

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
61362**

Première édition
First edition
1998-03

**Guide pour la spécification des régulateurs
des turbines hydrauliques**

**Guide to specification of hydraulic turbine
control systems**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61362:1998

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
61362**

Première édition
First edition
1998-03

**Guide pour la spécification des régulateurs
des turbines hydrauliques**

**Guide to specification of hydraulic turbine
control systems**

© IEC 1998 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

XA

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1 Généralités	10
1.1 Domaine d'application et objet.....	10
1.2 Références normatives	10
2 Terminologie, définitions, symboles et unités	12
2.1 Définitions générales.....	12
2.2 Liste des termes, définitions, symboles et unités	12
2.3 Termes relatifs à la centrale et aux machines	14
2.4 Termes relatifs au régulateur.....	16
3 Structure du régulateur.....	28
3.1 Principales fonctions de réglage.....	28
3.2 Configurations des systèmes de régulation combinés	30
3.3 Configurations des servo-positionneurs	36
3.4 Commande multiple	36
4 Performances et composants du système de réglage.....	38
4.1 Modélisation et simulation numérique	38
4.2 Paramètres caractéristiques des régulateurs PID	44
4.3 Autres paramètres du régulateur	46
4.4 Relation fonctionnelle entre servo-positionneurs	50
4.5 Mesure de signaux.....	52
4.6 Commandes manuelles.....	56
4.7 Linéarisation	56
4.8 Systèmes de poursuite	56
4.9 Commande d'optimisation.....	58
4.10 Surveillance de la synchronisation de positionnement des servomoteurs	58
en commande multiple	58
4.11 Fourniture de l'énergie de manoeuvre	58
4.12 Alimentation électrique des régulateurs électroniques.....	68
4.13 Transitions de fonctionnement.....	68
4.14 Dispositifs/circuits de sécurité	72
4.15 Equipement supplémentaire	74
4.16 Adaptation à l'environnement des composants des régulateurs	78
4.17 Compatibilité électromagnétique.....	78
5 Comment appliquer les recommandations	80
Formulaires de données 6.1a à 6.6d.....	82 à 102
Annexe A (normative) Définitions.....	104

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 General.....	11
1.1 Scope and object	11
1.2 Normative references	11
2 Terms, definitions, symbols and units	13
2.1 General definitions	13
2.2 List of terms, definitions, symbols and units	13
2.3 Terms relating to the plant and the machines	15
2.4 Terms relating to the control system	17
3 Control system structure.....	29
3.1 Main control functions	29
3.2 Configurations of combined control systems	31
3.3 Configurations of servo-positioners	37
3.4 Multiple control.....	37
4 Performance and components of the control systems	39
4.1 Modeling and digital simulation.....	39
4.2 Characteristic parameters for PID-controllers	45
4.3 Other parameters of the control systems	47
4.4 Functional relationship between servo-positioners	51
4.5 Actual signal measurement	53
4.6 Manual control.....	57
4.7 Linearization	57
4.8 Follow-up controls	57
4.9 Optimization control	59
4.10 Monitoring parallel positioning of amplifiers	59
4.11 Provision of actuating energy	59
4.12 Power supply for electronic control systems.....	69
4.13 Operational transitions	69
4.14 Safety devices/circuits.....	73
4.15 Supplementary equipment.....	75
4.16 Environmental suitability of governor components.....	79
4.17 Electromagnetic compatibility	79
5 How to apply the recommendations	81
Data sheets 6.1a to 6.6d	83 to 103
Annex A – Definitions	105

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

GUIDE POUR LA SPÉCIFICATION DES RÉGULATEURS DES TURBINES HYDRAULIQUES

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale 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 61362 a été établie par le comité d'études 4 de la CEI: Turbines hydrauliques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
4/119/FDIS	4/142/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.

L'annexe A fait partie intégrante de cette norme.

Le contenu du corrigendum de mars 2000 a été pris en considération dans cet exemplaire.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

GUIDE TO SPECIFICATION OF HYDRAULIC TURBINE CONTROL SYSTEMS

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61362 has been prepared by IEC technical committee 4: Hydraulic turbines.

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

FDIS	Report on voting
4/119/FDIS	4/142/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.

Annex A forms an integral part of this standard.

The contents of the corrigendum of March 2000 have been included in this copy.

INTRODUCTION

De récents développements ont conduit à formuler des exigences plus sévères à l'égard des systèmes de réglage en ce qui concerne la régulation de la puissance-fréquence et le fonctionnement en réseau isolé. Ces exigences concernent essentiellement le réglage primaire qui, en raison de l'emploi de composants modernes, pour la plupart électroniques, peut être effectué avec d'autres fonctions de réglage additionnelles. Le contrôle primaire est aussi subordonné au système de régulation d'un grand réseau (régulation secondaire).

Ce guide traite essentiellement des spécifications du réglage primaire; il traite aussi des fonctions additionnelles, mais sans développement sur les détails particuliers.

Précisément, le réglage primaire peut inclure quelques unes ou l'ensemble des fonctions suivantes:

- démarrage et arrêt du groupe;
- marche à vide avant la synchronisation et après la séparation du réseau et synchronisation;
- fonctionnement en réseau isolé;
- fonctionnement en parallèle sur de grands réseaux en mode régulation de vitesse et en mode régulation de puissance;
- régulation du niveau amont et/ou régulation de débit;
- transitions entre modes de fonctionnement;
- surveillance et fonctions de sécurité.

Le guide traite également certains aspects de la production de l'énergie de manoeuvre.

La boucle de régulation du régulateur d'une turbine hydraulique, c'est-à-dire la fonction de transfert correspondante est caractérisée par:

- le ou les groupes, c'est-à-dire la ou les turbines et le ou les alternateurs;
- les ouvrages hydrauliques;
- le réseau auquel le ou les groupes sont connectés;
- les modes de fonctionnement mentionnés ci-dessus.

Les paramètres du régulateur primaire (régulateur de vitesse, régulateur de puissance, etc.) seront soigneusement adaptés aux conditions de l'installation de façon à:

- obtenir la stabilité adéquate;
- satisfaire aux exigences de performance en ce qui concerne l'amortissement, la réponse, ainsi que la précision;
- assurer la sécurité en ce qui concerne la limitation des transitoires hydrauliques, etc.

Pour atteindre ces objectifs, la modélisation et la simulation sont dans de nombreux cas une aide précieuse. Le guide mentionne certains aspects importants à ce sujet.

Les régulateurs devant faire face à un éventail de conditions, il convient de spécifier qu'une certaine plage d'ajustage des paramètres est disponible dans les régulateurs. Le guide suit cette pratique dans la partie concernée.

INTRODUCTION

Recent developments have led to more stringent control system requirements with respect to power frequency regulation and to isolated network operation. These requirements essentially concern the primary control, which due to the use of modern, mostly electronic components, can be tasked with some additional control functions. Also the primary control responds to a superimposed large network control system (secondary control).

This guide mainly deals with primary control specifications; additional tasks are covered but the guide does not elaborate on specific details.

Specifically the primary control can include some or all of the following functions:

- unit start-up and shut-down;
- idling before synchronizing and after separation from the network and synchronizing;
- isolated network operation;
- parallel operation on large networks in speed control and power output control mode;
- head water level and/or flow control;
- operating mode transitions;
- monitoring and safety functions.

The guide also deals with aspects of the actuating energy supply.

The controlled system in a hydroturbine control loop, i.e., the respective transfer function, is characterized by:

- the unit(s), i.e. turbine(s) and generator(s);
- the water passage system;
- the network to which the unit(s) is (are) connected;
- the modes of operation as mentioned above.

The parameters of the primary control system (speed governor, power output governor, etc.) are to be carefully matched to the prevailing system conditions in order to:

- achieve adequate stability;
- satisfy performance requirements with respect to damping, response and accuracy;
- provide safety with respect to limitations in hydraulic transients, etc.

To achieve the above, in many cases modeling and simulations are valuable. The guide refers to some important aspects in this respect.

Since the governors have to be able to cope with a range of conditions, it is suitable practice to specify that a certain range for the setting of parameters is available in the governors. The guide follows this practice in the relevant part.

Précisément, dans ce guide les définitions concernant la performance se réfèrent à un régulateur PID, lequel peut être analogique ou digital. Avec la technologie appropriée de la micro-informatique, des algorithmes de réglage de haut niveau peuvent être également réalisés. Bien qu'il soit difficile, au moment de la parution de ce guide, de fixer les règles précises, les critères généraux pour vérifier la performance suffisante d'un régulateur sont essentiellement indépendants de la stratégie de réglage adoptée. Cela signifie qu'ils restent applicables tels que décrits dans ce guide et que le régulateur PID peut être considéré et utilisé comme un régulateur de référence pour estimer la performance de réglage d'un système.

Le guide fait référence à la CEI 60308 sur les régulateurs de turbines hydrauliques. Il s'en remet à celle-ci pour ce qui concerne les méthodes d'identification du système, la vérification de la performance, etc. Le but de ce guide est de compléter la CEI 60308 en recommandant des critères de performance et des plages pour l'ajustage des paramètres.

Pour faciliter la rédaction des spécifications, le guide inclut des formulaires de données à remplir par le client et par le vendeur aux différentes étapes du projet et du contrat.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61362-1998

Specifically, in this guide, the performance-relevant definitions refer to the PID-controller, which can be implemented by analog or digital means. With appropriate microcomputer technology, higher control algorithms also can be implemented. Although it is deemed difficult to set up specific rules at the time of the issue of this guide, the general criteria for the adequate performance of a control system are essentially independent of the control strategy used. This means that they remain applicable as described in this guide and that the PID-controller can be regarded and used as a reference governor to gauge the control performance of a system.

The guide makes reference to IEC 60308 on hydraulic turbine control systems. It relies on it for the methods of system identification and verification of performance, etc. It is the intention of this guide to supplement IEC 60308 by recommending performance criteria and ranges for the setting of parameters.

To facilitate the setting up of specifications, this guide also includes data sheets, which are to be filled out by the customer and the vendor in the various stages of the project and the contract.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61362:1998

GUIDE POUR LA SPÉCIFICATION DES RÉGULATEURS DES TURBINES HYDRAULIQUES

1 Généralités

1.1 Domaine d'application et objet

Ce guide contient les données techniques nécessaires pour décrire les systèmes de réglage des turbines hydrauliques et définir leurs performances. Il a pour but d'unifier et ainsi de faciliter les spécifications des appels d'offres et les offres techniques. Il servira également de base pour fixer les garanties techniques.

Dans le cas où différentes parties de l'installation sont fournies par des vendeurs séparés, l'interface entre eux est particulièrement importante.

Le guide n'est pas limité aux fonctions de réglage proprement dites, mais inclut toutes les fonctions importantes d'un système de réglage, c'est-à-dire traite également des fonctions de séquençage, etc. On considère ainsi que le réglage des turbines hydrauliques comprend:

- les régulations de vitesse, puissance, niveau d'eau et débit des turbines à réaction et des turbines à action, y compris les machines à double régulation;
- les moyens de production de l'énergie de manoeuvre;
- les dispositifs de sécurité pour l'arrêt d'urgence, etc.;
- les critères de performance liés à l'environnement.

Le guide aide au choix de certains paramètres importants devant être spécifiés et vérifiés en rapport avec les différents types d'installation.

Les essais de réception, les procédures d'essais spécifiques et les garanties ne sont pas traités.

1.2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60068-2-6:1995, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

CEI 60308:1970, *Code international d'essai des régulateurs de vitesse pour turbines hydrauliques*

CEI 61000-3-2:1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3: Limites – Section 2: Limites pour les émissions de courant harmonique (courant appelé par les appareils ≤ 16 A par phase)*

CEI 61000-3-3:1994, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3: Limites – Section 3: Limitation des fluctuations de tension et du flicker dans les réseaux basse tension pour les équipements ayant un courant appelé ≤ 16 A*

GUIDE TO SPECIFICATION OF HYDRAULIC TURBINE CONTROL SYSTEMS

1 General

1.1 Scope and object

This guide includes relevant technical data necessary to describe hydraulic turbine control systems and define their performance. It is aimed at unifying and thus facilitating the bidding specifications and technical bids. It will also serve as a basis for setting up technical guarantees.

In case of separate vendors for different segments of a system, the interface between them is especially important.

The guide is not confined to the control loop functions proper but includes all important functions of a control system, i.e., it also treats sequencing functions, etc. Hydraulic turbine control is thus understood to include:

- speed, power, water level and discharge control for reaction and impulse-type turbines including double regulated machines;
- means of providing actuating energy;
- safety devices for emergency shut-down, etc;
- environmental performance criteria.

The guide aids the selection of some important parameters to be specified and checked in relation to the different types of installations.

Excluded topics are acceptance tests, specific test procedures and guarantees.

1.2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreement based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60068-2-6:1995, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60308:1970, *International code for testing of speed governing systems for hydraulic turbines*

IEC 61000-3-2:1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 2: Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)*

IEC 61000-3-3:1994, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 3: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current ≤ 16 A*

CEI 61000-4-1:1992, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 1: Vue d'ensemble sur les essais d'immunité*

CISPR 11:1990, *Limites et méthodes de mesure des caractéristiques de perturbations électromagnétiques des appareils industriels, scientifiques et médicaux (ISM) à fréquence radioélectrique*

ISO 3448:1992, *Lubrifiants liquides industriels – Classification ISO selon la viscosité*

2 Terminologie, définitions, symboles et unités

2.1 Définitions générales

Ce guide emploie autant que possible la terminologie et les définitions de la CEI 60308. L'équation différentielle simplifiée du régulateur PID idéalisé utilisée dans ce guide et l'équation différentielle d'un régulateur PI idéalisé utilisée dans la CEI 60308 sont données à titre de comparaison à l'annexe A.

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes ainsi que les définitions données dans la CEI 60308 s'appliquent.

2.1.1

équation différentielle

description du comportement dynamique du système dans le temps, comme à l'annexe A.

2.1.2

réponse transitoire

réponse du système (sortie) à une variation en échelon de l'entrée.

2.1.3

réponse fréquentielle

réponse dynamique du système linéarisé à une variation sinusoïdale du signal d'entrée obtenue par la résolution de l'équation différentielle en appliquant la transformée de Fourier.

2.1.4

fonction de transfert

réponse dynamique du système linéarisé à une variation arbitraire du signal d'entrée. Elle s'obtient en appliquant la transformée de Laplace à l'équation différentielle.

