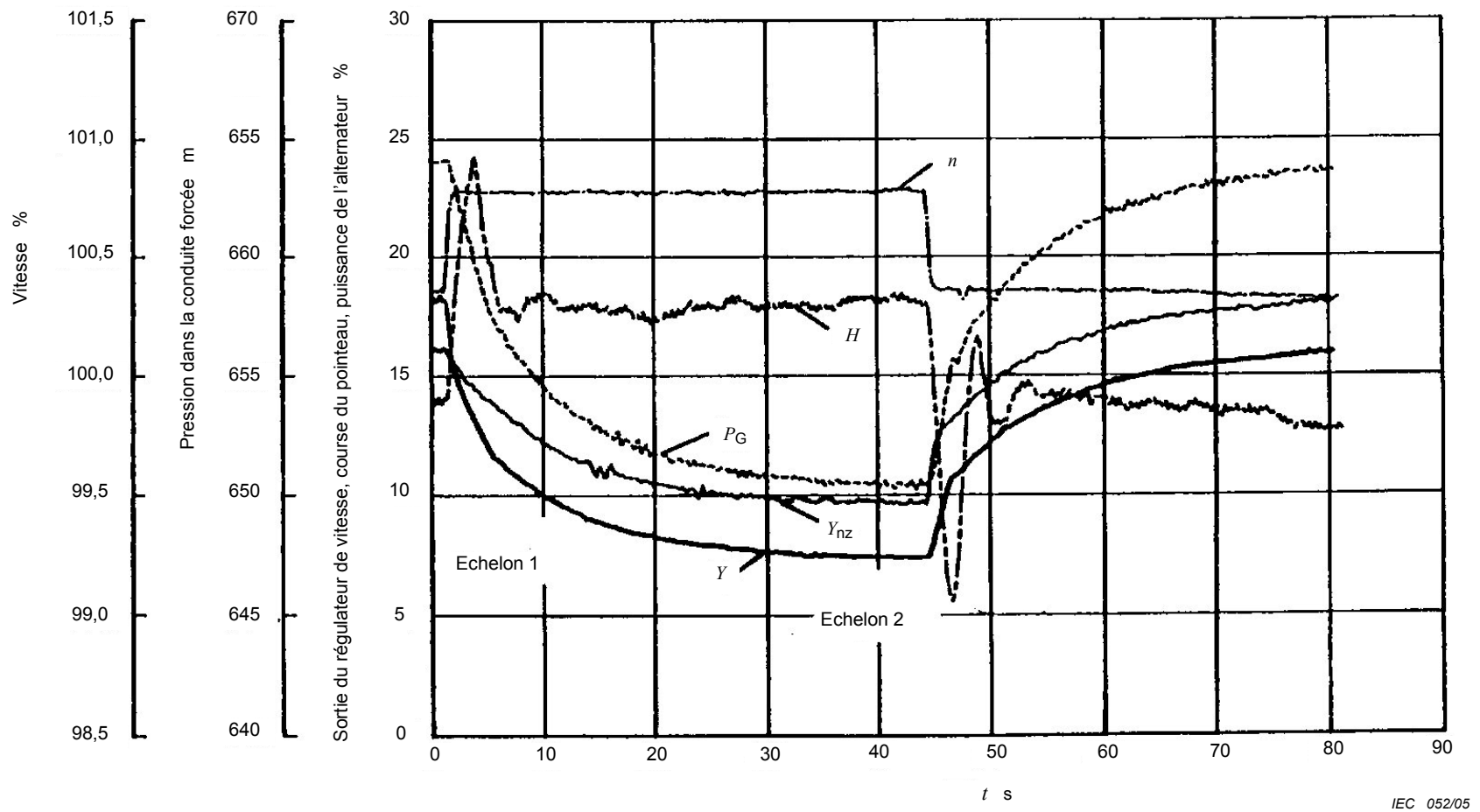


Figure D. 6 – Measurement of unit step response in isolated operation



IEC 052/05

Figure D.7 – Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en régulation de puissance (turbine Pelton)

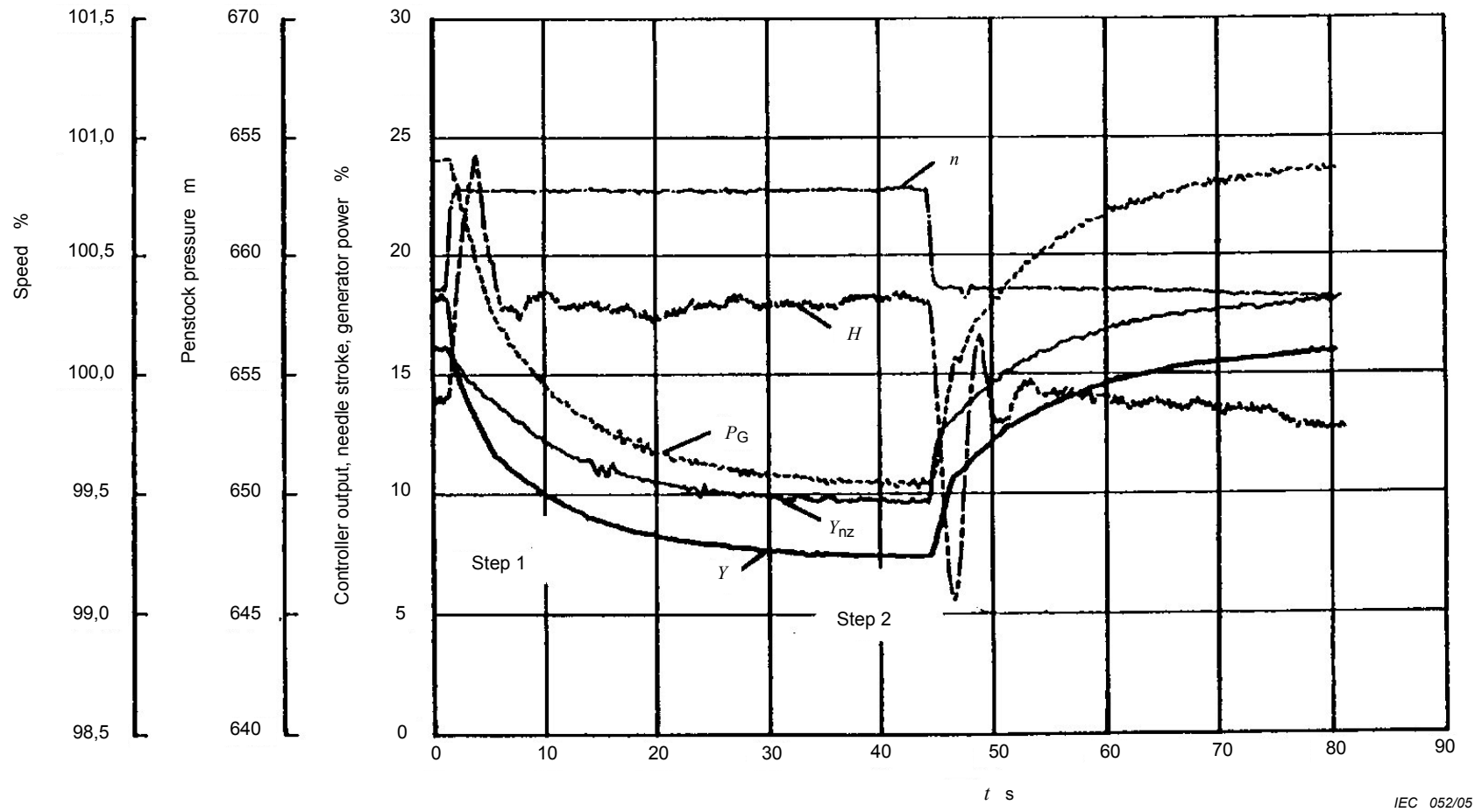


Figure D.7 – Measurement of a unit step responses with power control (Pelton turbine)

IEC 052/05

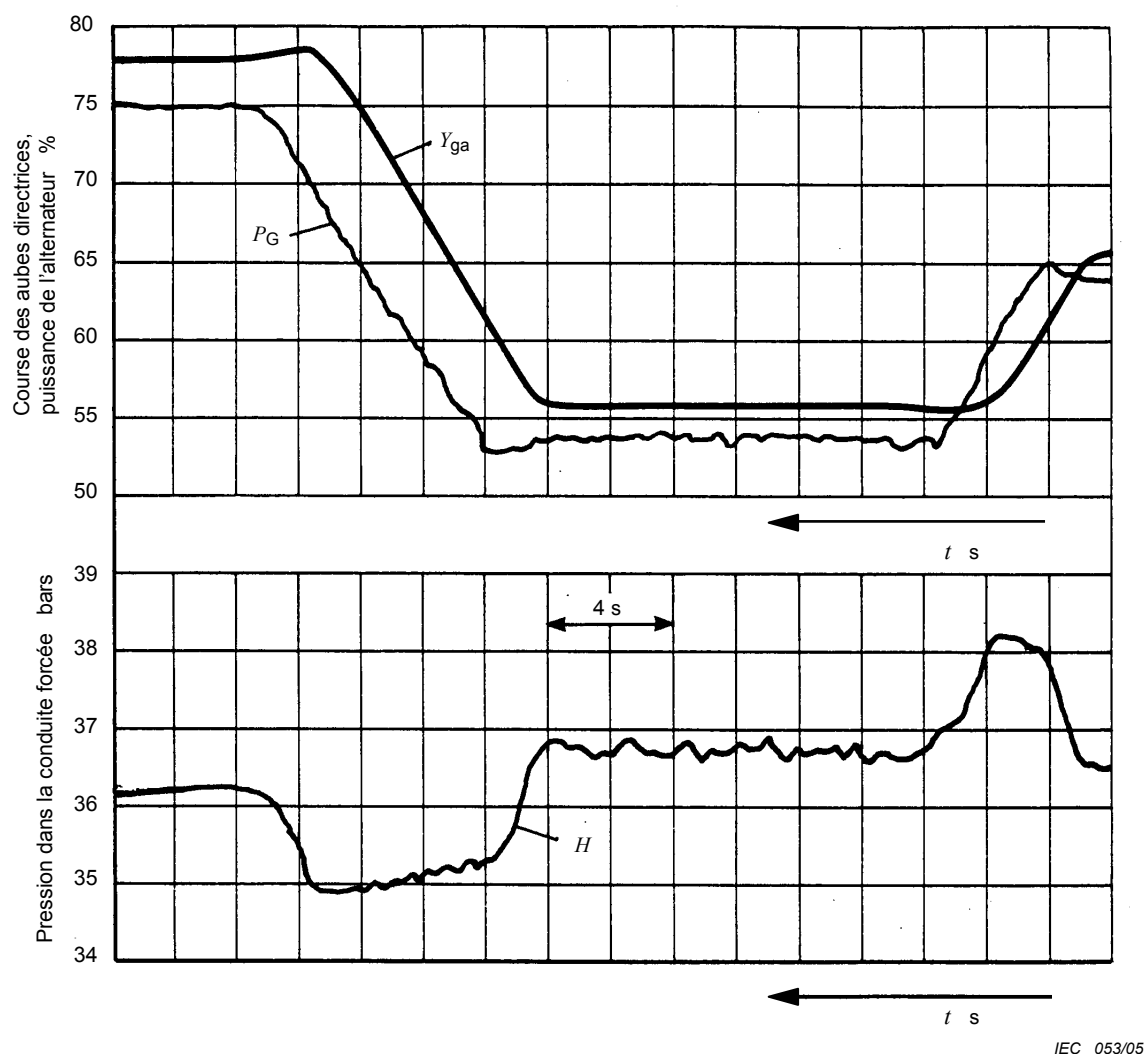
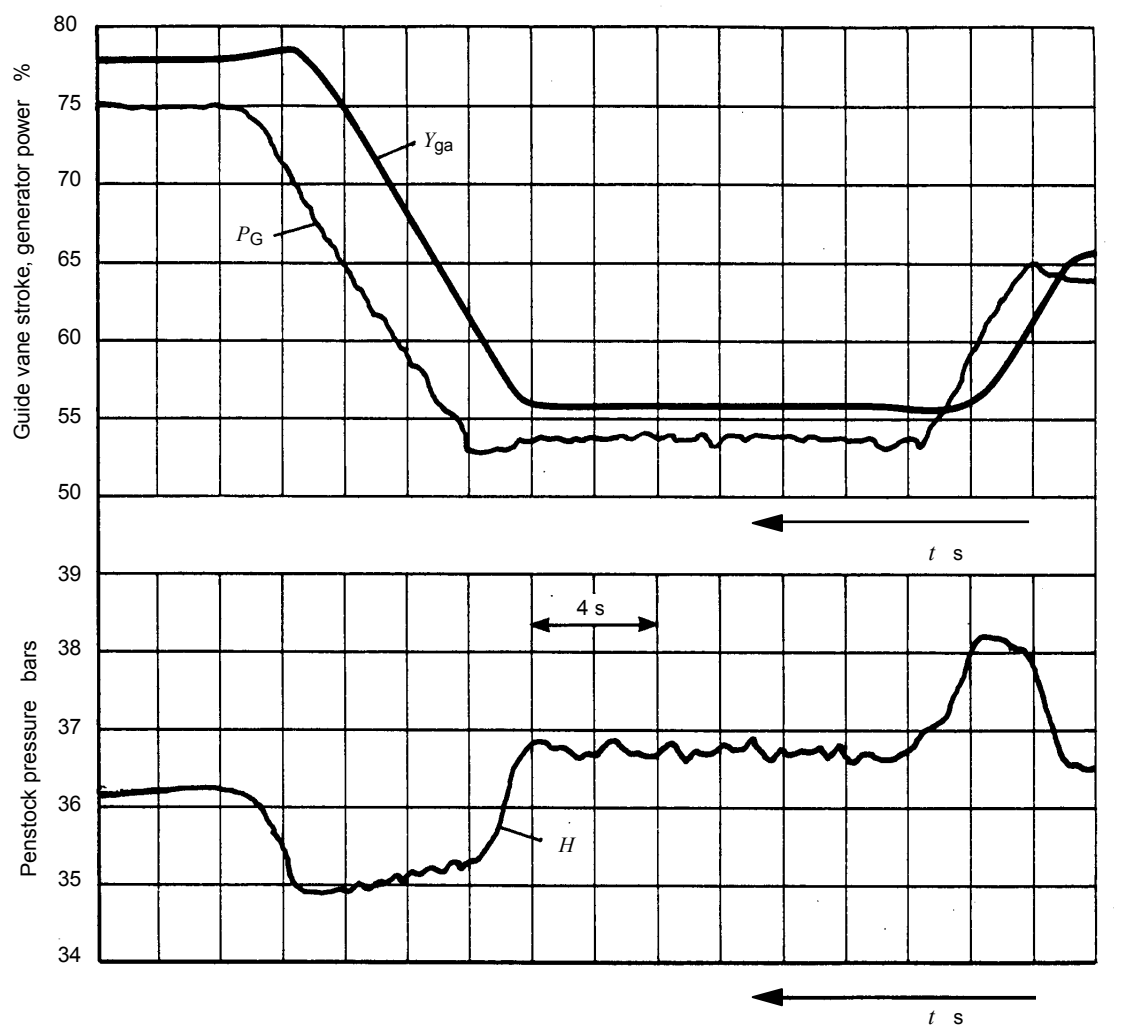


Figure D.8 – Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en régulation de puissance (turbine pompe)



IEC 053/05

Figure D.8 – Measurement of unit step responses with power control (pump turbine)

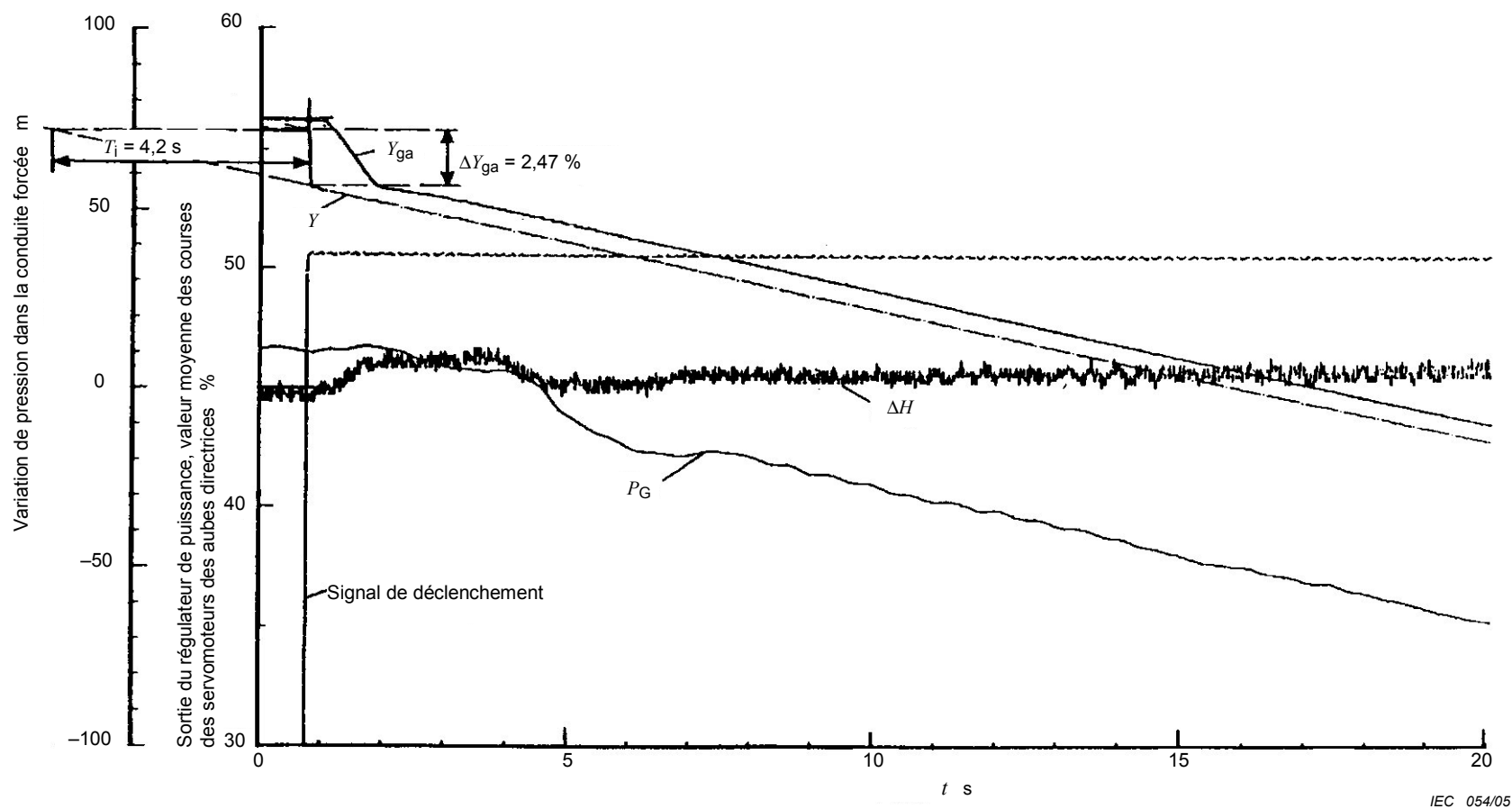


Figure D.9 – Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en régulation de puissance avec détermination des paramètres du régulateur PI