2.2 Liste des termes, définitions, symboles et unités

Para- graphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.2.1	Nominal/assigné	Indice indiquant le point de fonctionnement nominal/assigné de l'installation	r	–
2.2.2	Maximum Minimum	Indice indiquant la valeur maximale ou minimale de toute grandeur	max. min.	–
2.2.3	Ecart	Ecart de toute grandeur par rapport à sa valeur en régime établi	Δ	
2.2.4	Aube directrice/ vannage	Indice associant une grandeur aux aubes directrices/au vannage	ga	–
2.2.5	Pales de roue	Indice associant une grandeur aux pales de roue	ru	–
2.2.6	Injecteur	Indice associant une grandeur à un injecteur	nz	–
2.2.7	Défecteur	Indice associant une grandeur à un déflecteur	de	–

IEC 61000-4-1:1992, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 1: Overview of immunity tests*

CISPR 11:1990, *Limits and methods of measurement of electromagnetic disturbance characteristics of industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment*

ISO 3448:1992, *Industrial liquid lubricants – ISO viscosity classification*

2 Terms, definitions, symbols and units

2.1 General definitions

This guide uses as far as possible the terms and definitions of IEC 60308. For clarification, the simplified differential equation of the idealized PID-governor as used in this guide in comparison with that of an idealized PI-governor used in IEC 60308 is given in annex A.

For the purpose of this International Standard the following definitions, as well as the definitions given in IEC 60308, apply.

2.1.1

differential equation

equation describing the dynamic system behavior in the time domain, as shown in annex A.

2.1.2

transient response

system response (output) to a step change of the input.

2.1.3

frequency response

dynamic response of the linearized system to a sinusoidal change of the input signal derived from the differential equation by applying the Fourier transformation.

2.1.4

transfer function

dynamic response of the linearized system to an arbitrary variation of the input signal derived from the differential equation by applying the Laplace transformation.

2.2 List of terms, definitions, symbols and units

Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.2.1	Rated	Subscript indicating the rated operation point of the system.	r	–
2.2.2	Maximum Minimum	Subscript indicating maximum or minimum values of any term.	max. min.	–
2.2.3	Deviation	Deviation of any term from a steady-state value	Δ	–
2.2.4	Guide vanes	Subscript associating a quantity to wicket gate	ga	–
2.2.5	Runner	Subscript associating a quantity to runner	ru	–
2.2.6	Nozzle	Subscript associating a quantity to nozzle	nz	–
2.2.7	Deflector	Subscript associating a quantity to deflector	de	–

2.3 Termes relatifs à la centrale et aux machines

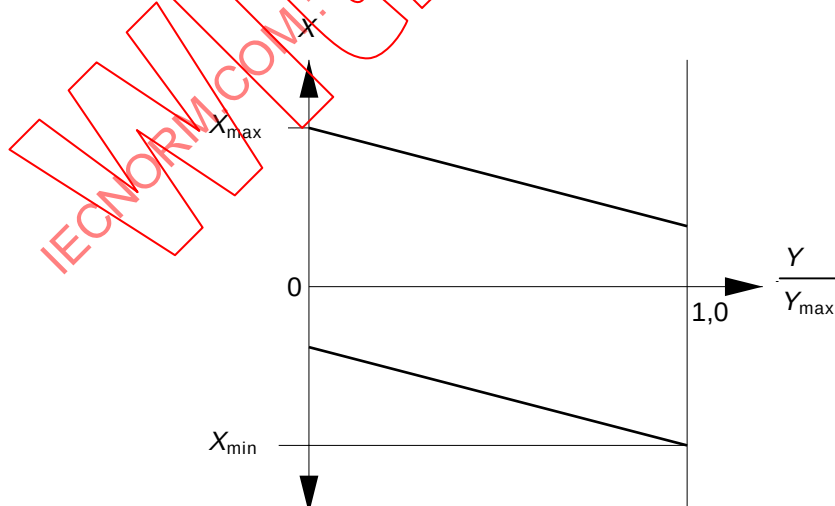
Para- graphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.3.1	Energie hydraulique massique de la machine	Energie massique de l'eau disponible entre les sections de référence de haute et basse pression de la machine	E	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
2.3.2	Hauteur de chute nette de la turbine	$H = E/g$ définition de E , voir 2.3.1 g = accélération due à la pesanteur = $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (au niveau de la mer)	H	m
2.3.3	Débit	Volume d'eau par unité de temps s'écoulant à travers une section de l'installation	Q	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.3.4	Vitesse de rotation	Nombre de tours par unité de temps	n	$\text{t} \cdot \text{min}^{-1}$
2.3.5	Fréquence	Nombre de cycles par seconde	f	Hz
2.3.6	Puissance	Puissance mesurée à la sortie de l'alternateur	P_e	W
2.3.7	Moment d'inertie de masse	Moment d'inertie pour le calcul de l'effet de volant d'inertie $I = M \cdot D^2/4 = MR^2$ (M = masse, D = diamètre de giration, R = rayon de giration)	I	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$

2.3 Terms relating to the plant and the machines

Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.3.1	Specific energy of machine	Specific energy of hydraulic water available between the high- and low-pressure side sections of the machine	E	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
2.3.2	Turbine head	$H = E/g$ definition of E , see 2.3.1 g = acceleration due to gravity. = $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (at sea level)	H	m
2.3.3	Discharge	Volume of water per unit time flowing through any section in the system	Q	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.3.4	Rotational speed	Number of revolutions per unit time	n	$\text{t} \cdot \text{min}^{-1}$
2.3.5	Frequency	Cycles per second	f	Hz
2.3.6	Generator output	Generator power measured at generator terminals	P_G	W
2.3.7	Moment of inertia of mass	Moment of inertia for calculation of fly-wheel effect. $I = M D^2/4 = MR^2$ (M = mass, D = diameter of gyration, R = radius of gyration)	I	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$

2.4 Termes relatifs au régulateur

Para- graphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.4.1	Grandeur réglée	Grandeur variable à régler, par exemple: vitesse n , puissance P_G , niveau d'eau h : – grandeur absolue, valeur dimensionnelle – écart relatif par rapport à une valeur en régime établi, $x = \Delta X/X_r$ Vitesse de rotation Puissance Niveau d'eau	X x X_n X_p X_h	var. – – – –
2.4.2	Signal de consigne	Signal pouvant être ajusté extérieurement: – signal absolu, valeur dimensionnelle – écart relatif par rapport à une valeur en régime établi, $c = \Delta C/C_r$ Vitesse de rotation Puissance Niveau d'eau	C c C_n C_p C_h	var. – – – –
2.4.3	Course du servomoteur	Course du servomoteur principal actionnant les aubes directrices/pales de la roue/injecteurs/défecteurs: – valeur absolue – écart relatif par rapport à une valeur en régime établi, $y = \Delta Y/Y$	Y y	m –
2.4.4	Etendue de réglage de la grandeur réglée	Etendue de réglage de la grandeur réglée, avec une valeur moyenne du statisme permanent: – valeur maximale de la variable réglée pour $Y/Y_{\max} = 0$ – valeur minimale de la variable réglée pour $Y/Y_{\min} = 1,0$ (voir figure 1)	$X_{\max}$ $X_{\min}$	– –

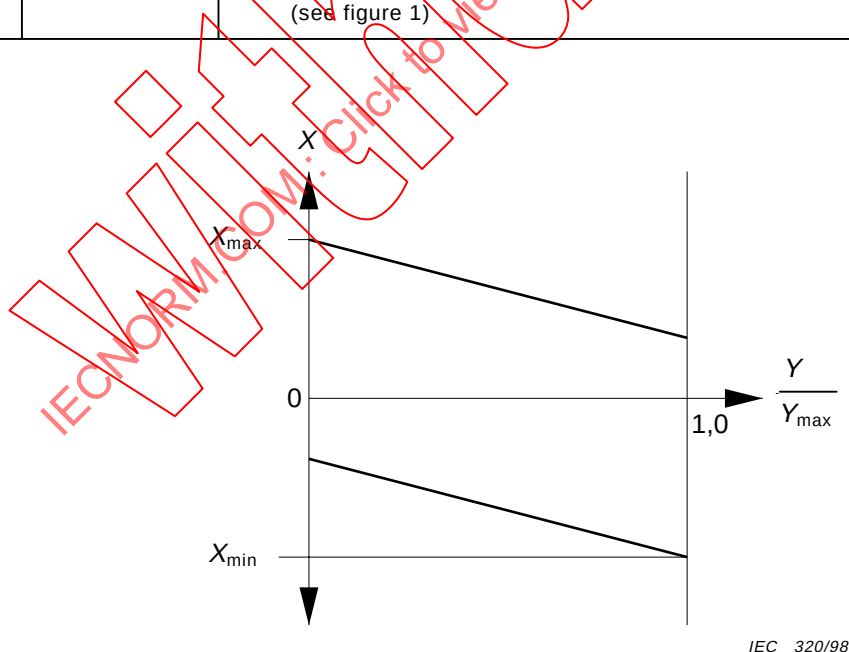


IEC 320/98

Figure 1 – Etendue de réglage de la grandeur réglée

2.4 Terms relating to the control system

Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.4.1	Controlled variable	Variable which has to be controlled as speed n , output P_G , water level h : – absolute, dimensional value – relative deviation from a steady-state value, $x = \Delta X/X_r$ Rotational speed Output Water level	X x X_n X_p X_h	var. – – – – –
2.4.2	Command signal	A signal which can be set by an external adjustment: – absolute, dimensional value – relative deviation from a steady-state value, $c = \Delta C/C_r$ Rotational speed Output Water level	C c C_n C_p C_h	var. – – – –
2.4.3	Servomotor stroke	Stroke of the main servomotor which moves the gate/runner blades/nozzles/deflectors – absolute value – relative deviation from a steady-state value, $y = \Delta Y/Y_{\max}$	Y y	m –
2.4.4	Controlled variable range	Adjusting range for the setting of the controlled variable with an average setting of the permanent droop: – maximum value of the controlled variable for $Y/Y_{\max} = 0$ – minimum value of the controlled variable for $Y/Y_{\max} = 1,0$ (see figure 1)	$X_{\max}$ $X_{\min}$	– –

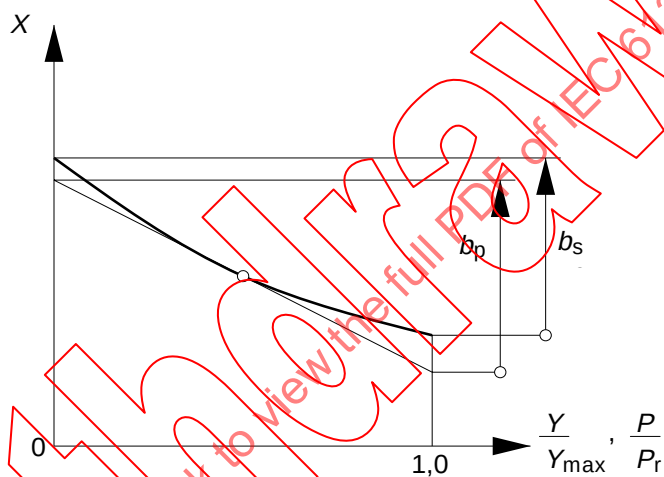


IEC 320/98

Figure 1 – Controlled variable range

Para- graphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.4.5	Signal de sortie de régulateur	Signal de sortie au régulateur = signal d'entrée du servo-positionneur suivant Ecart relatif par rapport à une valeur en régime établi	s	—
2.4.6	Signal de sortie d'un servo-positionneur pilote	Signal de sortie d'un servo-positionneur pilote = signal d'entrée du servo-positionneur principal suivant Ecart relatif par rapport à une valeur en régime établi.	s_v	—

2.4.7 courbe de statisme: Courbe représentant la grandeur réglée relative en fonction de la course relative du servomoteur/de la puissance relative en régime établi (voir figure 2).



IEC 321/98

Figure 2 – Statisme permanent

Para- graphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.4.8	Statisme permanent	Pente de la courbe de statisme (voir figure 2): – en un point de fonctionnement déterminé – définie par les valeurs extrêmes de la courbe de statisme	b_p b_s	% %
2.4.9	Gain proportionnel¹⁾	Amplification proportionnelle définie par le saut initial de la réponse à un échelon du régulateur avec $b_p = 0$, $p_p = 0$, $T_v = 0$ et le signal d'entrée $x = 1$ (voir figure 3)	K_p	—

¹⁾ Inverse du coefficient de statisme transitoire vitesse/course b_t , comme défini en 5.3.5 de la CEI 60308.

Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.4.5	Governor output signal	Output signal at the governor = input signal of the following servo-positioner Relative deviation from a steady-state value	s	–
2.4.6	Output signal of a pilot servo-positioner	Output signal of a pilot servo-positioner = input signal of the following main servo-positioner Relative deviation from a steady-state value	s_v	–

2.4.7 droop graph: A graph showing the relative controlled variable as a function of the relative servomotor stroke/the relative output under steady-state conditions (see figure 2).

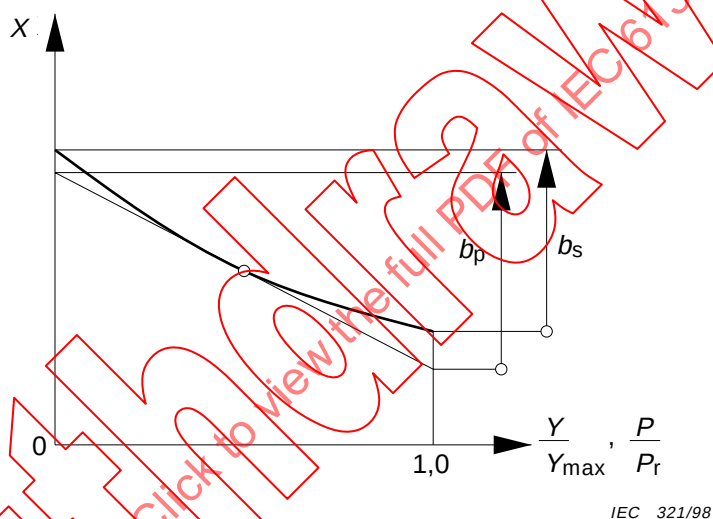


Figure 2 – Permanent droop

Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.4.8	Permanent droop	Slope of the droop graph (see figure 2): – at a specific point of operation, – defined by the end values of the droop graph	b_p b_s	% %
2.4.9	Proportional gain¹⁾	Proportional amplification, defined by the step of the governor transient function with $b_p = 0$, $p_p = 0$, $T_v = 0$ and input signal $x = 1$ (see figure 3)	K_p	–

¹⁾ Reciprocal value of the temporary speed droop, b_t , as per 5.3.5 of IEC 60308.