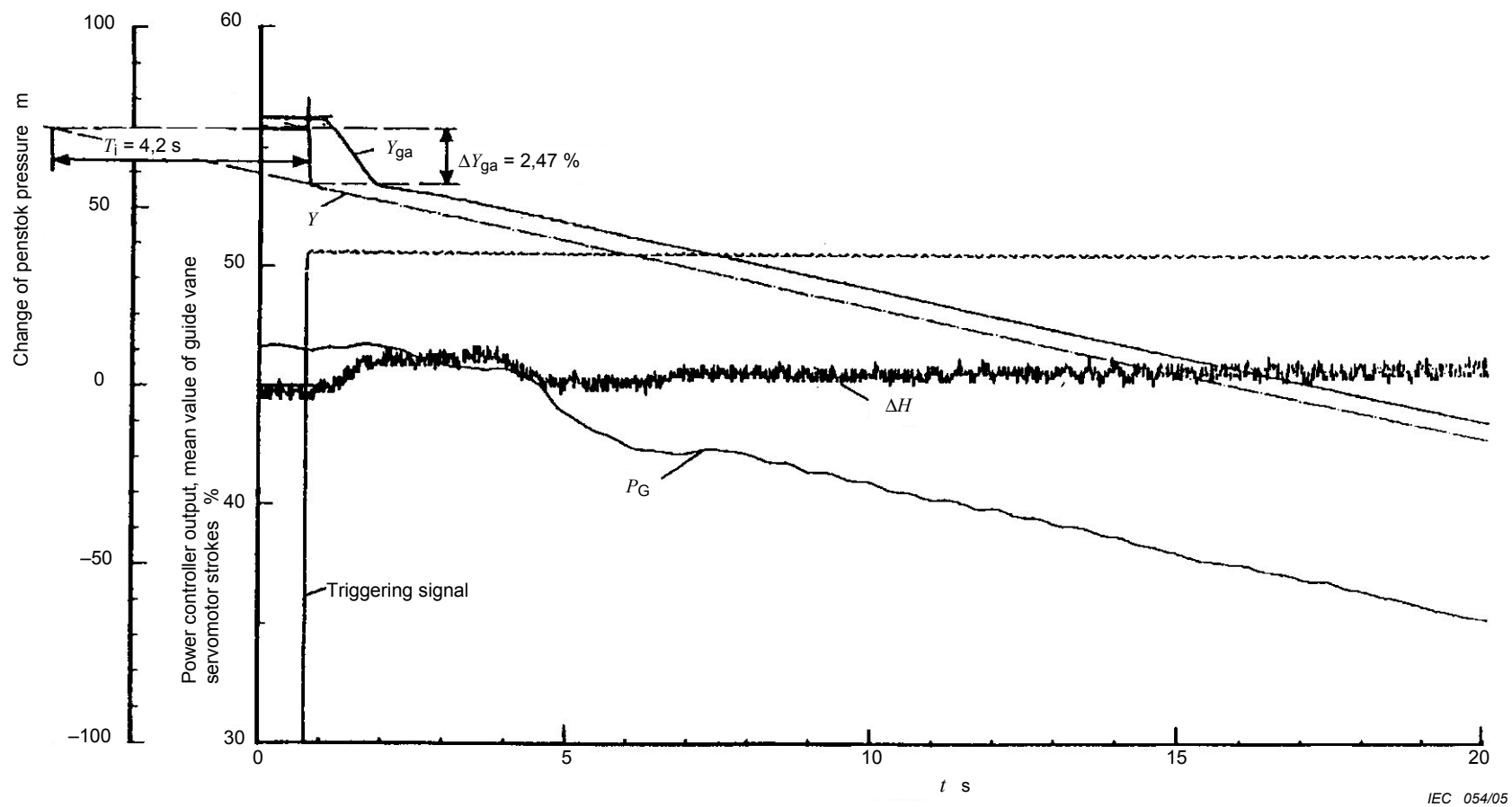


Figure D.9 – Measurement of a unit step response with power control for determination of PI-controller parameters

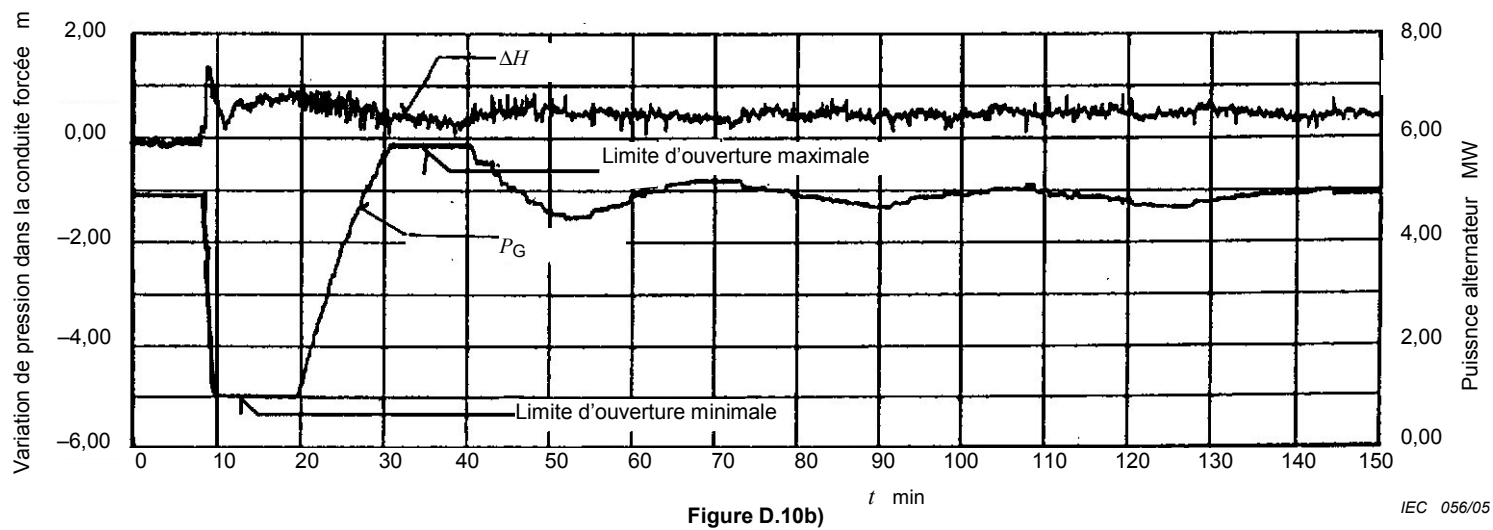
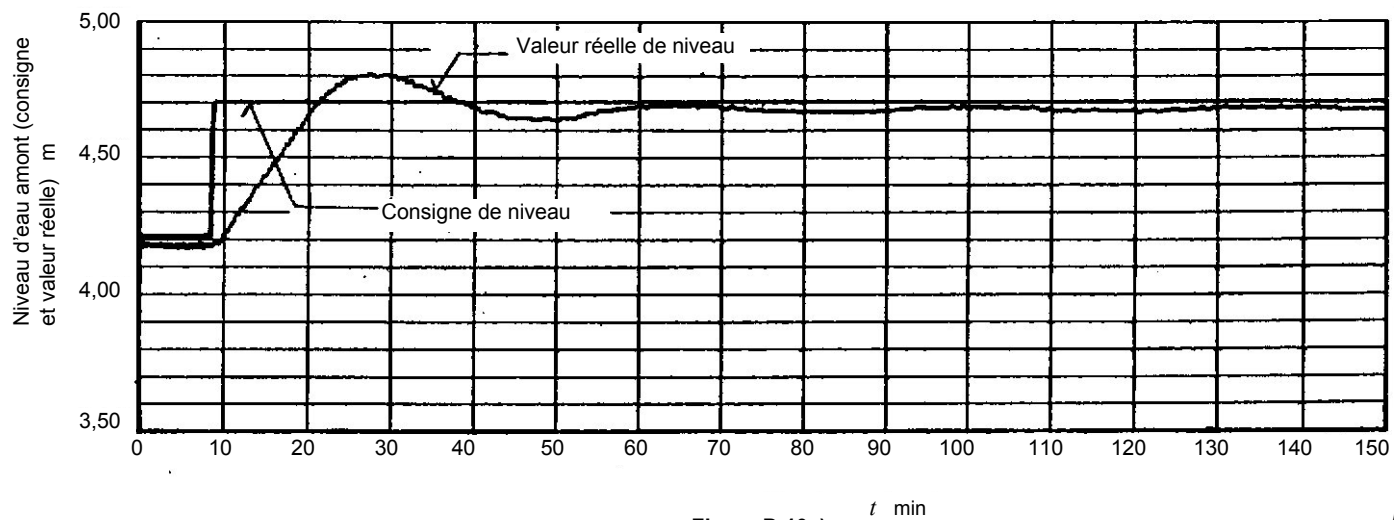


Figure D.10 – Mesure de la réponse à échelon d'un groupe en régulation de niveau d'eau amont

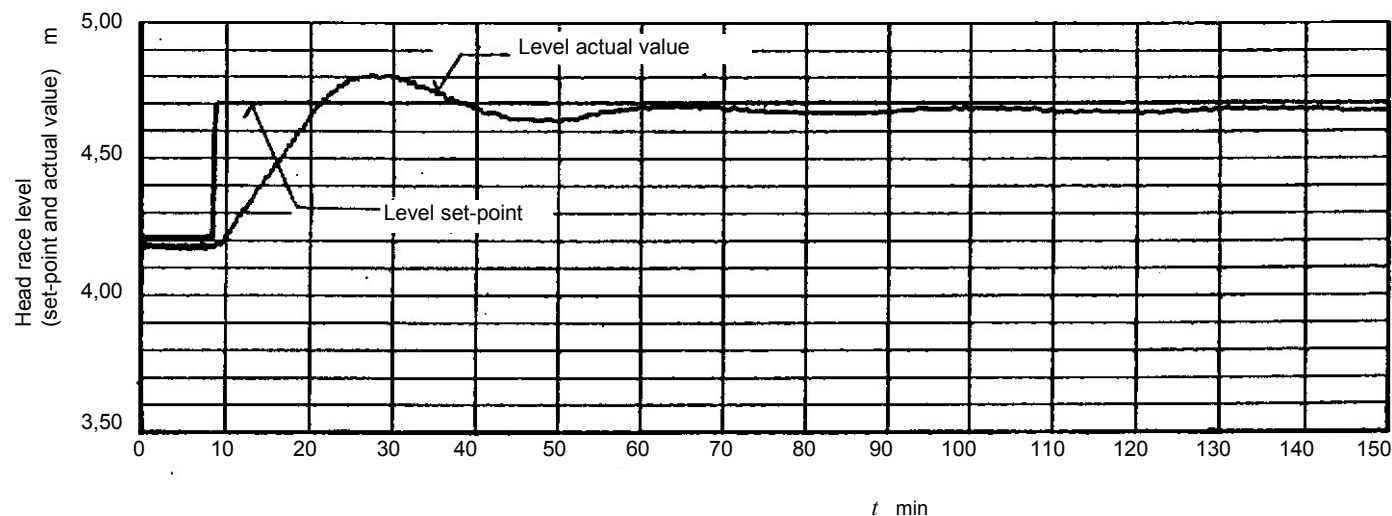


Figure D.10a)

IEC 055/05

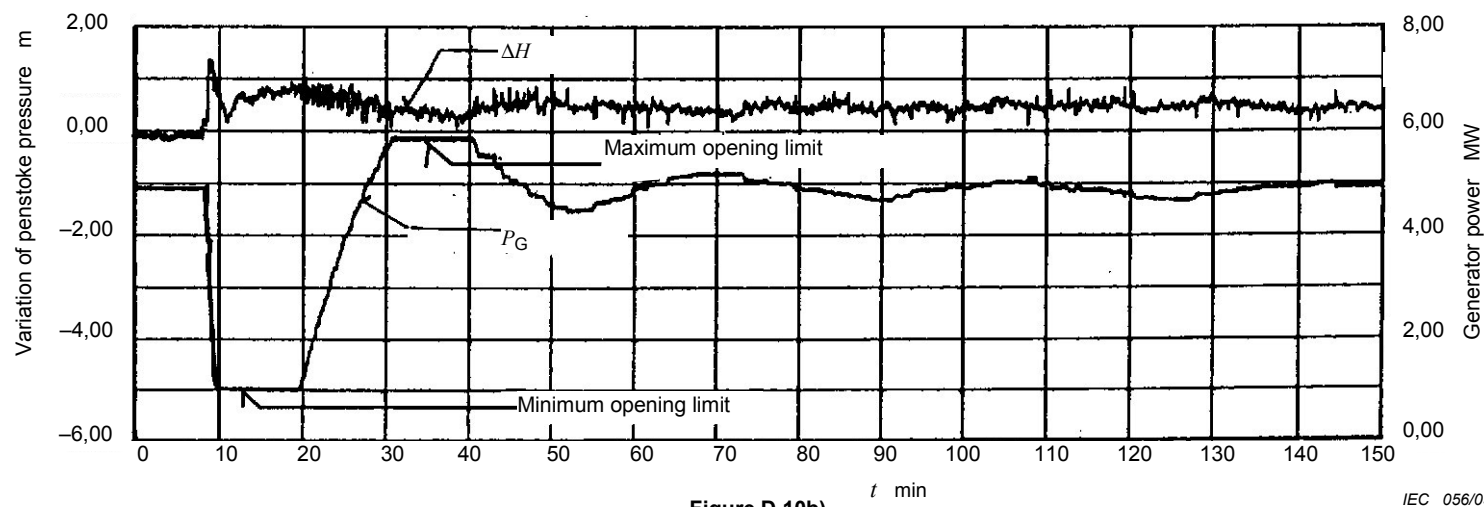


Figure D.10b)