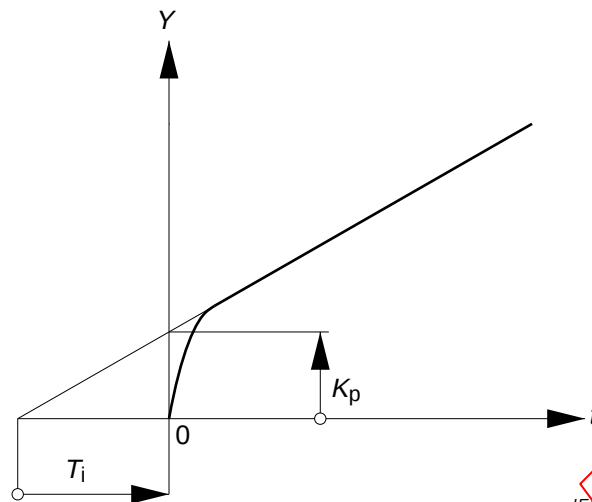


Figure 3 – Temps d'action intégrale

Para- graphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.4.10	Temps d'action intégrale¹⁾	Constante de temps de l'action intégrale du régulateur, définie par la pente de la courbe de réponse du régulateur à un échelon avec $b_p = 0$, $T_D = 0$ et le signal d'entrée $x = 1$ (voir figure 3)	T_i	s
2.4.11	Temps d'action de dérivation²⁾	Constante de temps de l'action de dérivation d'un régulateur-PID idéalisé, en accord avec l'annexe A. T_v peut être réalisé approximativement seulement par un terme de dérivation multiplié par un retard du premier ordre³⁾ selon la fonction de transfert de la partie de dérivation $\frac{K_D \cdot T_{1d} p}{1 + T_{1d} p}$ Pour les petites valeurs de $T_{1d} p$ on assume $T_d \approx K_D \cdot T_{1d}$ La réponse échelon du régulateur-PID est en accord avec l'annexe A, le terme proportionnel et intégral devient zéro tel qu'indiqué à la figure 4.	T_d	s

1) Constante de temps de la réaction transitoire, définie en 5.3.4 de la CEI 60308, $T_d = K_p/K_I$, K_I gain de l'action intégrale. $T_d \cdot T_i$ (CEI 60050-351).

2) Réalisation également par un correcteur retard du second ordre.

3) $T_d = K_D/K_P$ (CEI 60050-351) dans les régulateurs à structures parallèles avec ajustage du gain, K_D = gain différentiel. La CEI 60308 ne définit aucune action dérivée.

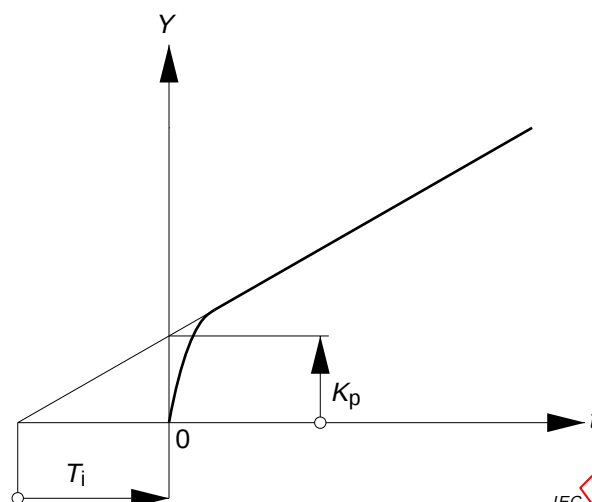


Figure 3 – Integral time constant

Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.4.10	Integral action time¹⁾	Time constant of the integral action of the governor, defined by the slope of the governor step response curve with $b_p = 0$, $T_D = 0$ and input signal $x = 1$ (see figure 3)	T_i	s
2.4.11	Derivative²⁾ action time	Time constant of the derivative action of an idealized PID-governor according to annex A. T_v can be realized approximately only by a derivative term multiplied by a first-order delay³⁾ according to the transfer function of the derivative part $\frac{k_D \cdot T_{1d} p}{1 + T_{1d} p}$ For small values of $T_{1d} p$, then $T_d = K_D \cdot T_{1d}$ The step response of an idealized PID-governor according to annex A, the proportional and integral term being zero, is shown in figure 4.	T_d	s

1) Damping time as per 5.3.4 of IEC 60308, $T_d = K_p/K_i$, K_i integral gain. $T_d \cdot T_i$ (IEC 60050-351).

2) Realization also by second-order delay.

3) $T_d = K_D/K_P$ (IEC 60050-351) in parallel structured governors with gain adjustment, K_D = differential gain. In IEC 60308, no derivative action time is defined.

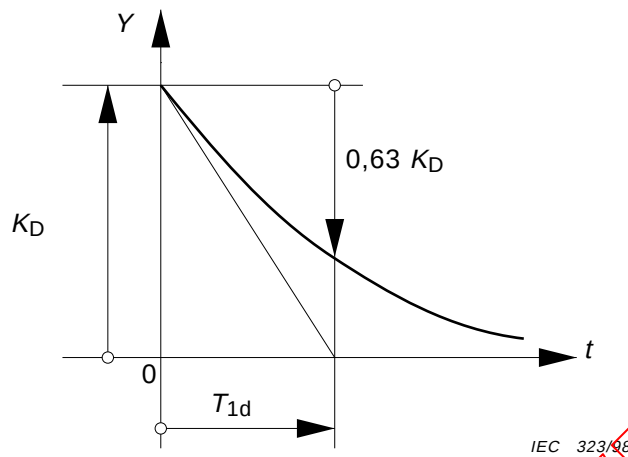


Figure 4 – Temps d'action de dérivation

Para- graphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.4.12	Zone morte	Zone de largeur maximale entre deux valeurs entre lesquelles l'écart de la grandeur réglée n'entraîne aucune action du régulateur (voir figure 5).	i_x	–

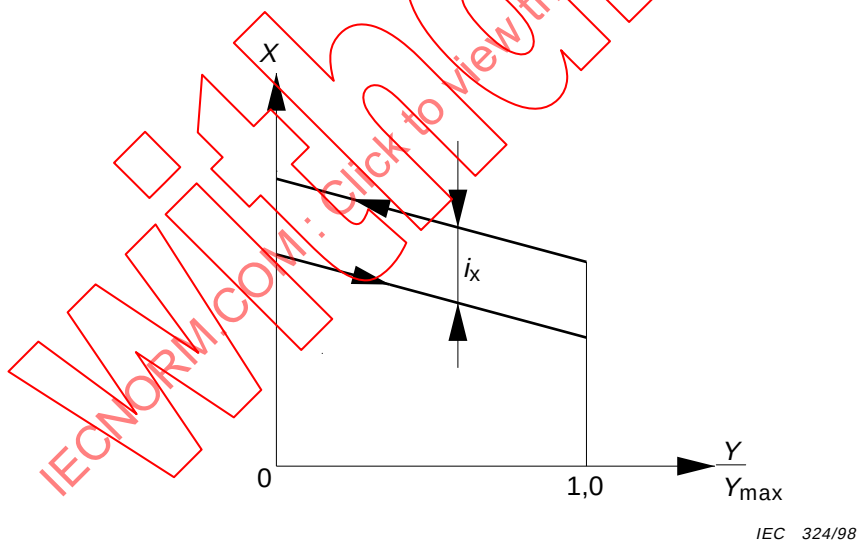
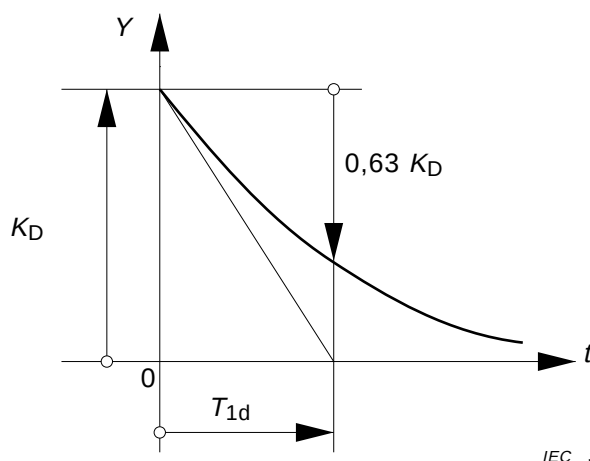


Figure 5 – Zone morte

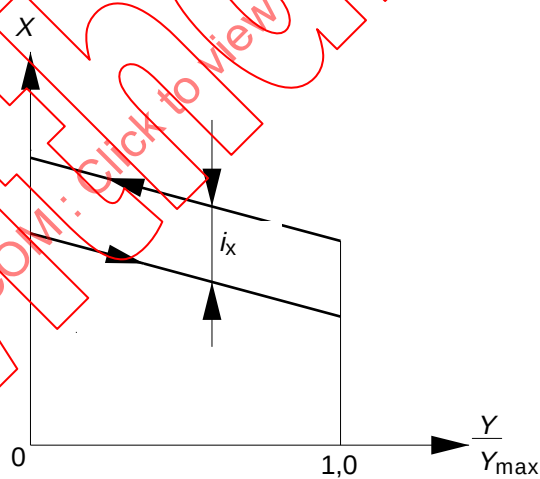
Para- graphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.4.13	Insensibilité	La moitié de la zone morte	$i_x/2$	–
2.4.14	Temps minimal d'ouverture/fermeture du servomoteur	Temps d'ouverture/de fermeture pour une course totale du servomoteur, à la vitesse maximale, les temps d'amortissement étant négligés (voir figure 6).	T_g, T_f	s



IEC 323/98

Figure 4 – Derivative time constant

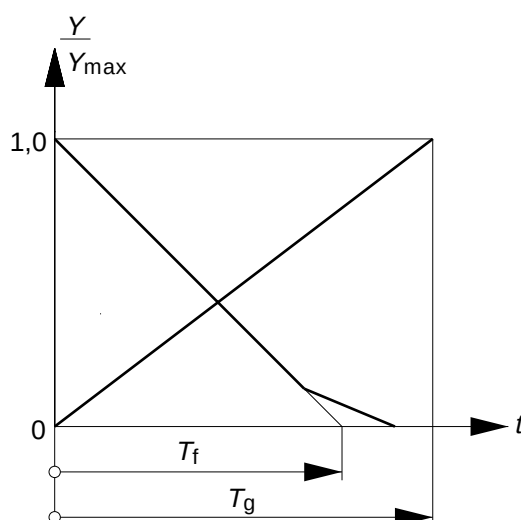
Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.4.12	Dead band	The maximum band between two values inside of which the variation of the controlled variable does not cause any governing action (see figure 5).	i_x	–



IEC 324/98

Figure 5 – Dead band

Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.4.13	Insensitivity	One-half of the dead band	$i_x/2$	–
2.4.14	Minimum servo-motor opening/closing time	The opening/closing time for one full servo-motor stroke at maximum velocity cushioning times disregarded (see figure 6).	T_g, T_f	s



NOTE – Dans le cas où le servomoteur a plusieurs vitesses d'ouverture/fermeture, une courbe peut être fournie.

Figure 6 – Temps minimal d'ouverture/fermeture du servomoteur

Para- graphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.4.15	Constante de temps du servo-positionneur ¹⁾	Inverse de la pente de la courbe représentant la vitesse du servomoteur dy/dt en fonction de l'écart relatif de la position du tiroir de distribution, s, s_v , à partir de la position zéro, rapporté à $s, s_v = 1$ (s, s_v = une course théorique relative du tiroir en l'absence de retour d'asservissement) (voir figure 7)	T_y	s
¹⁾ Temps caractéristique du servomoteur défini en 5.3.1 de la CEI 60308.				

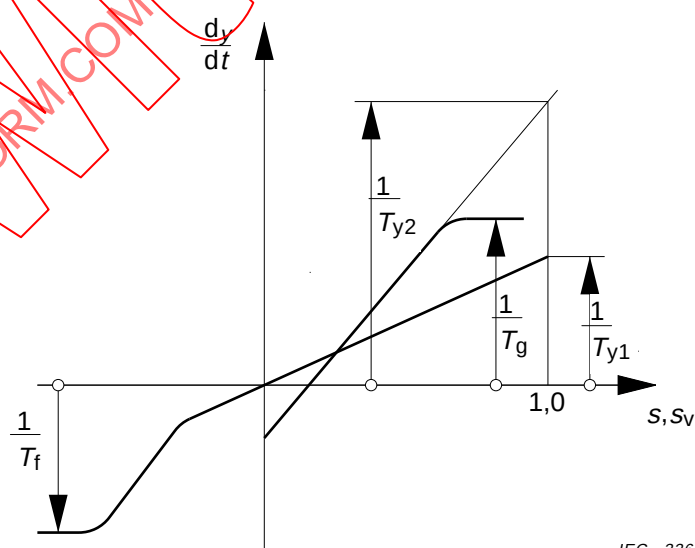
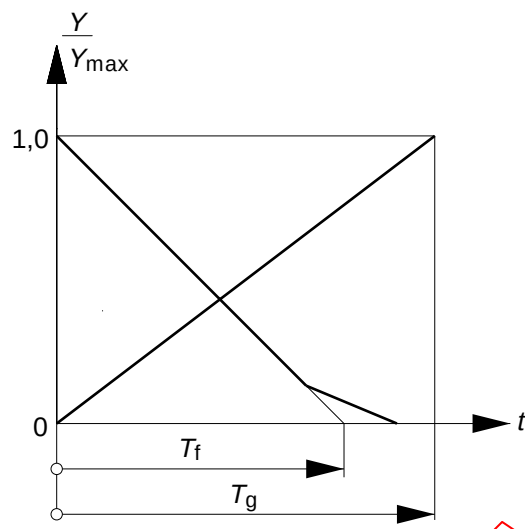


Figure 7 – Constante de temps du servo-positionneur



NOTE – In case of stepped opening/closing velocities a diagram may be provided.

Figure 6 – Minimum servomotor opening/closing time

Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.4.15	Time constant of the servo-positioner ¹⁾	The reciprocal value of the slope of the curve showing the servomotor velocity dy/dt as a function of the relative deviation of the position of the control valve, s, s_v , from the zero position related to $s, s_v = 1$ ($s, s_v = 1$ theoretical relative spool stroke in the absence of feedback) (see figure 7)	T_y	s

¹⁾ Servomotor response time as per 5.3.1 of IEC 60308.

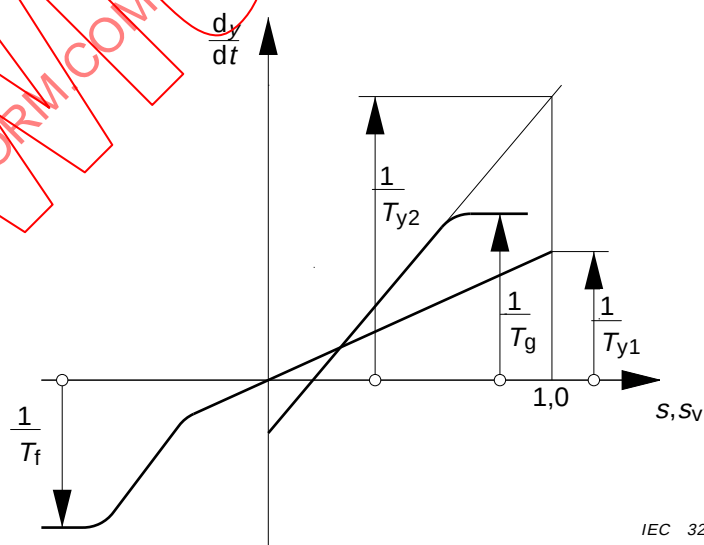


Figure 7 – Time constant of the servo-positioner

Para- graphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.4.16	Bande morte du servo-positionneur	Bande de largeur maximale entre les positions définies du servo-positionneur à signal d'entrée constant (voir figure 8)	i_a	—

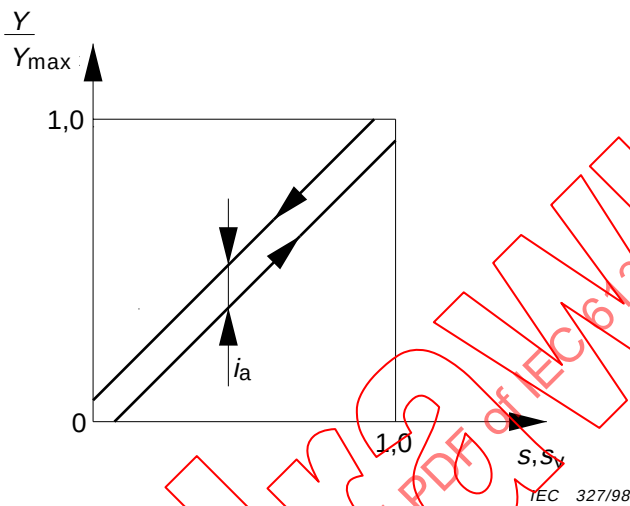


Figure 8 – Bande morte du servo-positionneur

Para- graphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.4.17	Imprécision du servo-positionneur	La moitié de la bande morte	$i_a/2$	—
2.4.18	Temps mort du régulateur	Intervalle de temps séparant une variation d'un type spécifié de la vitesse ou du signal de commande et le premier mouvement détectable du servomoteur (voir figure 9)	T_q	s

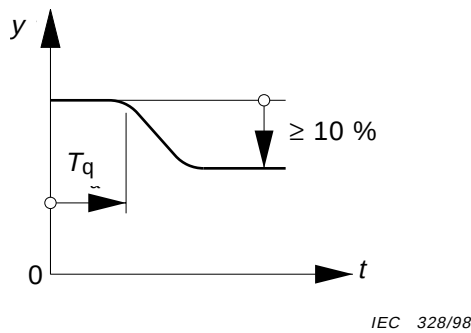


Figure 9 – Temps mort du régulateur

Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.4.16	Amplifier dead band	The maximum band between the main servo-positioner defined positions which can occur for a constant input signal (see figure 8)	i_a	–

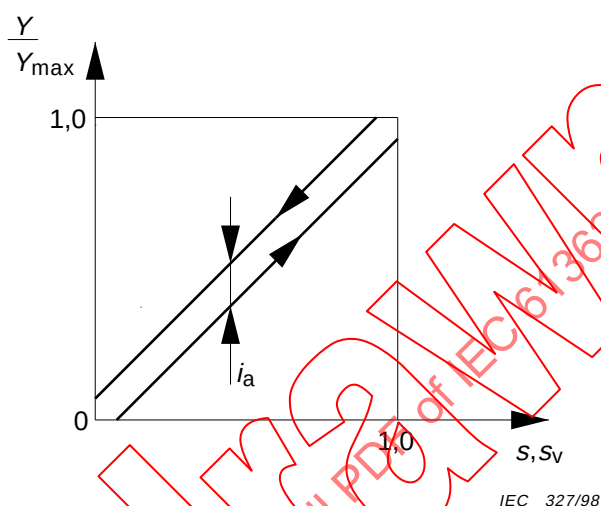


Figure 8 – Amplifier dead band

Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.4.17	Amplifier inaccuracy	One-half of the dead band	$i_a/2$	–
2.4.18	Control system dead time	Time interval between a specified change in speed or command signal and the first detectable movement of the servomotor (see figure 9)	T_q	s

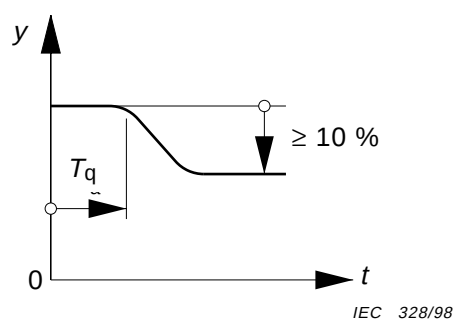


Figure 9 – Control system dead time

Para- graphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.4.19	Energie de commande	Energie nécessaire pour une course totale du servomoteur sous la pression minimale requise $p_R = E_R/V_S$	E_R	N · m
2.4.20	Cylindrée des servomoteurs	Volume d'huile des servomoteurs	V_S	m ³
2.4.21	Volume d'huile d'arrêt d'urgence	Volume d'huile contenu dans l'accumulateur au point d'arrêt d'urgence (entre p_T et p_R , voir figure 20)	V_T	m ³
2.4.22	Volume d'huile utilisable (figure 20)	Volume d'huile utilisable entre $p_{O \text{ min}}$ et p_R	V_u	m ³
2.4.23	Volume d'huile résiduel (non utilisable) (figure 20)	Volume d'huile dans l'accumulateur après un arrêt à pleine charge à partir du point d'arrêt d'urgence	V_{res}	m ³
2.4.24	Pression d'huile de construction	Pression de construction de l'accumulateur	p_D	Pa ¹⁾
2.4.25	Pression d'huile de service	Pression de l'huile dans les conditions de fonctionnement normales	p_O	Pa ¹⁾
2.4.26	Pression d'huile d'arrêt d'urgence	Quand la pression d'arrêt p_T est atteinte après un arrêt d'urgence à pleine charge, cela implique $p_R < p_T < p_O < p_D$	p_T	Pa ¹⁾
2.4.27	Pression minimale requise	Pression minimale requise dans le circuit d'huile	p_R	Pa ¹⁾
1) L'unité bar est également utilisée.				

3 Structure du régulateur

Différentes tâches de priorité variable peuvent être spécifiées pour les régulateurs de turbines hydrauliques. Leur réalisation conduit à certaines structures types des régulateurs et donc à suivre certaines règles de base.

De telles dispositions types sont présentées pour clarification.

3.1 Principales fonctions de réglage

En régulation des turbines hydrauliques, les fonctions essentielles suivantes peuvent être distinguées:

- régulation de vitesse;
- régulation de puissance;
- régulation de niveau;
- régulation d'ouverture et de débit.

Des combinaisons de ces différentes fonctions de réglage sont en outre rencontrées sur certaines installations.

Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.4.19	Actuating energy	Required energy for one servomotor stroke under the minimum required pressure $p_R = E_R/V_S$	E_R	N · m
2.4.20	Servomotor volume	Oil volume of the servomotors	V_S	m ³
2.4.21	Tripping oil volume	Oil volume of the pressure tank at the tripping point (between p_T and p_R , see figure 20)	V_T	m ³
2.4.22	Usable oil volume (figure 20)	Usable oil volume between $p_{O \min}$ and p_R	V_u	m ³
2.4.23	Residual (not usable) oil volume (figure 20)	Oil volume of the pressure tank after a full-load shut-down from the tripping point	V_{res}	m ³
2.4.24	Design oil pressure	Design pressure of the oil pressure tank	p_D	Pa ¹⁾
2.4.25	Operating oil pressure	Operating oil pressure under normal operating condition	p_O	Pa ¹⁾
2.4.26	Tripping oil pressure	When the tripping pressure p_T is reached after a full-load emergency shut-down, it implies $p_R < p_T < p_O < p_D$	p_T	Pa ¹⁾
2.4.27	Minimum required pressure	Minimum required pressure in the oil servo system	p_R	Pa ¹⁾
1) The unit bar is also used.				

3 Control system structure

In the hydraulic turbine control, various tasks can be specified with varying priority. Realization leads to certain typical control system structures and in turn to some basic rules to be adhered to.

Such typical arrangements are compiled for clarification.

3.1 Main control functions

In hydraulic turbine control, these major control functions can be distinguished:

- speed control;
- power output control;
- level control;
- opening and flow control.

In some systems combinations of these control functions also occur.

3.1.1 Régulation de vitesse

Le but de la régulation de vitesse est essentiellement de maintenir constante la fréquence. Pour les différents modes de fonctionnement, cela signifie que:

- en fonctionnement sur réseau isolé, la vitesse effective et, par conséquent, la fréquence correspondent à la valeur du signal de consigne;
- en fonctionnement sur le réseau interconnecté, la vitesse étant déterminée par la fréquence du réseau, le réglage de la vitesse contribue au réglage de la fréquence du réseau par le statisme permanent et par les paramètres dynamiques du régulateur;
- en marche à vide (avant la synchronisation et après le découplage du réseau) la vitesse effective correspond au signal de consigne ou à la fréquence du réseau avec un certain glissement.

3.1.2 Régulation de puissance

Le réglage de la puissance par un régulateur de puissance séparé est utilisé lorsque le groupe est raccordé au réseau, son rôle étant de régler la puissance du groupe selon une consigne de puissance indépendamment des variations de hauteur de chute. En outre, toute variation de fréquence influence le niveau de puissance par l'intermédiaire du statisme permanent.

Il est à noter que dans les cas où les variations de hauteur de chute peuvent être négligées, un réglage de puissance en boucle fermée, c'est-à-dire un régulateur de puissance, peut ne pas être nécessaire. Dans un tel cas, la linéarisation entre le signal de commande et la puissance peut suffire (voir 3.2.1). Egalement dans ce cas, toute variation de fréquence exerce une influence supplémentaire sur le niveau de puissance par l'intermédiaire du statisme permanent.

3.1.3 Régulation de niveau/débit/ouverture

Le rôle d'un réglage de niveau/débit/ouverture est de maintenir constant le niveau, le débit ou l'ouverture ou de lui faire suivre un signal de consigne.

3.2 Configurations des systèmes de régulation combinés

Dans les systèmes de régulation combinés, chaque fonction de réglage peut être assignée à un régulateur séparé. Cependant les régulateurs agissent tous sur le même servo-positionneur par l'intermédiaire de la consigne d'ouverture.

Pour cette raison, une commutation sans à-coups entre modes de fonctionnement demande de l'attention. Dans le cas de régulateurs séparés, les paramètres doivent être fixés selon les boucles de régulation respectives. Les régulations de niveau, de puissance, etc. sont souvent incompatibles avec le maintien de la vitesse en fonctionnement en réseau isolé. Le régulateur de vitesse reste toujours opérationnel pour des questions de sécurité, par exemple pour prendre la relève en cas de délestage de charge.

3.2.1 Structure parallèle

Deux régulateurs sont disposés en parallèle et commandent un ou plusieurs servo-positionneurs par l'intermédiaire d'un sélecteur ou d'un sommateur. Si un sélecteur est utilisé, il comprend souvent une fonction max./min. pour que la boucle de régulation de vitesse prévaille dans le cas d'un délestage de charge.

3.1.1 Speed control

The purpose of the speed control basically is to maintain constant frequency. In the various modes of operation this means that:

- in the isolated network mode, the actual speed and therefore the frequency corresponds to the command signal setting;
- in the operation on the grid, where the speed is determined by the network frequency, the speed control contributes to the network frequency control through the permanent droop and the dynamic characteristics of the controlled system;
- in the idling mode (before synchronization and after separation from the network), the actual speed corresponds to the command signal or the existing network frequency with some slip.

3.1.2 Power output control

The power output control with a separate power governor is applied with the unit connected to the grid, its purpose is to control the power output of the unit according to a power command signal irrespective of head variations. Any frequency variations influence the power level additionally via the permanent droop.

It is noted that in the cases where head variations can be ignored, a closed loop power output control, i.e., a power output governor, may not be necessary. In such a case, linearization between command signal and power output may suffice (see 3.2.1). In this case also, any frequency variations influence the power level additionally via the permanent speed droop.

3.1.3 Level/flow/opening control

The purpose of a level/flow/opening control is to keep the level, flow or opening constant or to make it follow a command signal.

3.2 Configurations of combined control systems

In combined systems, each control function can be assigned to a separate controller. However, the controllers all actuate the same main servo-positioner through the opening setpoint.

Thereby, a bump-free switch-over between modes requires attention. In case of separate controllers, parameters shall be set according to the respective control loop. Level and power output control, etc. are often incompatible with the maintenance of speed in an isolated network. The speed governor always remains functional for safety reasons, e.g., to take over in the case of a load rejection.

3.2.1 Parallel structure

Two governors are arranged in parallel and actuate one or several servo-positioners via a selector or a summing point. If a selector is applied, it often includes a max./min. function for the speed control loop to prevail in the case of a load rejection.

Si un sommateur est utilisé, la commutation des signaux est évitée mais le régulateur de puissance influence alors la régulation de vitesse et doit être réglé de façon à garantir la stabilité.

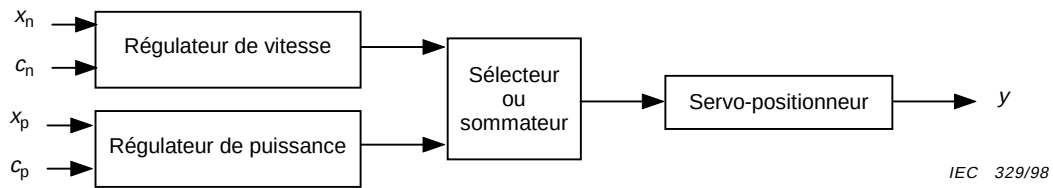


Figure 10 – Système de régulation avec régulateurs de vitesse et de puissance en parallèle

La configuration selon la figure 10 est souvent employée dans le cas des centrales de pointe.