IEC 056/05

Figure D.10 – Measurement of a unit step response with head race level control

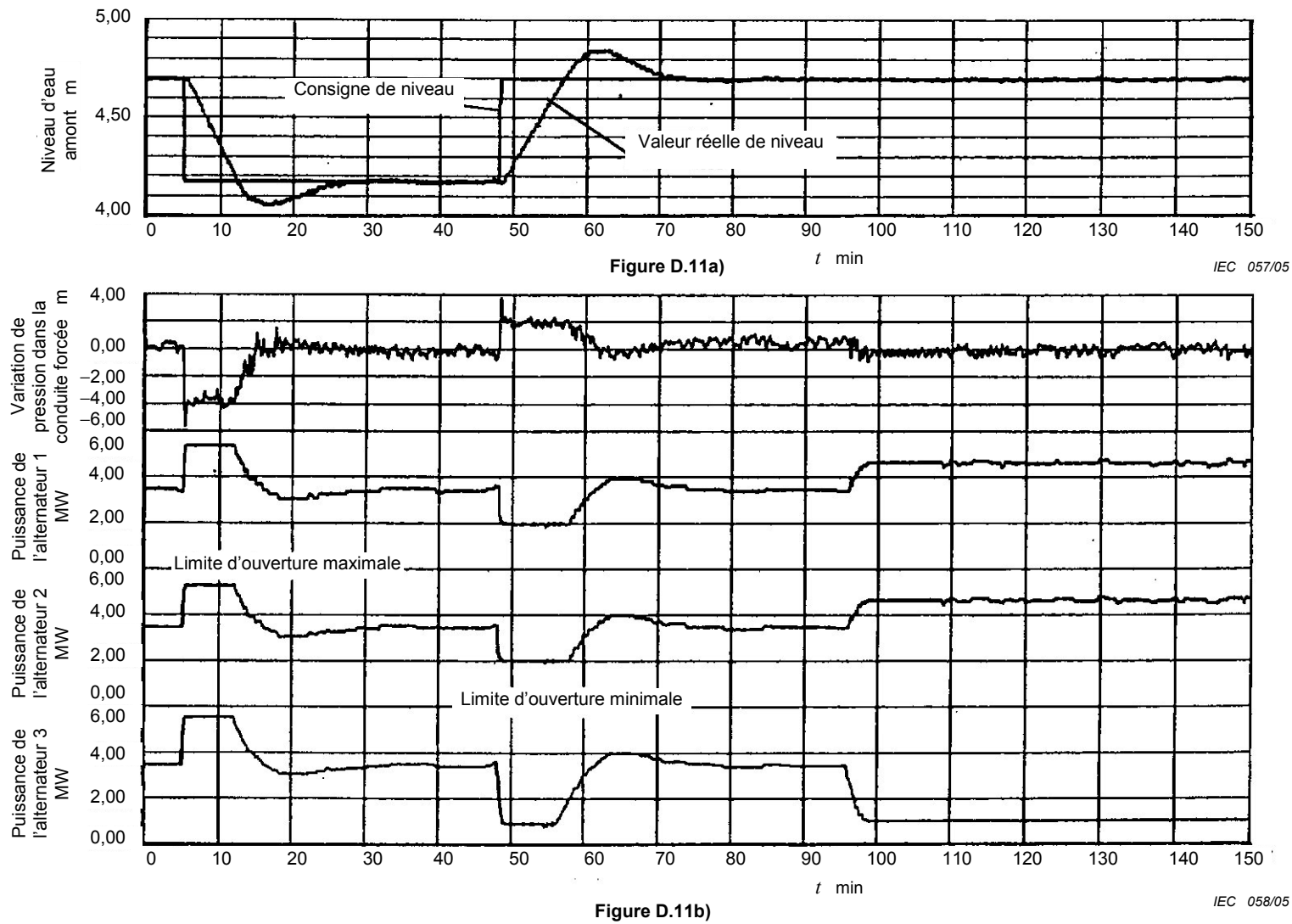


Figure D.11 – Mesure des réponses à échelon de groupes en régulation de niveau d'eau amont, en fonctionnement à plusieurs groupes

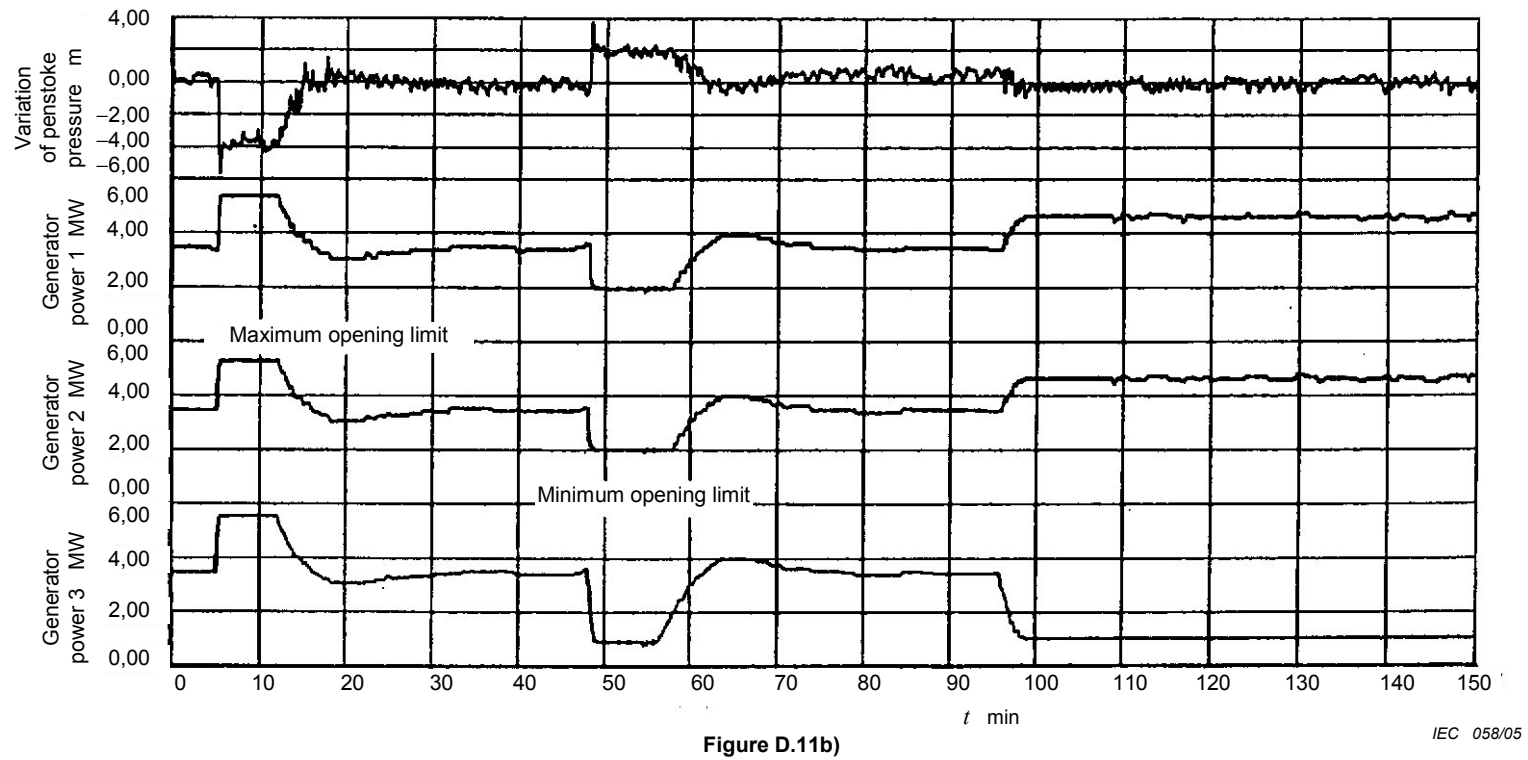
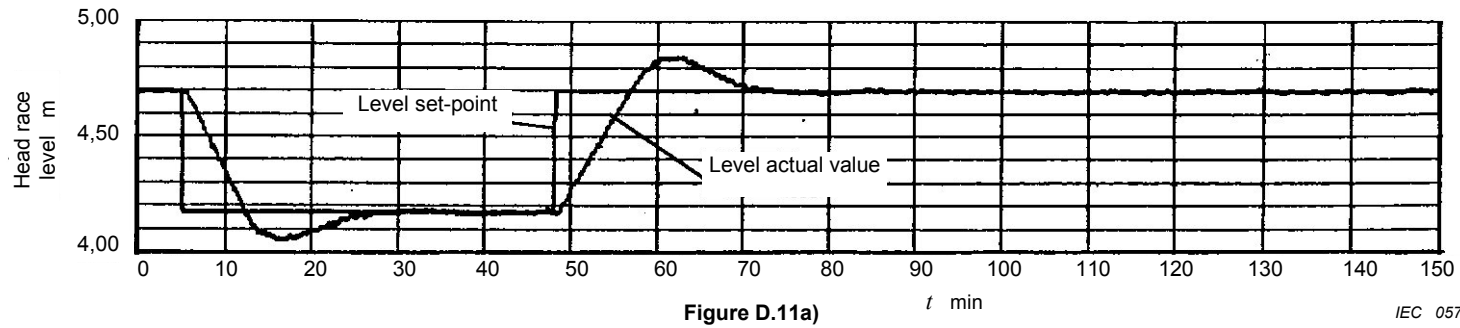


Figure D.11 – Measurement of the unit step responses with head race level control in multi-unit operations

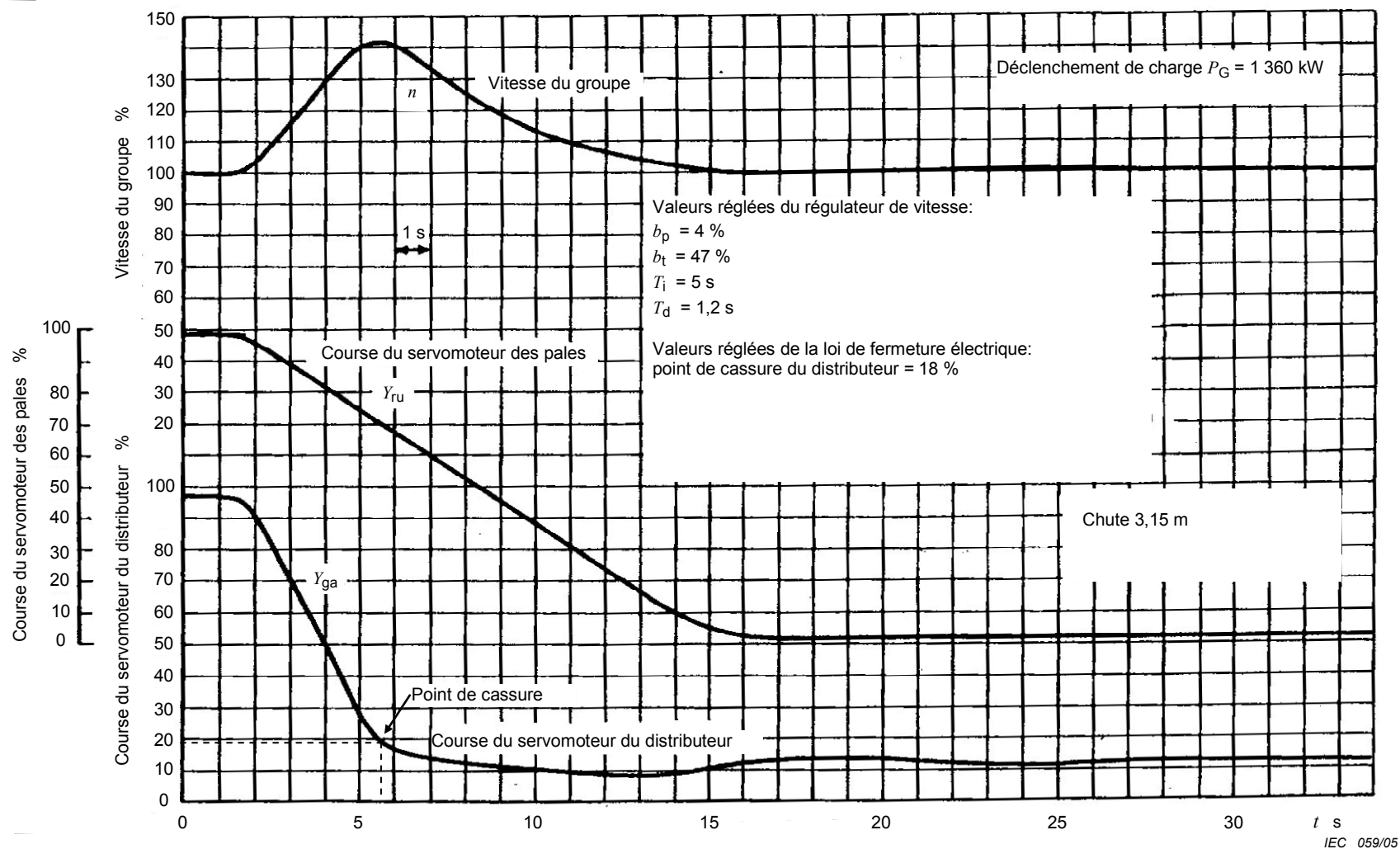


Figure D.12 – Mesure d'un délestage de charge avec passage en marche à vide

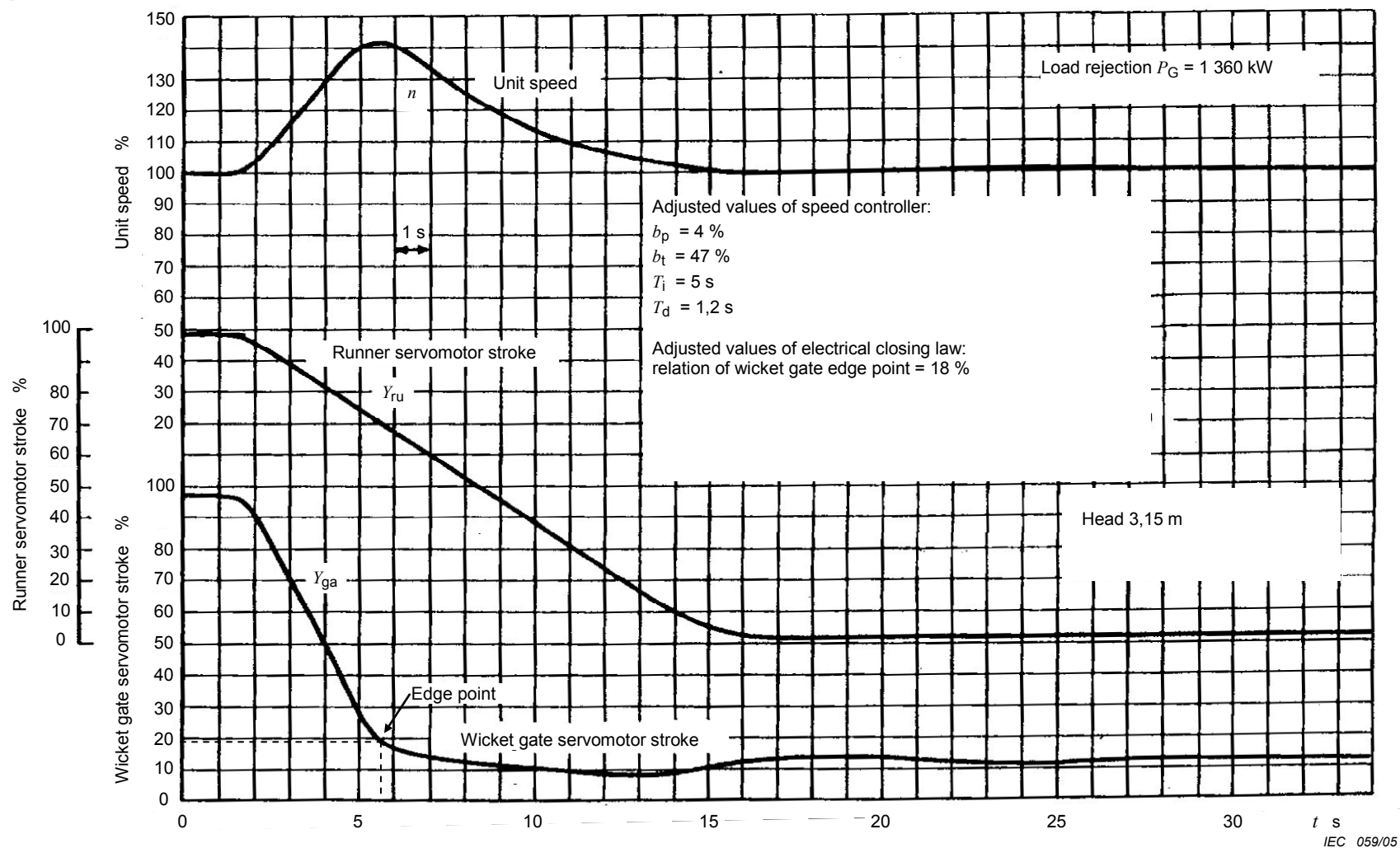


Figure D. 12 – Measurement of a load rejection with transition into no-load operation

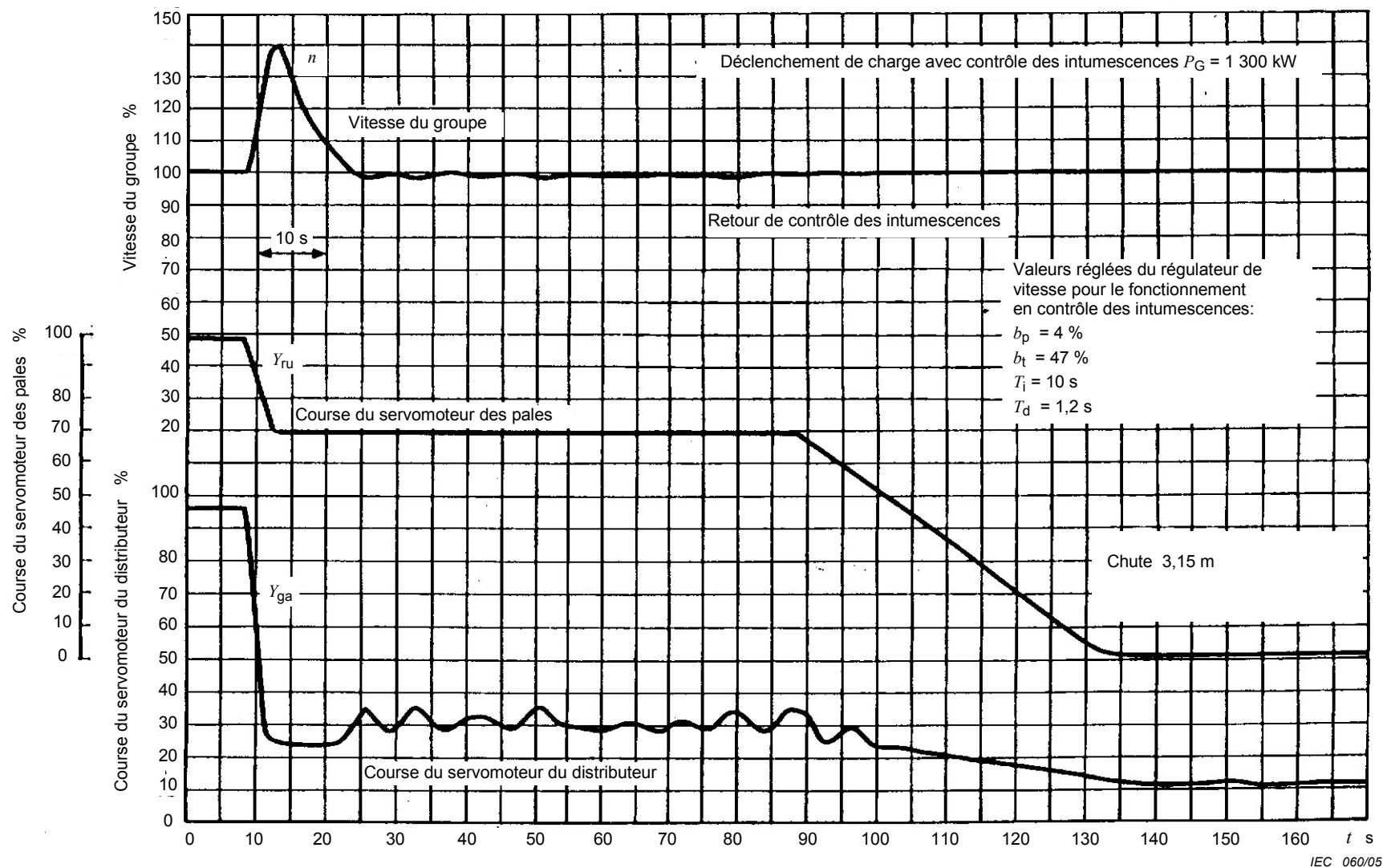


Figure D.13 – Mesure d'un délestage de charge avec passage en déchargeur puis retour en marche à vide