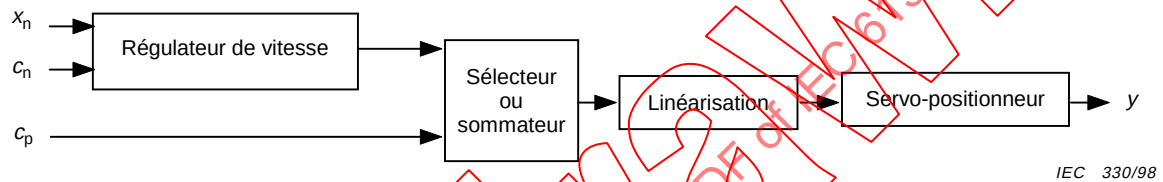


Figure 11 – Système de régulation avec régulateur de vitesse ET signal de consigne de puissance en parallèle

La figure 11 montre une disposition avec le régulateur de vitesse et le signal de consigne de puissance en parallèle, comme noté en 3.1.2.

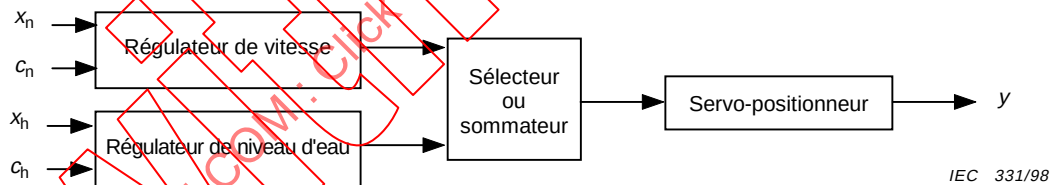


Figure 12 – Système de régulation avec régulateurs de vitesse et de niveau en parallèle

If a summing point is applied, the switching of signals is avoided, but the power output governor then influences speed control additionally and shall be set to ensure stability.

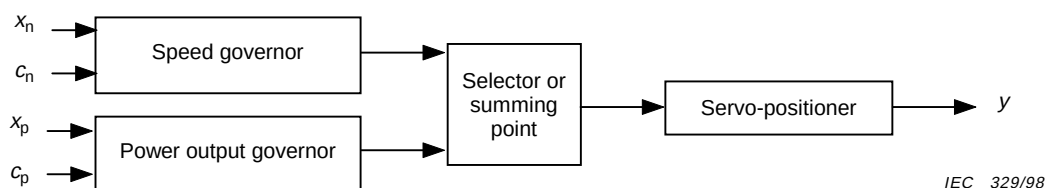


Figure 10 – Control system with speed and power output governor in parallel

The configuration according to figure 10 is often used in peak-load power stations.

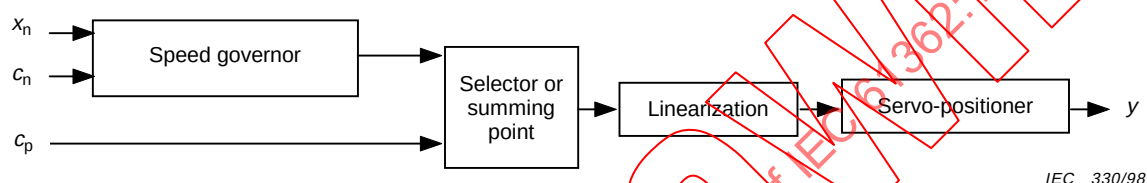


Figure 11 – Control system with speed governor and power command signal in parallel

Figure 11 shows an arrangement with speed governor and power command signal in parallel according to 3.1.2.

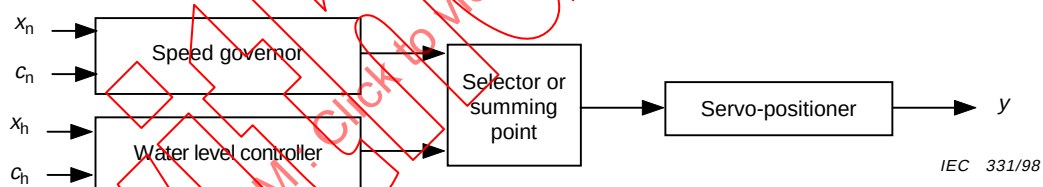


Figure 12 – Control system with speed governor and level controller in parallel

3.2.2 Structure série

Le régulateur de puissance ou le régulateur de niveau précède le régulateur de vitesse. Ils agissent sur le consigneur de vitesse (figure 13) ou sur le limiteur d'ouverture (figure 14).

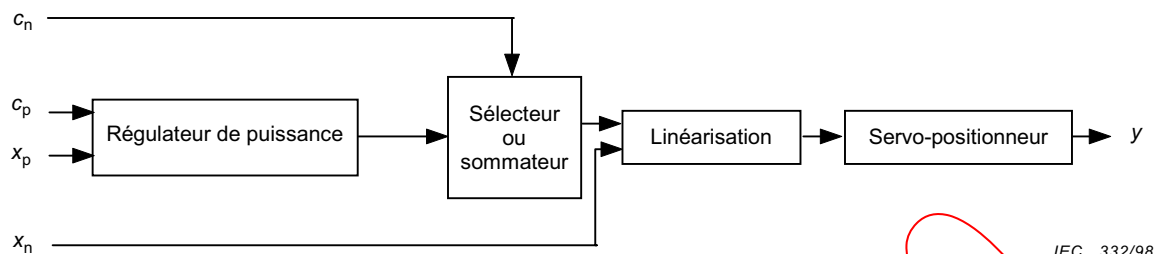


Figure 13 – Système de régulation avec régulateurs de puissance et de vitesse en série

Le régulateur de puissance agit sur le consigneur de vitesse.

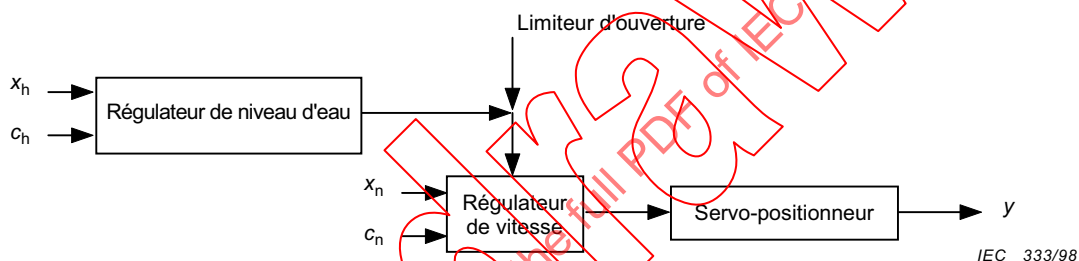


Figure 14 – Système de régulation avec régulateurs de niveau et de vitesse en série

Le régulateur de niveau agit sur le limiteur d'ouverture du régulateur de vitesse

Les configurations des figures 13 et 14 sont des exemples types. Cependant, il existe aussi des configurations avec le régulateur de puissance agissant sur le limiteur d'ouverture du régulateur de vitesse ou avec le régulateur de niveau agissant sur le consigneur de vitesse. Dans le mode de fonctionnement en régulation de puissance et de niveau, le régulateur de vitesse agit essentiellement comme positionneur.

La configuration de la figure 14 est souvent utilisée dans les centrales de puissance de base.

3.2.3 Autres configurations

3.2.3.1 Régulation de puissance via le régulateur de vitesse (puissance introduite comme signal d'asservissement).

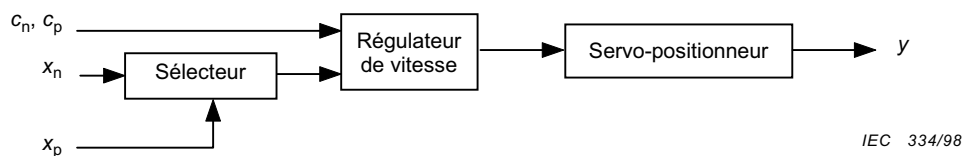


Figure 15 – Régulation de puissance via le régulateur de vitesse

3.2.2 Series structures

Power output governor or level controller precede the speed governor. They actuate the speed signal setter of the speed governor (figure 13) or the opening limiter (figure 14).

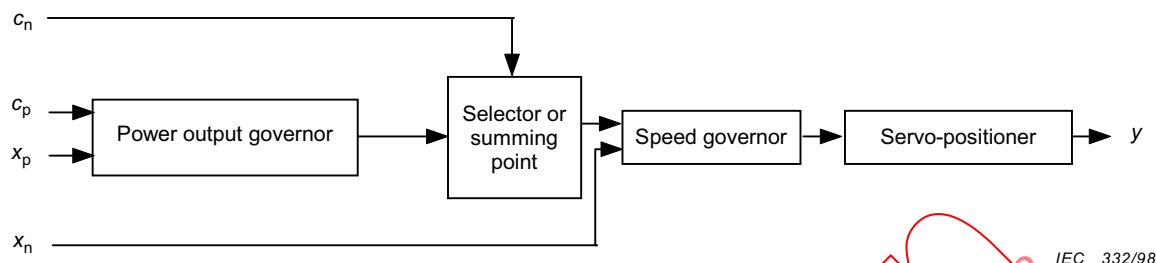


Figure 13 – Governing system with power output and speed governor in series

The power output governor actuates the speed signal setter of the speed governor.

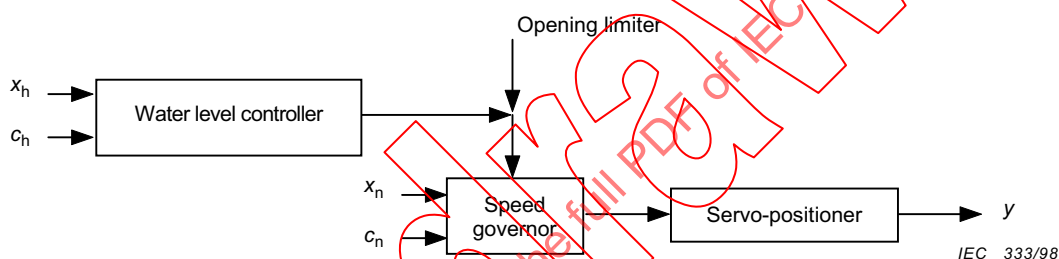


Figure 14 – Governing system with level controller and speed governor in series

The level controller actuates the opening limiter of the speed governor.

The configurations of figures 13 and 14 are typical examples. However, there are also configurations with the power output controller acting on the opening limiter of the speed governor or with the level controller acting on the speed signal setter. In the power output and the level control mode, the speed governor acts essentially as a positioner.

The configuration as per figure 14 is often used in base-load power stations.

3.2.3 Other configurations

3.2.3.1 Power output control via the speed governor (power output introduced as feedback signal)

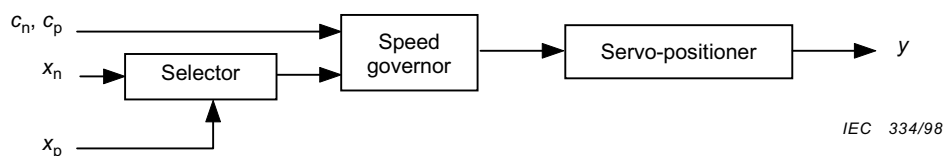


Figure 15 – Power output control via the speed governor

Le passage entre les modes de régulation s'opère par commutation du signal de mesure de vitesse et du signal de mesure de puissance.

3.2.3.2 Régulateur de niveau sans régulateur de vitesse

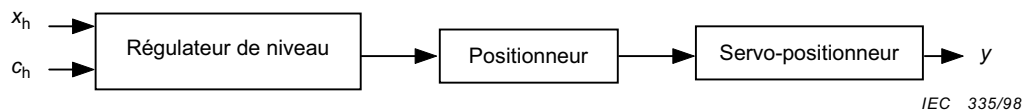


Figure 16 – Régulateur de niveau sans régulateur de vitesse

Dans les cas simples (par exemple dans le cas de groupes à induction), le régulateur de niveau agit sur le servo-positionneur par l'intermédiaire d'un consigneur.

3.3 Configurations des servo-positionneurs

Selon l'énergie de manoeuvre nécessaire, le servomoteur principal peut être:

- directement actionné par un amplificateur électro-hydraulique; le signal électronique de retour d'asservissement est réintroduit dans le régulateur;
- actionné par l'intermédiaire d'un servomoteur pilote; celui-ci positionne un dispositif de poursuite hydromécanique en boucle fermée comprenant un tiroir de distribution principal, un servomoteur et un retour d'asservissement mécanique;
- actionné par l'intermédiaire d'un tiroir de distribution principal piloté avec des signaux parallèles de retour d'asservissement de sa position et de celle du servomoteur, etc.

Le type de configuration est en rapport avec la précision du positionnement et avec les options de commande manuelle.

3.4 Commande multiple

En cas d'organes réglants multiples (par exemple double réglage d'une turbine à aubes directrices et pales de roue réglables) les dispositions

- parallèle et
- série

sont distinguées. La relation fonctionnelle peut être définie de façon non linéaire par un générateur de fonctions. Souvent un paramètre supplémentaire est superposé (par exemple, il peut être fait en sorte que la chute influence la relation entre les angles des aubes directrices et des pales de la roue). Dans le cas où il y a plus de deux positionneurs (par exemple commande par servomoteurs individuels), seule la commande parallèle est employée.

Changeover between control modes is by switching from actual speed signal to the actual power output signal.

3.2.3.2 Level controller without speed governor

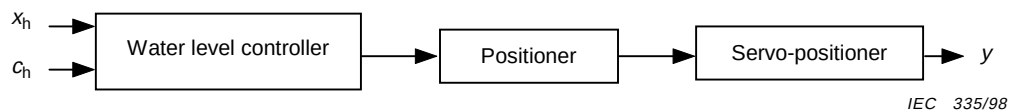


Figure 16 – Level controller without speed governor

In simple cases (for example in the case of induction units), its level controller acts on the servo-positioner via a setter.

3.3 Configurations of servo-positioners

Depending on the actuating energy required, the main servomotor can be:

- directly actuated by an electro-hydraulic amplifier; the electronic feedback signal is fed back to the governor;
- actuated via a pilot servomotor; it positions a closed-loop hydro-mechanical follow-up system consisting of main control valve, servomotor and mechanical feedback;
- actuated via a piloted main control valve with parallel feedback signals from main control valve and servomotor, etc.

The type of configuration has a bearing on positioning accuracy and manual control options.

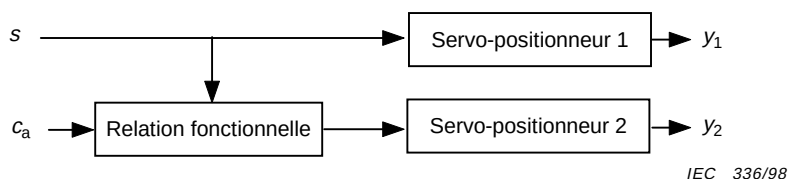
3.4 Multiple control

In case of multiple control members (e.g. dual control of a turbine with controllable guide vanes and runner blades),

- parallel and
- series

arrangements are distinguished. The functional relationship can be defined non-linearly through a function generator. Frequently an additional parameter is superimposed (e.g. the head can be made to influence the guide vane-blade angle relationship). In the case of more than two positioners (e.g. individual servomotor control), only parallel control is applied.