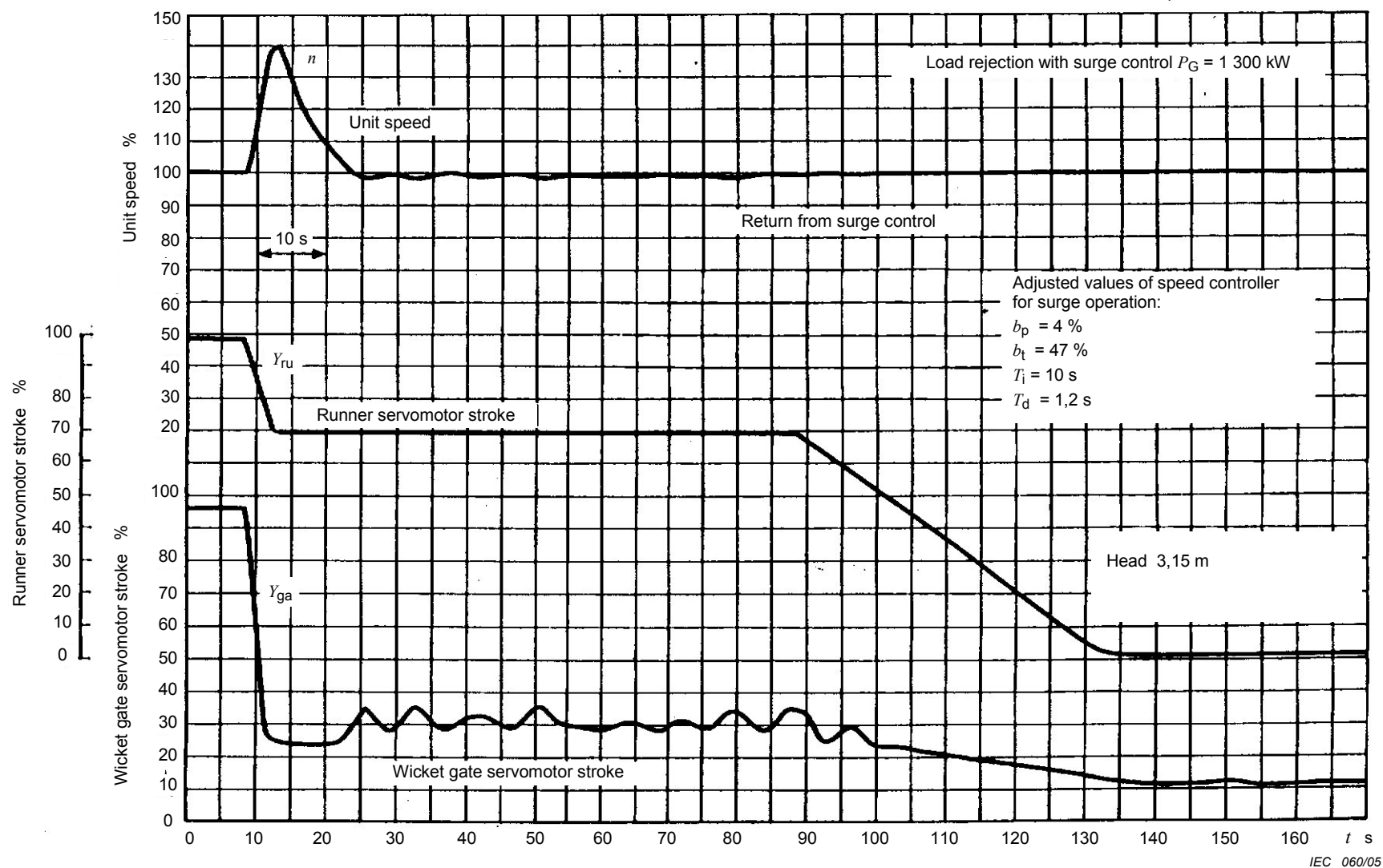


Figure D.13 – Measurement of a load rejection with limit control of surge and suction waves and with transition into no-load operation

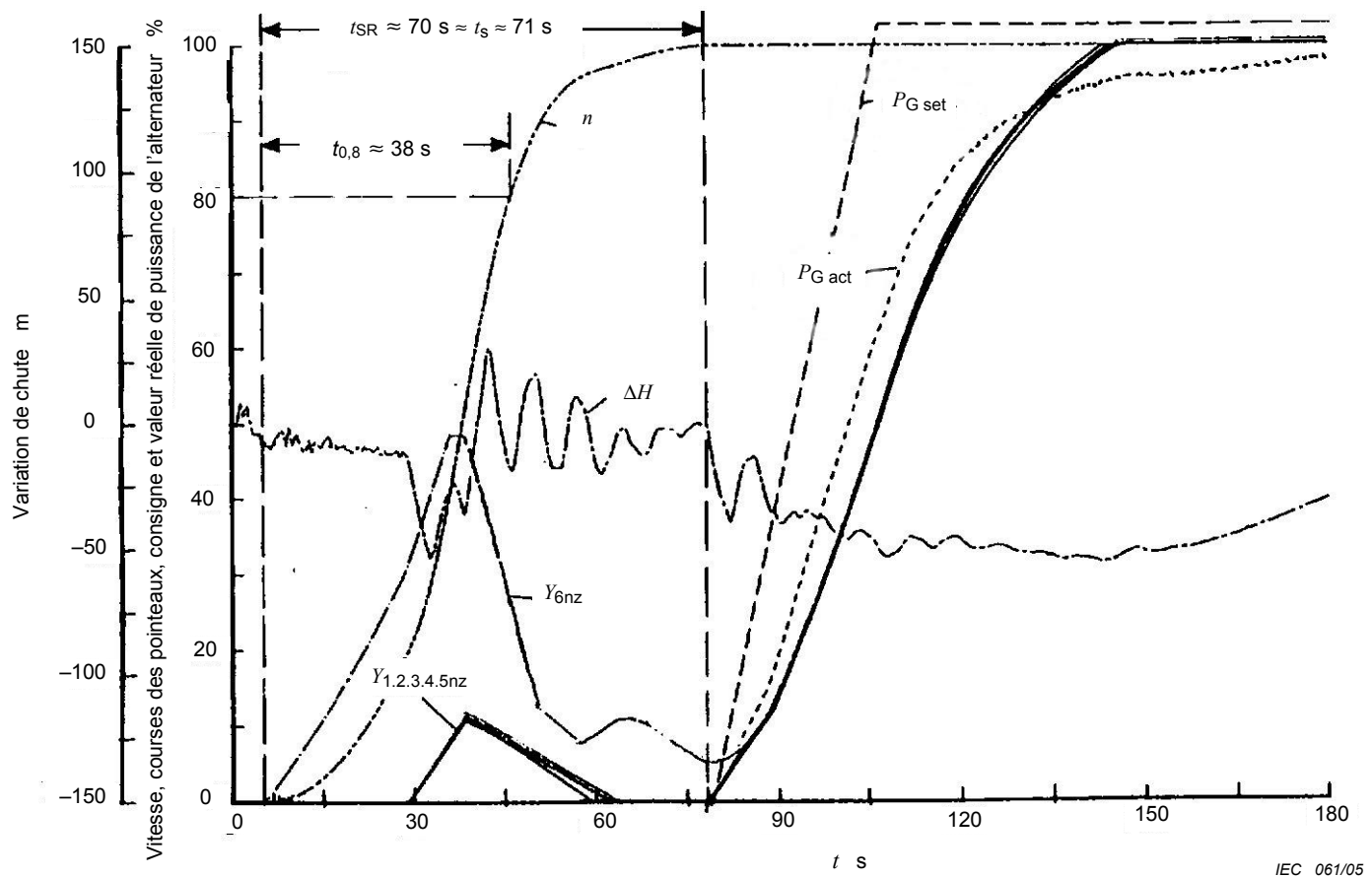
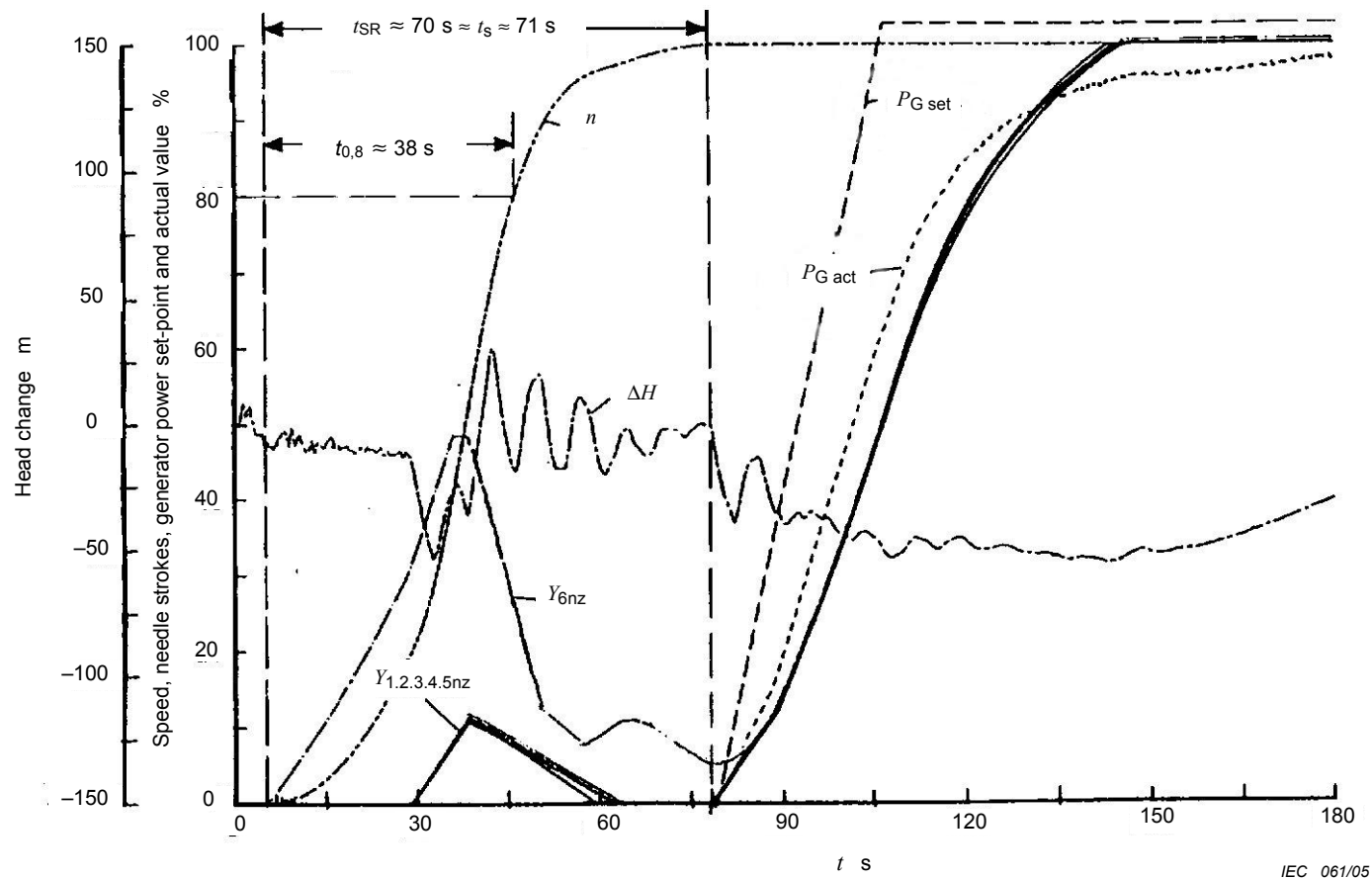


Figure D.14 – Mesure d'un démarrage et d'une prise de charge



IEC 061/05

Figure D.14 – Measurement of a start-up process under load

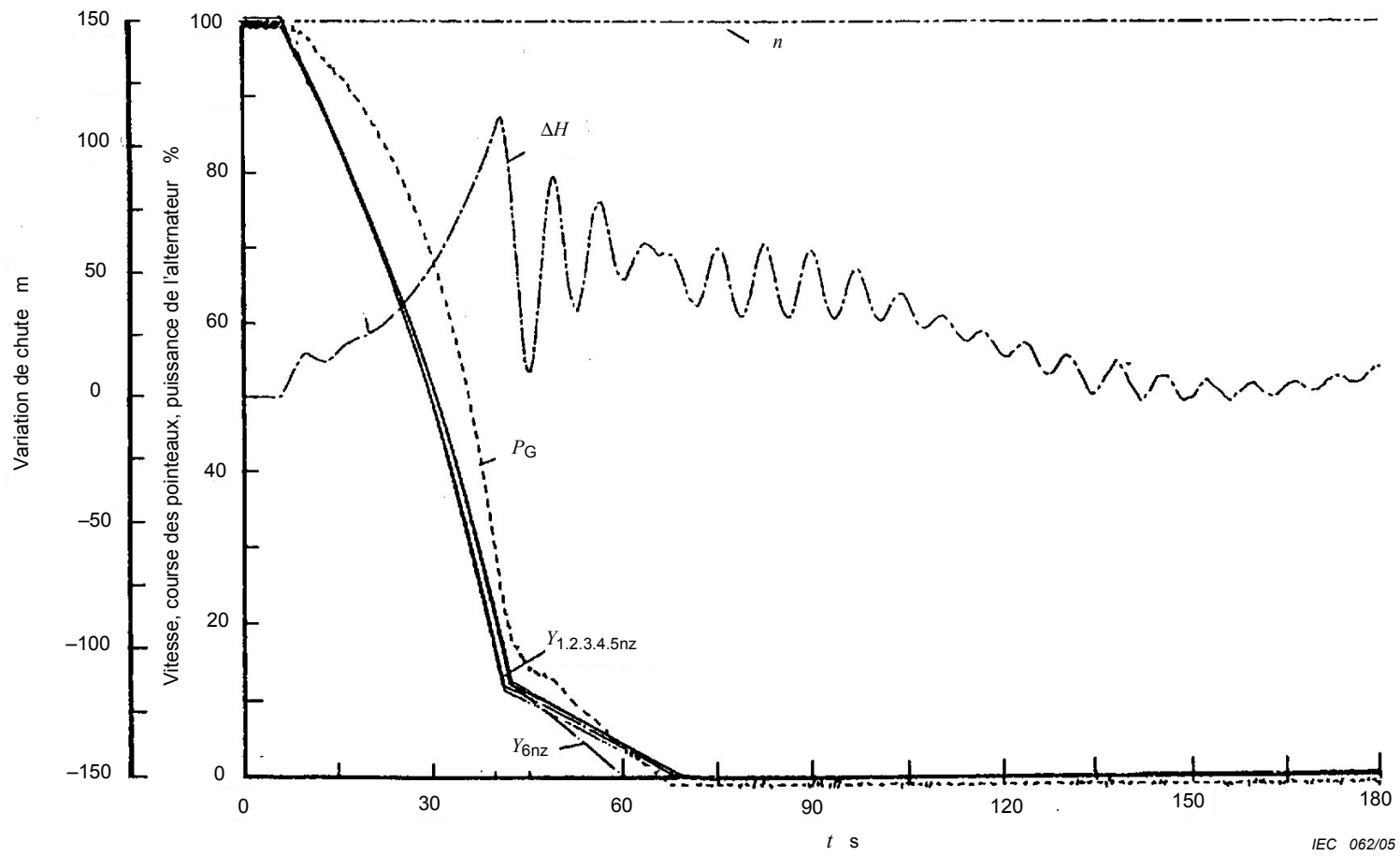


Figure D.15 – Mesure du passage de la turbine à pleine charge à un fonctionnement en compensateur synchrone

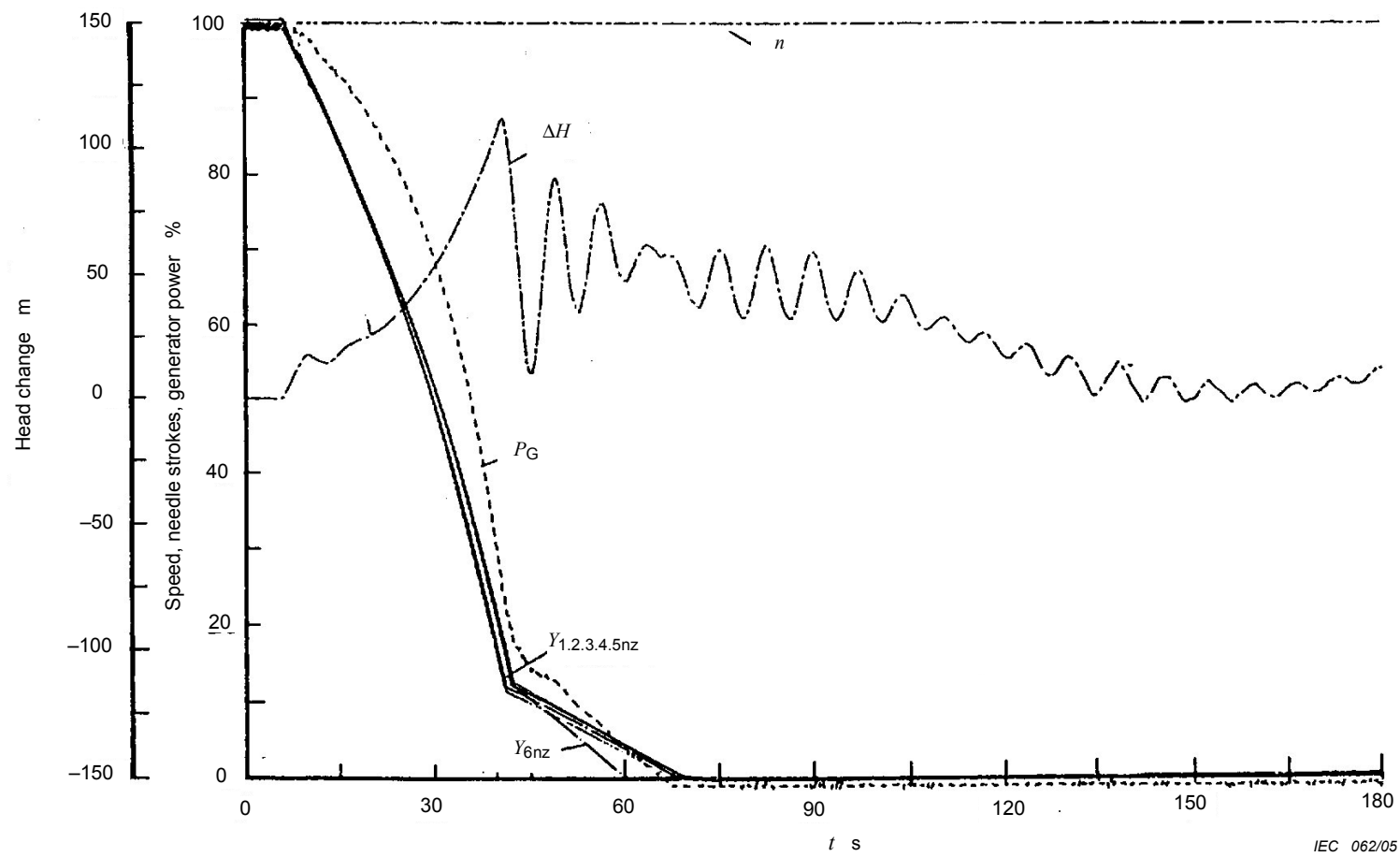


Figure D.15 – Measurement of changeover from full turbine load to synchronous condenser operation