3.4.1 Structure parallèle



s est le signal de sortie du régulateur

y_1 est le signal de sortie du servo-positionneur 1

y_2 est le signal de sortie du servo-positionneur 2

c_a est le signal à superposer au signal d'entrée du servo-positionneur 2

Figure 17 – Structure parallèle avec une relation fonctionnelle définie et superposition d'un paramètre supplémentaire

3.4.2 Structure en série

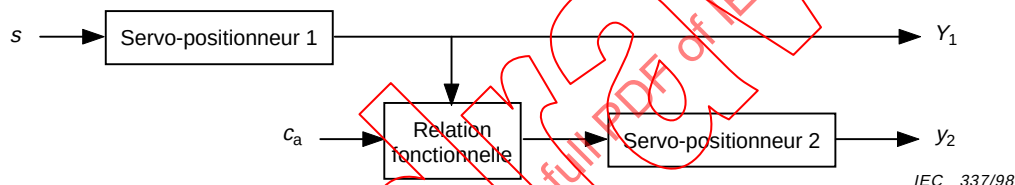


Figure 18 – Structure en série avec une relation fonctionnelle définie et superposition d'un paramètre supplémentaire

4 Performances et composants du système de réglage

Cet article concerne les critères de performance applicables à un système de régulation. Etant donné que les performances d'un régulateur dépendront fortement des caractéristiques de l'installation réglée particulière, quelques indications sont proposées en premier lieu en matière de modélisation et de simulation numérique.

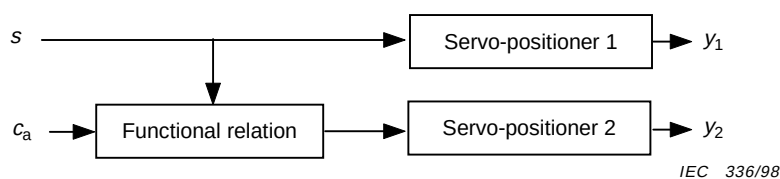
Des recommandations sont ensuite données pour les étendues de réglage des paramètres pour une configuration PID, exemple le plus courant d'un régulateur. D'autres stratégies de régulation peuvent être appliquées si elles sont adaptées ou souhaitables pour des performances supérieures par rapport au régulateur PID de référence.

Les servo-positionneurs, les exigences sur la transmission des signaux et la fourniture de l'énergie de manoeuvre sont également abordés dans le but d'aider à l'établissement de spécifications pertinentes.

4.1 Modélisation et simulation numérique

Dans le cas de nouveaux aménagements hydro-électriques, un modèle mathématique du système complet est une aide précieuse pour une optimisation du réglage, à moins que le système ne présente pas de difficulté et/ou qu'il soit similaire à des aménagements existants. Cela s'applique également à la modernisation d'installations existantes. Le but de ces calculs peut être triple:

3.4.1 Parallel structure



s is the output signal of governor

y_1 is the output signal of servo-positioner 1

y_2 is the output signal of servo-positioner 2

c_a is the signal to be superimposed on the input signal of servo-positioner 2

Figure 17 – Parallel structure with defined functional relation and an additional parameter super-position

3.4.2 Series structure

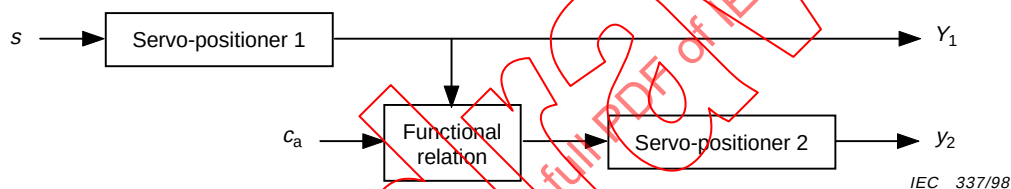


Figure 18 – Series structure with defined functional relation and additional parameter superimposition

4 Performance and components of the control systems

This clause is concerned with the overall performance criteria for a control system. As performance of a governor will strongly depend on the characteristics of the individual controlled system, some guidance is offered first as to its modelling and digital simulation.

Then recommendations are given for the ranges of parameter settings for a PID configuration as the most common example of a governor. Other control strategies may be applied if suitable or desirable for superior performance in relation to the PID-reference governor.

Servo-positioners, requirements for signal transmitters and the actuating energy supply are also covered with the purpose of guiding the establishing relevant specifications.

4.1 Modeling and digital simulation

In the case of new hydropower schemes, a mathematical model of the total system is valuable for an optimization of the control, unless the system is straightforward and/or similar to existing plants. The same applies to the modernization of existing plants. The purpose of such computations can relate to three areas:

- dimensionnement des composants des aménagements;
- mise en évidence du comportement dynamique du système (phénomènes de résonance, etc.);
- étude et optimisation du régulateur.

Ces calculs doivent être basés sur un modèle représentatif des composantes du système, tels que:

- les adductions hydrauliques;
- la turbine et ses mécanismes;
- les caractéristiques principales de l'alternateur en mode de fonctionnement en réseau isolé ou sur un réseau interconnecté;
- les caractéristiques du réseau;
- le régulateur.

Tous les domaines d'étude mentionnés peuvent en principe être traités par les mêmes modèles tandis que l'approche mathématique peut varier. Alors que le dimensionnement physique des composants de l'aménagement doit être basé sur des calculs dans le domaine temporel, le comportement dynamique de toute l'installation se laisse mieux appréhender dans le domaine fréquentiel. Les performances de réglage peuvent être traitées:

- soit dans le domaine fréquentiel pour ce qui concerne les petites variations autour du régime établi;
- soit dans le domaine temporel pour les grandes variations en présence de non-linéarités significatives.

Pour les études du comportement dynamique dans le domaine fréquentiel, une variable appropriée telle que l'ouverture du vannage doit être soumise à des variations sinusoïdales. Toutes les gammes de fréquence, pour lesquelles des phénomènes d'excitation peuvent se produire, tels que les vortex dans les aspirateurs des turbines Francis et/ou les résonances aux fréquences propres de la galerie, de la conduite forcée ou de l'alternateur doivent être considérées. Il est à noter que le calcul des fréquences propres du système hydraulique peut être inexact du fait que la vitesse de propagation des ondes ne peut être déterminée avec précision.

Pour les études ayant pour but une optimisation des valeurs des paramètres du régulateur, les calculs dans le domaine temporel offrent l'avantage de considérer les non-linéarités. En général, un critère intégral est appliqué, par exemple

$$\int |x - x_c|. dt = \text{minimum}$$

ou

$$\int t. |x - x_c|. dt = \text{minimum}$$

Il existe des programmes informatiques qui font varier systématiquement les paramètres et qui sélectionnent un jeu de valeurs optimales. Le réglage d'un régulateur adaptatif peut ainsi être déterminé en appliquant cette méthode pour l'ensemble des modes de fonctionnement.

L'optimisation du réglage des paramètres du régulateur dans le domaine fréquentiel requiert un modèle linéarisé. En vue de performances optimales, le choix des paramètres optimaux du régulateur peut, par exemple, être effectué par la méthode du lieu des pôles, c'est-à-dire des racines de l'équation caractéristique. Cela demande de l'expérience.

Le *niveau de détail de la modélisation* de l'aménagement dépend des exigences relatives aux capacités de réglage de l'aménagement.

- physical dimensioning of components of the plants;
- demonstrating the dynamic behavior of the system (resonance phenomena, etc.);
- control system analysis and optimization.

These computations shall be based on a representative model of the system components, such as:

- the water passages;
- the turbine with its mechanism;
- the essential generator characteristics in the isolated network and the grid mode;
- the network characteristics;
- the control system.

All the mentioned areas of interest can in principle be served by the same models while the mathematical approach can vary. Whilst physical dimensioning of components of the plant shall be based on computations in the time domain, the dynamic behavior of the total system can also be evaluated in the frequency domain. Control performance can be treated either

- in the frequency domain with respect to small deviations from the steady state, or
- in the time domain for large deviations where non-linearities are significant.

If mathematical investigations of the dynamic behavior in the *frequency* domain are applied, a suitable variable such as the gate opening shall be subjected to sinusoidal variations (frequency analysis). Thereby all frequency ranges shall be considered at which excitations, e.g. suction tube vortices in Francis turbines and/or resonances such as with natural frequencies of tunnel, penstock or the generator may occur. Thereby it should be noted that calculated natural frequencies of the hydro system may be inaccurate because the wave travel speed cannot be determined precisely.

For investigations with the aim of an optimization of the parameter setting of the controller, calculations in the time domain offer the advantage of considering non-linearities. Usually an integral criterion is applied, e.g.

$$\int |x - x_c|. dt = \text{minimum}$$

or

$$\int t. |x - x_c|. dt = \text{minimum}$$

There are computer programs available which systematically vary the parameters and select a set of optimal values. By applying this method to the complete operating range, the setting of an adaptive governor may also be determined.

Optimization of the parameter setting of the controller in the frequency domain requires a linearized model. The set of optimal controller parameters can, for example, be determined by positioning the poles, i.e., the roots of the characteristic equation for optimal performance. This requires some experience.

The *degree of detail in the modeling* of a plant depends on the requirements with respect to controllability of the plant.

Le travail à fournir, même pour de petites installations, peut être considérable et coûteux. Ce qui suit peut aider à juger jusqu'où il convient de pousser la modélisation dans les cas particuliers.

Adductions hydrauliques

- Dans le cas d'aménagements de haute chute avec galerie, cheminée d'équilibre et conduite forcée, la compressibilité du fluide et l'élasticité du matériau de la conduite forcée doivent être prises en compte dans toutes les parties de l'aménagement. Pour le dimensionnement et les études de résonance, cela s'applique également aux tunnels ainsi qu'aux galeries et puits des cheminées d'équilibre. Si la longueur de la colonne d'eau varie au cours du temps, l'eau et les parois sont alors généralement considérées comme incompressibles et non élastiques.
- Une étude séparée pour le tronçon galerie – cheminée d'équilibre et pour le tronçon conduite forcée – machine est souhaitable de façon à déterminer la montée maximale du niveau de l'eau dans la cheminée d'équilibre et les maxima atteints transitoirement causés par la surverse et la surpression. Les oscillations du système et le comportement du régulateur ne peuvent être jugés de façon fiable que sur la base d'une description de l'installation complète.
- Dans les calculs impliquant la cheminée d'équilibre, les dissipateurs d'énergie tels que les étranglements et l'inertie du fluide doivent être pris en compte.
- Dans les aménagements de basse chute, l'inertie de la colonne d'eau dans les ouvrages d'amenée et de restitution doit être prise en compte, alors que l'élasticité peut être négligée. Il peut également être pertinent de considérer les phénomènes d'intumescence dans les canaux d'amenée.

Turbine, alternateur, réseau

- Il convient de définir les caractéristiques de la turbine dans l'étude. Le réglage de vitesse des turbines Pelton peut poser des difficultés en raison de l'absence de couple négatif et des non-linéarités introduites par les déflecteurs. Pour le fonctionnement en réseau isolé, des déflecteurs asservis sont nécessaires.
- Pour les études sur les résonances et sur le comportement du groupe fonctionnant sur un réseau interconnecté, les couples synchrone et d'amortissement de l'alternateur doivent être pris en compte.
- La stabilité du réglage de fréquence d'un réseau isolé dépend du type de charges, telles que charges résistives, moteurs ou charges combinées. La charge de type résistive est la condition la plus sévère.

Concept de régulation

Il est vraisemblable que, dans le futur, les régulateurs PID continueront à être utilisés dans de nombreuses centrales pour la régulation de vitesse, de puissance et de niveau. Des algorithmes d'ordre supérieur, par exemple des méthodes de réglage d'état, seront utilisés pour les besoins des systèmes plus complexes. Ces méthodes de commande, bien qu'elles demandent plus de travail de mise en oeuvre, sont justifiées dans les cas où un comportement meilleur peut être obtenu en ce qui concerne l'amplitude des écarts par rapport au régime établi et le retour au régime établi.

Il est à noter que le comportement d'un régulateur électronique PID peut être considérablement amélioré par des moyens déjà disponibles, tels que la superposition de perturbations et la contre-réaction de grandeurs secondaires.

Cela justifie l'intention de ce guide d'utiliser le régulateur PID comme une base et une référence pour les recommandations relatives aux systèmes de régulation. Les plages de réglage des paramètres qui sont recommandées suffisent dans tous les cas normaux.

The effort even for smaller systems may be considerable and costly. The following may help to make a judgment as to how far the modeling should be carried in individual cases.

Water passages

- For the simulation of the water passages, the compressibility of the fluid and the elasticity of the penstock material shall be taken into account. For dimensioning and resonance studies, this should also be applied on tunnels and on galleries and shafts of surgetanks. If in the time domain, the length of a water column changes, then water and walls of this part are usually regarded as incompressible and un-elastic.
- A separate analysis of the tunnel-surgetank section and the penstock-machine section is desirable to determine maximum excursion of the surgetank water level and maximum machine transient variables such as speed and pressure rises, respectively. System oscillations and control system behavior can only be reliably judged on the basis of the total system description.
- In surgetank calculations, energy dissipators such as throttles and the fluid inertia shall be taken into account.
- In low head plants, the inertia of water masses in the head and tailwater housings shall be taken into account while the elasticity can be neglected. Also surge phenomena in headwater canals can be relevant.

Turbine, generator, network

- The turbine characteristics should be defined in the investigation. The speed control of Pelton turbines may pose difficulties due to the lack of a negative torque and the non-linearities introduced by the deflector. For isolated network operation, controlled deflectors are needed.
- For investigations on resonances and the behavior of the unit connected to the grid the synchronization and damping factor of the generator shall be taken into account.
- The stability of frequency control in isolated networks depends on the type of load, such as resistor, motor or combined loads. The resistor type load is the most stringent requirement.

Control concept

It is to be expected that in the future, PID-controllers will remain in use for many plants for speed, power and head level control. Higher order algorithms, e.g., state control schemes will be used for the more complex system requirements. These control schemes, while necessitating more effort to implement, are justified where superior behavior with respect to the magnitude of deviations from steady state and its return to steady state can be achieved.

It is to be noted that an electronic PID-controller's behavior can also be enhanced considerably by readily available special means, such as disturbance superposition and the feedback of secondary variables.

This in turn justifies the intention of this guide to use the PID-governor as a basis and reference for recommendations relating to system control. The recommended ranges in parameter adjustment will suffice in all normal cases. Special conditions – extremely low

Il convient d'étudier, dans tous les cas, les conditions spéciales - inerties extrêmement faibles, conduites forcées extrêmement longues – par simulation numérique et ces conditions peuvent nécessiter un élargissement des plages de réglage recommandées des paramètres.

4.2 Paramètres caractéristiques des régulateurs PID

Les paragraphes qui suivent traitent des paramètres caractéristiques d'un régulateur PID (analogique ou numérique) avec statisme permanent. Il ne couvre pas les paramètres relatifs à d'autres algorithmes de haut niveau/stratégies de régulation.

4.2.1 Statisme permanent b_p

Le statisme permanent établit une relation définie entre la grandeur réglée x et la position relative du servomoteur ou tout autre signal, en régime établi, par exemple:

- régulation de vitesse: entre la fréquence et la position du servomoteur;
- régulation de niveau: entre le niveau et la position du servomoteur;
- régulation de puissance: entre la puissance et la fréquence.

Plage minimale de réglage recommandée pour le statisme permanent en régulation de vitesse: de 0 % à 10 %

Linéarité (écart maximal admissible du statisme permanent b_p pour toute valeur de y par rapport au statisme permanent relatif à la course maximale b_s : $< \pm 5$ %.

Exemple: $b_s = 4,5$ %, $b_p = 4,4$ %,

$$\text{linéarité } ((b_s - b_p)/b_{p\max}) 100 = (0,1/10)100 = 1,0 \%$$

4.2.2 Gain K_p , temps d'action intégrale T_d et temps d'action de dérivation T_v

Les paramètres K_p , T_d et T_v définissent la réponse transitoire du régulateur. La réponse transitoire désirée peut être obtenue

- avec une structure parallèle des éléments,
- avec une structure en série, ou
- avec une structure à retour d'asservissement.

Le réglage convenable des paramètres dépend du système réglé et doit être sélectionné de façon à fournir une réponse transitoire satisfaisante. Selon le mode de fonctionnement, des réglages différents peuvent être nécessaires, par exemple

en régulation de vitesse:

- en marche à vide;
- en fonctionnement sur un réseau isolé (nécessaire seulement pour une plage de puissance limitée dans certains cas);
- en fonctionnement sur réseau interconnecté (sur toute la plage de puissance);

en régulation combinée de la puissance et de la vitesse, figures 10, 11, 13 et 15:

- pour la régulation de vitesse (avec régulation de puissance inopérante);
- pour la régulation de vitesse agissant en positionneur (avec régulation de puissance opérante).

inertias, extremely long penstocks – should in all cases be subjected to digital simulation and may require an extension of the recommended parameter adjustment range.

4.2 Characteristic parameters for PID-controllers

These subclauses relate to the characteristic parameters of a PID-controller (analog or digital) with permanent droop. It does not cover relevant parameters for other higher algorithms/control strategies.

4.2.1 Permanent droop b_p

The permanent droop establishes a defined relationship between the controlled variable x , and the relative servo-position or any other signal, in the steady-state condition, e.g..

- speed control: between frequency and servo position;
- level control: between level and servo position;
- power control: between power and frequency.

Recommended minimum setting range of the permanent droop for speed control: 0 % to 10 %

Linearity (maximum allowable deviation of the permanent droop b_p) for any value of y from the maximum stroke permanent droop b_s : $< \pm 5$ %.

Example: $b_s = 4,5$ %, $b_p = 4,4$ %,

$$\text{linearity } ((b_s - b_p)/b_{p\max}) 100 = (0,1/10)100 = 1,0 \%$$

4.2.2 Gain K_p , integral action time T_d , and derivative action time T_v

The parameters K_p , T_d and T_v establish the transient response of the governor. The desired transient response can be achieved

- with parallel structure,
- with series structure, or
- with feedback structure of the elements.

The suitable adjustment of the parameters depends on the controlled system and shall be selected so as to provide a satisfactory transient response. Depending on the mode of operation, different adjustments may be necessary, e.g.

with speed control:

- in idling mode;
 - in an isolated network mode (required only for part load in some cases);
 - in operation on the grid (over the complete power range);
- with combined power output and speed control figures 10, 11, 13 and 15:
- for speed control (with inoperative power output control);
 - for speed governor acting as positioner (with operative power output control).

En général, la même sélection de paramètres peut être employée pour la marche à vide et le fonctionnement sur réseau isolé; elle peut être très différente du réglage adapté au fonctionnement sur réseau interconnecté.

Une commutation automatique du choix des paramètres est fournie, si nécessaire (par exemple en fonction de la position du disjoncteur de l'alternateur, ou par un critère de détection du passage en fonctionnement sur réseau isolé, tel qu'une grande variation de la fréquence ou un échelon de puissance).

- a) Gain K_p (= inverse du coefficient de statisme transitoire b_t)

Plage minimale de réglage recommandée:

- pour régulateurs de vitesse: entre 0,6 et 10¹;
- pour régulateurs de puissance: entre 0,2 et 1.

- b) Temps d'action intégrale T_d

*Plage minimale de réglage recommandée: entre 1 s et 20 s*²⁾.

- c) Temps d'action de dérivation T_v

Plage minimale de réglage recommandée: entre 0 et 2 s.

où le rapport $T_{1v}/T_v = 1/K_v$ est généralement compris entre 0,1 et 0,2.

4.3 Autres paramètres du régulateur

4.3.1 Ajustement du signal de consigne pour les grandeurs réglées (vitesse, puissance, etc.) et le limiteur de charge

- a) Plage de réglage du signal de consigne

Plage de réglage recommandée:

- pour la régulation de vitesse: de 6 % à 10 % avec $b_p = 4$ %.

- b) Temps de variation des signaux de consigne

Les temps de variation (temps de course) doivent être réglés de telle sorte qu'ils soient supérieurs aux plus petits temps de course du servomoteur définis par les diaphragmes (voir aussi 4.3.3). Les temps de variation ne doivent normalement pas être inférieurs à 20 s.

Plages de réglage des temps de variation recommandés:

- réglage de la vitesse: entre 20 s et 100 s, normalement entre 30 s et 60 s;
- réglage de la puissance: entre 20 s et 80 s pour la course totale du servomoteur;
- limiteur: entre 20 s et 80 s pour la course totale du servomoteur.

4.3.2 Insensibilité $i_x/2$

Limites recommandées:

- régulation de vitesse: $i_x/2 < 2 \cdot 10^{-4}$
- régulation de puissance: $i_x/2 < 1 \cdot 10^{-2}$
- régulation de niveau/débit: $i_x/2 < (X_{\max.} - X_{\min.})/1 \text{ m};$
- régulation de débit: $i_x/2 < 1 \cdot 10^{-2}.$

¹⁾ Une plage entre 1,2 et 10 pour k_p et entre 1 s et 5 s pour T_d peut être suffisante pour de nombreuses applications, par exemple les réhabilitations sans exigences supplémentaires de performance.

²⁾ (Plage minimale requise entre 0 s et 1,4 s.) 0 s signifie que la désactivation des actions de dérivation est possible.

Usually the same parameter selection can be applied for idling and operation on an isolated network; it may differ considerably from the suitable adjustment for grid operation.

If necessary an automated changeover parameter adjustment is to be provided (e.g., through generator breaker position, or by sensing the transition to isolated network operation via a large frequency excursion or a power step).

- a) Gain K_p (= reciprocal value of the temporary speed droop b_t)

Recommended minimum adjusting range:

- for speed governors, between 0.6 and 10¹;
- or power output governors, between 0.2 and 1.

- b) Integral action time T_d

Recommended minimum adjusting range: between 1 s and 20 s²⁾.

- c) Derivative action time T_v

Recommended adjusting range: between 0 and 2 s.

where the relation $T_{1v}/T_v = 1/K_v$ is generally between 0.1 and 0.2.

4.3 Other parameters of the control systems

4.3.1 Command signal adjustments for controlled variables (speed, power output, etc.) and load limiter

- a) Command signal ranges

Recommended adjusting range:

- for speed controls: +6 % to 10 % with $b_p = 4$ %.

- b) Command signal setting times

The setting times (stroke times) shall be adjusted so as to exceed the shortest servomotor stroke times as defined by the limiting orifices (see also 4.3.3). Setting times should usually not be smaller than 20 s.

Recommended time setting range:

- speed setting: between 20 s and 100 s, normally between 30 s and 60 s;
- power output setting: between 20 s and 80 s for the full travel of the servomotor;
- limiter: between 20 s and 80 s for the full travel of the servomotor.

4.3.2 Control insensitivity $i_x/2$

Recommended limits:

- speed control: $i_x/2 < 2 \cdot 10^{-4}$
- power output control: $i_x/2 < 1 \cdot 10^{-2}$
- level/discharge control: $i_x/2 < (X_{\max.} - X_{\min.})/1 \text{ m};$
- discharge control: $i_x/2 < 1 \cdot 10^{-2}.$

¹⁾ A range between 1.2 and 10 for k_p and 1 s and 5 s for T_d may be sufficient for many applications, e.g. rehabilitations without additional performance requirements.

²⁾ (Minimum required range between 0 s and 1.4 s.) 0 s means deactivation of derivative actions is possible.

En cas d'exigences moins sévères concernant la régulation de fréquence du réseau, $i_x/2 < 2 \cdot 10^{-2}$ également est acceptable pour la régulation de vitesse. Cela peut par exemple s'appliquer aux réseaux où de grandes variations de fréquence surviennent fréquemment et dans les cas où la stabilité est délicate.

4.3.3 Paramètres du servo-positionneur

Entrée: signal électrique ou position du servomoteur pilote.

Sortie: position relative $Y/Y_{\max}$ des servomoteurs principaux.

Pour tous les servo-positionneurs, y compris ceux des turbines à double organe réglant, ce qui suit s'applique.

- a) Temps minimal d'ouverture/fermeture du servomoteur T_g et T_f qui sont déterminés séparément pour satisfaire aux limitations du coup de bélier et de la survitesse.

NOTE – Les diaphragmes et autres dispositifs adaptés sont dimensionnés de telle sorte que les temps de manoeuvre effectifs avec la pression d'alimentation maximale et l'énergie de manoeuvre nécessaire minimale ne soient pas inférieures au temps de manoeuvre admissible.

- b) Constante de temps du servo-positionneur T_y

Cette valeur est introduite dans toute simulation numérique de l'installation.

Valeurs recommandées pour T_y :

- servomoteur du vannage: entre 0,1 s et 0,25 s;
- servomoteur de pôle de roue: entre 0,2 s et 0,8 s;
- servomoteur du déflecteur: entre 0,1 s et 0,15 s.

Pour les déplacements proches de zéro, les plus grandes valeurs de T_y prévalent en raison du recouvrement et des rainures (voir T_{y1} sur la figure 7).

NOTE – Si la courbe est en paliers ou si dans une mesure de réponse fréquentielle, les vitesses limites d'un servomoteur sont atteintes, une constante de temps effective (comme fonction de l'amplitude) peut être utilisée pour les calculs.

- c) Imprécision du servo-positionneur $i_a/2$

Elle a une influence déterminante sur la bande morte i_x et doit être maintenue petite.

Valeur recommandée: $< 0,2 \%$ ¹⁾ pour le dispositif de servo-positionnement complet.

- d) Temps mort du régulateur T_q

Le temps mort du régulateur T_q résulte d'un temps mort dans le régulateur électronique (temps d'échantillonnage dans le micro-processeur, le cas échéant) et d'un recouvrement dans le distributeur et/ou d'une disposition en série de plusieurs amplificateurs.

Limite recommandée pour T_q : $< 0,20 \text{ s}$ ¹⁾.

- e) Réponse dynamique du servo-positionneur

La réponse dynamique est essentiellement déterminée par la constante de temps du servo-positionneur. Dans le cas de servo-positionneurs à plusieurs étages, éventuellement avec une fonction de transfert spéciale (boucle de positionnement électronique), le réglage doit produire une réponse indicielle correspondant à un facteur d'amortissement D compris entre 0,8 et 1,1, l'amortissement critique étant défini par $D = 1$ (voir figure 19).

¹⁾ Dans le cas de petites usines, les valeurs données peuvent être augmentées jusqu'à $i_a/2 < 0,3 \%$ $T_q < 0,3 \text{ s}$.

In case of less stringent requirements relative to network frequency control, also $i_x/2 < 2 \cdot 10^{-2}$ is acceptable for the speed control function. This may, for example, apply for networks, in which larger frequency variations occur frequently, and also in cases where stability is critical.

4.3.3 Parameters of servo-positioner

Input: electrical signal or position of the pilot servomotor.

Output: relative position $Y/Y_{\max}$ of the main servomotors.

For all servo-positioners, including those of double regulated turbines, the following applies.

- a) Minimum servomotor opening/closing times T_g and T_f which are separately determined to satisfy waterhammer and overspeed limitations

NOTE – The limiting orifices or other suitable devices are dimensioned such that the actual stroke times in the presence of the highest supply pressure and the lowest required regulating capacity will not be lower than the allowable stroke time.

- b) Time constant of the main servo-positioner T_y

This value is introduced in any digital simulation of the system.

Recommended values for T_y :

- gate/needle servo: between 0,1 s and 0,25 s;
- runner servo: between 0,2 s and 0,8 s;
- deflector: between 0,1 s and 0,15 s.

Near the zero displacement, higher values of T_y prevail due to overlap and grooves (see T_{y1} of figure 7).

NOTE – If the graph is stepped or if, in a frequency response measurement, the limit velocities of a servomotor are reached, an effective time constant (as a function of amplitude) can be used for computations.

- c) Servo-positioner inaccuracy in follow-up arrangement, $i_a/2$

It has a major influence on the dead band i_x and shall be kept small.

Recommended value: $< 0,2 \cdot \%1$ for the complete servo-positioning system.

- d) Control system dead time T_q

The control system dead time T_q results from a dead time in the electronic controller (sampling time in the microprocessor if applicable) and from an overlap in the control valve and/or from a series arrangement of several amplifiers.

Recommended limit for T_q : $< 0,20 \text{ s}^1$.

- e) Dynamic response of servo-positioner

The dynamic response is essentially determined by the time constant of the servo-positioner. In case of multiple-stage servo-positioners possibly with special transfer function (electronic positioning loop), the setting shall yield a response corresponding to a damping ratio D between 0,8 and 1,1, where critical damping is defined by $D = 1$ (see figure 19).

¹⁾ In the case of small power stations, the values given may be increased to: $i_a/2 < 0,3 \%$, $T_q < 0,3 \text{ s}$.