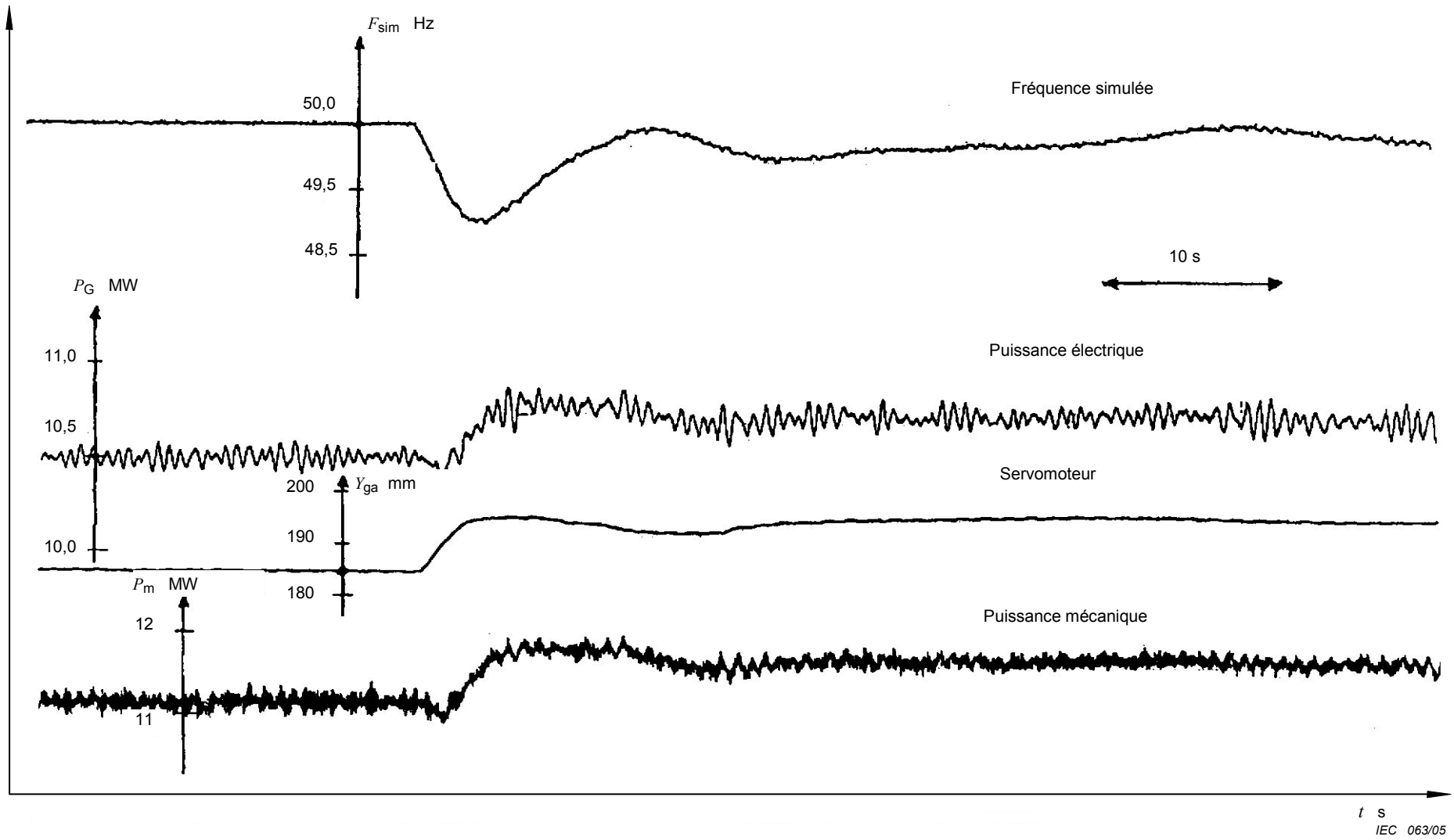


Figure D.16 – Mesure de la réponse à un échelon de puissance en réseau isolé simulé en ligne

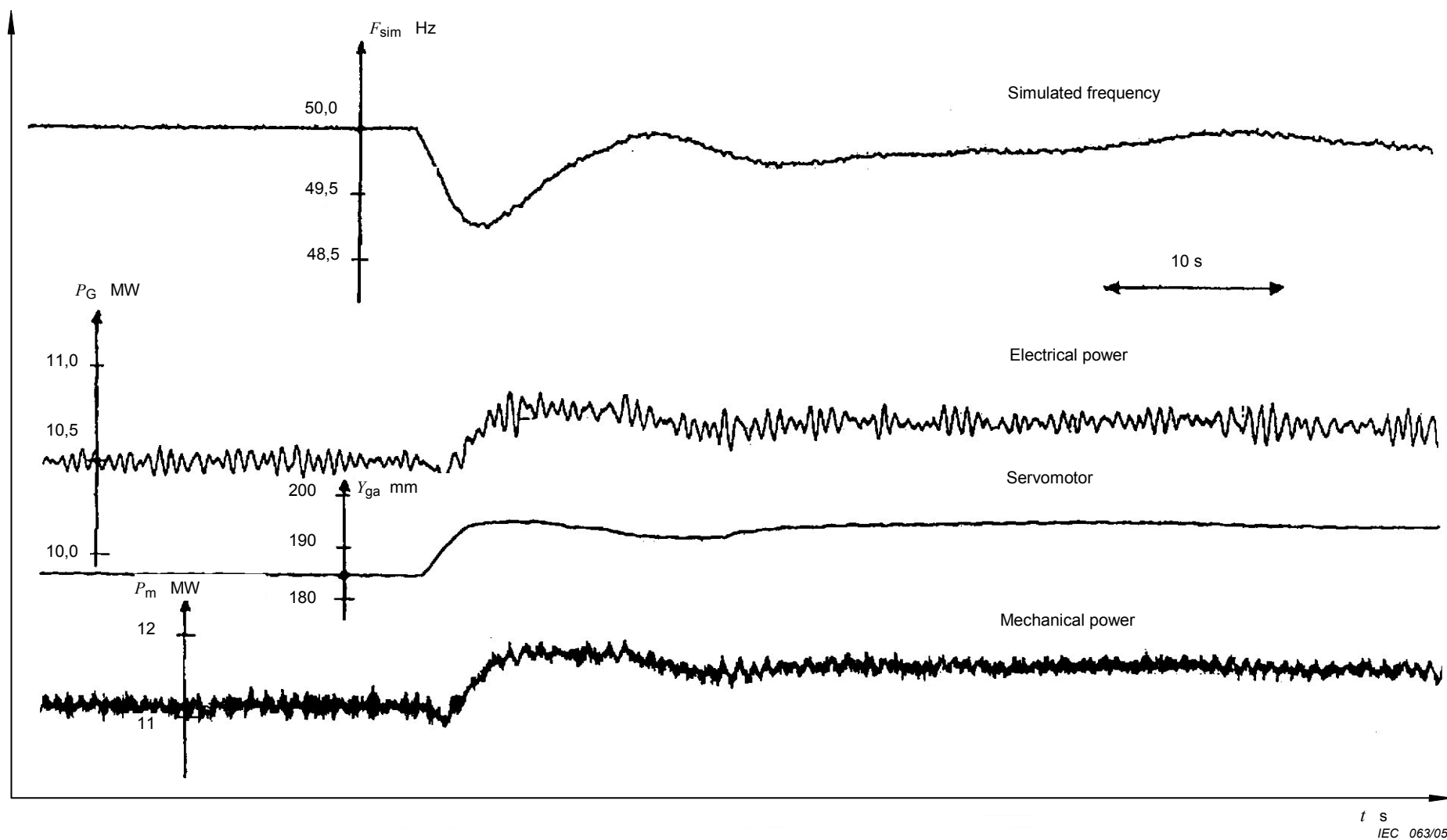


Figure D.16 – Measurement of a power step response in on-line simulated isolation test



Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembe

1211 Genève 20

Switzerland

or

Fax to: **IEC/CSC** at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembe

1211 GENEVA 20

Switzerland



Q1 Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: (e.g. 60601-1-1)

.....

Q2 Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard (tick all that apply). I am the/a:

- purchasing agent ☐
 librarian ☐
 researcher ☐
 design engineer ☐
 safety engineer ☐
 testing engineer ☐
 marketing specialist ☐
 other.....

Q3 I work for/in/as a:
(tick all that apply)

- manufacturing ☐
 consultant ☐
 government ☐
 test/certification facility ☐
 public utility ☐
 education ☐
 military ☐
 other.....

Q4 This standard will be used for:
(tick all that apply)

- general reference ☐
 product research ☐
 product design/development ☐
 specifications ☐
 tenders ☐
 quality assessment ☐
 certification ☐
 technical documentation ☐
 thesis ☐
 manufacturing ☐
 other.....

Q5 This standard meets my needs:
(tick one)

- not at all ☐
 nearly ☐
 fairly well ☐
 exactly ☐

Q6 If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: (tick all that apply)

- standard is out of date ☐
 standard is incomplete ☐
 standard is too academic ☐
 standard is too superficial ☐
 title is misleading ☐
 I made the wrong choice ☐
 other

Q7 Please assess the standard in the following categories, using the numbers:

- (1) unacceptable,
 (2) below average,
 (3) average,
 (4) above average,
 (5) exceptional,
 (6) not applicable

- timeliness.....
 quality of writing.....
 technical contents.....
 logic of arrangement of contents
 tables, charts, graphs, figures.....
 other

Q8 I read/use the: (tick one)

- French text only ☐
 English text only ☐
 both English and French texts ☐

Q9 Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....





Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

1211 Genève 20

Suisse

ou

Télécopie: **CEI/CSC** +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

1211 GENÈVE 20

Suisse

Q1 Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact:
 (ex. 60601-1-1)

Q2 En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction?
 (cochez tout ce qui convient)
 Je suis le/un:

- agent d'un service d'achat ☐
- bibliothécaire ☐
- chercheur ☐
- ingénieur concepteur ☐
- ingénieur sécurité ☐
- ingénieur d'essais ☐
- spécialiste en marketing ☐
- autre(s).....

Q3 Je travaille:
 (cochez tout ce qui convient)

- dans l'industrie ☐
- comme consultant ☐
- pour un gouvernement ☐
- pour un organisme d'essais/ certification ☐
- dans un service public ☐
- dans l'enseignement ☐
- comme militaire ☐
- autre(s).....

Q4 Cette norme sera utilisée pour/comme
 (cochez tout ce qui convient)

- ouvrage de référence ☐
- une recherche de produit ☐
- une étude/développement de produit ☐
- des spécifications ☐
- des soumissions ☐
- une évaluation de la qualité ☐
- une certification ☐
- une documentation technique ☐
- une thèse ☐
- la fabrication ☐
- autre(s).....

Q5 Cette norme répond-elle à vos besoins:
 (une seule réponse)

- pas du tout ☐
- à peu près ☐
- assez bien ☐
- parfaitement ☐

Q6 Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:
 (cochez tout ce qui convient)

- la norme a besoin d'être révisée ☐
- la norme est incomplète ☐
- la norme est trop théorique ☐
- la norme est trop superficielle ☐
- le titre est équivoque ☐
- je n'ai pas fait le bon choix ☐
- autre(s)

Q7 Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres
 (1) inacceptable,
 (2) au-dessous de la moyenne,
 (3) moyen,
 (4) au-dessus de la moyenne,
 (5) exceptionnel,
 (6) sans objet

- publication en temps opportun
- qualité de la rédaction.....
- contenu technique
- disposition logique du contenu
- tableaux, diagrammes, graphiques, figures
- autre(s)

Q8 Je lis/utilise: (une seule réponse)

- uniquement le texte français ☐
- uniquement le texte anglais ☐
- les textes anglais et français ☐

Q9 Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....

.....

.....

.....

.....

.....



ISBN 2-8318-7824-1



ICS 27.140