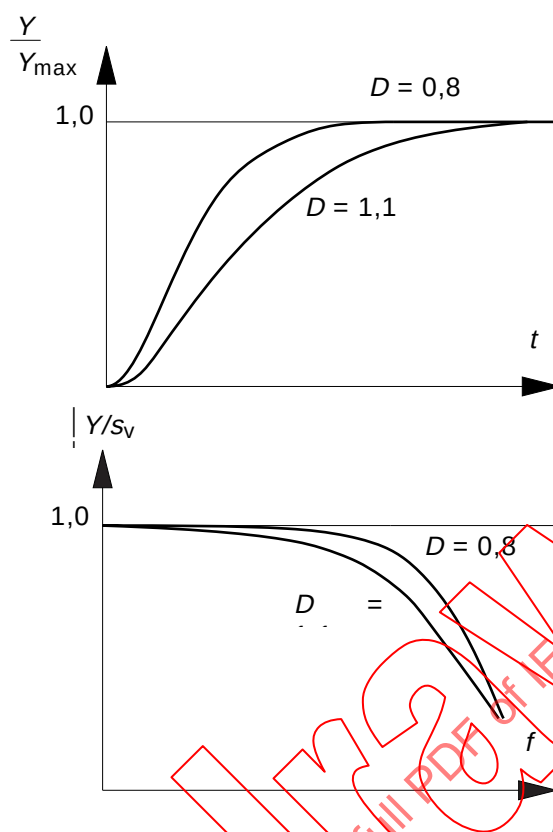


Figure 19 – Réponse transitoire et réponse fréquentielle de la sortie du servo-positionneur $Y/Y_{\max}$ à une entrée de déplacement s_v en échelon

$D < 1$ cas périodique amorti

$D > 1$ cas aperiodique

4.4 Relation fonctionnelle entre servo-positionneurs

4.4.1 Réglage double des turbines à vannage et pales de roue réglables

Les dispositions suivantes sont distinguées:

- commande parallèle;
- commande poursuite.

Il peut être fait en sorte que la chute H influence de façon additionnelle la relation fonctionnelle. En commande poursuite, soit le servomoteur de vannage soit le servomoteur des pales de la roue peut jouer le rôle directeur.

4.4.1.1 Réalisation

Celle-ci peut être effectuée:

- électroniquement par des générateurs de fonctions avec et/ou sans influence de la chute;
- mécaniquement par une came, conçue pour la chute nominale (dans le cas de petites variations de chute ou d'exigences réduites);
- mécaniquement par une came profilée, modifiée en fonction de la variation de la chute:
 - a) électriquement en fonction de la chute, ou
 - b) manuellement.

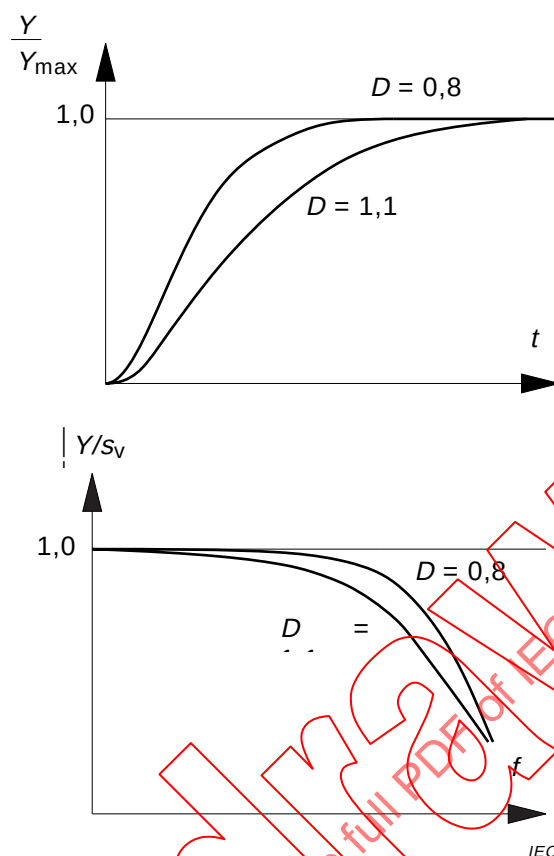


Figure 19 – Transient function and frequency response of the amplifier output $Y/Y_{\max}$ to a step displacement input s_v

$D < 1$ periodically damped case

$D > 1$ aperiodic case

4.4 Functional relationship between servo-positioners

4.4.1 Dual regulation of turbines with controllable guide vane and runner blade angle

The following arrangements are distinguished:

- parallel control;
- follow-up control.

The head H can be arranged to influence the functional relationship additionally. In the follow-up control, either the guide vane or the runner blade servo can be in the lead.

4.4.1.1 Implementation

This can be implemented:

- electronically through function generators with and/or without the influence of head;
- mechanically by a cam, designed for the rated head (in the case of small head variations or reduced requirement);
- mechanically by a profiled cam which is shifted with varying head either;
 - a) electrically as a function of head, or
 - b) manually.

4.4.1.2 Mise au point

La relation fonctionnelle (conjugaison) définie entre l'ouverture du vannage et l'inclinaison des pales repose généralement sur les résultats d'essais spécifiques ou d'essais sur modèle. La conjugaison peut être validée ou corrigée sur site par des mesures indicielles de débit ou par des mesures de rendement ou d'autres quantités.

4.4.2 Réglage double des turbines à injecteurs et déflecteurs

La fonction des déflecteurs est de limiter l'accroissement de la vitesse lors de déclenchements et de régler la vitesse en fonctionnement sur réseau isolé lorsque des perturbations de grande amplitude se produisent. La commande peut être réalisée selon les méthodes suivantes:

- commande parallèle des injecteurs et du déflecteur;
- commande primaire des injecteurs;
- commande primaire du déflecteur.

La commande poursuite peut ensuite être réalisée:

- électroniquement au moyen d'un générateur de fonctions;
- mécaniquement au moyen d'une came en commande directe de l'organe suiveur;
- mécaniquement au moyen d'une came dans la boucle de retour de l'organe suiveur.

4.4.3 Réglage multiple

Il est appliqué dans le cas d'une commande propre à chaque aube directrice ou à chaque injecteur. Les servomoteurs individuels sont le plus souvent commandés en parallèle.

4.4.4 Autres relations

Celles-ci concernent par exemple, selon 4.15.1 à 4.15.3:

- l'inclinaison des pales de la roue et l'ouverture du vannage et éventuellement la position du servomoteur d'une vanne placée sur l'aspirateur, pour minimiser les intumescences consécutives à un déclenchement;
- l'ouverture du vannage et la position d'une vanne by-pass, pour limiter les variations de pression et les survitesses consécutives à un déclenchement;
- l'ouverture du vannage et la position d'un by-pass en fonctionnement normal et après un déclenchement en cas de fonctionnement combiné d'une centrale et d'un réseau d'irrigation.

4.5 Mesure de signaux

Pour les différentes tâches de régulation, les grandeurs suivantes sont mesurées:

- vitesse de rotation;
- puissance;
- niveau;
- pression;
- course.

4.4.1.2 Adjustment

The defined functional relationship between guide vane and runner blade angle is generally based on specific or series model test results. The relationship may be verified or corrected on site by index measurements or measurements of the efficiency or other quantities.

4.4.2 Dual control of turbines with nozzles and deflectors

The deflector's purpose is to limit the speed increase during load rejections and to control speed under isolated network operation when large perturbations occur. The control can be accomplished in the following ways:

- parallel control of nozzles and deflector;
- primary control of nozzles;
- primary control of the deflector.

The follow-up control of the other can then be implemented:

- electronically by means of a function generator;
- mechanically by means of a cam in the forward path;
- mechanically by means of a cam in the feedback path.

4.4.3 Multiple control

It is applied in the case of individual guide vane and individual nozzle control. Individual servomotors are very often controlled in parallel.

4.4.4 Other relationships

The following are the examples according to 4.15.1 to 4.15.3:

- runner blade and guide vane angle and possibly the position of the servomotor of a draft tube gate following a load rejection to minimize surge;
- guide vane angle and the position of a bypass valve following a load rejection to limit dynamic pressure variations and speed increases;
- guide vane angle and bypass position in normal operation and following a load rejection in the case of combined operation of a power station with an irrigation scheme.

4.5 Actual signal measurement

For the various control tasks, essentially the following variables are measured:

- rotational speed;
- power;
- level;
- pressure;
- stroke.

4.5.1 Vitesse de rotation

4.5.1.1 Pour les régulateurs électroniques, les méthodes suivantes de mesure de la vitesse de rotation sont essentiellement utilisées:

- générateur Hall ou disque denté (si une extrémité libre de l'arbre n'est pas disponible) avec transducteur d'impulsions;
- mesure de fréquence par traitement de la tension alternateur au moyen de transducteurs (utilisant la rémanence résiduelle);
- générateurs tachymétriques, en particulier si une extrémité libre de l'arbre est disponible;
- autres méthodes.

4.5.1.2 Pour les régulateurs mécano-hydrauliques, les moyens suivants sont disponibles.

- Courroie d'entraînement du pendule (pour les installations simples ou existantes)
Des moyens supplémentaires de surveillance sont conseillés pour se prémunir contre la rupture ou le glissement de la courroie (carter de protection de la courroie).
- Moteur d'entraînement du pendule
Le moteur d'entraînement du pendule est alimenté par:
 - a) une génératrice à aimant permanent entraînée par l'arbre de la turbine;
 - b) un enroulement supplémentaire de l'alternateur principal;
 - c) l'enroulement de l'alternateur principal par l'intermédiaire d'un transducteur.

Ce dispositif entre en fonction seulement lors de l'enclenchement de l'excitation (appliqué à b) et c)).

4.5.2 Puissance

La puissance active de l'alternateur est mesurée par un transducteur. Le signal d'entrée du régulateur doit être suffisamment filtré.

4.5.3 Niveau

Le niveau du plan d'eau est mesuré électriquement (par exemple par une électrode) ou mécaniquement (par exemple par un flotteur, un transducteur de pression, un transmetteur pneumatique ou d'autres capteurs) et est transmis au régulateur de niveau.

4.5.4 Position d'élément de servo-positionneur (course)

La position des mouvements (par exemple les signaux de retour) sont captés

- électriquement (par des transducteurs angulaires ou linéaires),
- ou
- mécaniquement (par tringlerie, câble, ruban de commande).

Concernant les transducteurs électriques, les points suivants sont importants:

- absence de jeux dans les parties mécaniques;
- résistance à l'environnement;
- possibilité de réglage.

Pour les cas où une tringlerie est utilisée, des jeux ou des efforts anormaux (par exemple en cas de surcourse) doivent être évités. Pour les cas où des câbles ou un ruban de commande sont utilisés, une pré-tension suffisante est nécessaire. La conception du dispositif doit éviter les phénomènes de résonance avec des marges de sécurité adéquates.

4.5.1 Rotational speed

4.5.1.1 For electronic governors, essentially the following methods of measuring rotational speed are used:

- Hall-generator or toothed disk (if a free shaft end is not available) with impulse transducer;
- speed measurement at the generator via transducers (utilizing the residual remanence);
- tachogenerators, especially if a free shaft end is available;
- others.

4.5.1.2 For mechanical-hydraulic governors the following means are available.

- Belt drive of the flyweight head (in simple or existing plants)
Additional monitoring means are recommended to guard against breaking or slipping-off of the belt (belt guard).
- Motor drive of the flyweight head
The governor head drive-motor is fed from
 - a) a permanent magnet generator connected to the turbine shaft;
 - b) an additional winding of the main generator;
 - c) the winding of the main generator via a transducer

The governor head drive becomes effective only with the onset of excitation (applied to b) and c)).

4.5.2 Power output

The power output is measured via a transducer. The input signal to the governor shall be sufficiently filtered.

4.5.3 Level

The water level is measured electrically (e.g., via an electrode) or mechanically (e.g., via a float, a pressure transducer, a pneumatic transmitter or other sensors) and is transmitted to the level controller.

4.5.4 Actuator position (stroke)

Position/motions (e.g. feedback signals) are picked up

- electrically (via rotational or linear transducers),
- or
- mechanically (via linkage, cable, driving band)

With electrical transducers these items are important:

- freedom from backlash in the mechanical components;
- environmental resistance;
- adjustability.

In case of linkages, backlash and undue forces (e.g., in the case of overstroking) shall be avoided. In case of cables and driving band, sufficient pre-tension is important. The design of the system shall avoid resonance phenomena with suitable margins of safety.

4.5.5 Transmission de signaux issus des transmetteurs électroniques

Pour les variables mentionnées aux paragraphes 4.5.1 à 4.5.4, des courants de 0 à 20 mA ou de 4 mA à 20 mA sont généralement utilisés pour la transmission des signaux du transmetteur au régulateur. Les signaux $s < 4$ mA et > 20 mA sont souvent utilisés pour la surveillance du signal. Des câbles blindés ou torsadés doivent être employés pour la transmission des signaux de façon à supprimer le parasitage par induction. L'utilisation de fibres optiques peut être choisie dans le cas où les signaux sont transmis sous forme numérique.

4.6 Commandes manuelles

La commande manuelle est comprise comme un moyen de régler la puissance de la turbine directement par le ou les servo-positionneurs, c'est-à-dire en ne passant pas par la boucle de réglage du régulateur. Dans ce cas, la sécurité du groupe est préservée par la protection de survitesse.

La commande manuelle peut être souhaitable pour permettre de poursuivre la production d'énergie dans le cas où la boucle du régulateur est hors service. La commande manuelle peut également être utile pendant la période de mise en service des turbines.

Un nombre plus ou moins grand de fonctions, dépendant du degré de gravité de la défaillance du régulateur, peuvent être évitées. Les coûts augmentent avec le nombre de fonctions inopérantes. Un réglage proportionnel est également plus onéreux qu'un réglage à impulsions.

Les solutions générales suivantes peuvent être mises en œuvre pour réaliser des commandes manuelles.

a) Commande manuelle par positionnement électronique proportionnel

Elle règle la boucle de positionnement directement en rendant inopérante la boucle du régulateur. La boucle électronique de positionnement, y compris le retour, est supposée toujours opérante dans ce cas. Une source de puissance indépendante ou d'autres redondances peuvent être prévues pour accroître la disponibilité du système.

b) Commande manuelle par positionnement intégral ou à impulsions

Elle peut agir électroniquement sur le tiroir de distribution ou sur le servomoteur (pilote) directement par des valves à commandes par impulsions. La boucle électronique de positionnement, y compris le retour, est supposée hors service dans ce dernier cas.

c) Commande manuelle par positionnement mécanique proportionnel

Elle positionne mécaniquement le tiroir de distribution principal et nécessite un retour mécanique. Dans les cas où l'amplificateur ne comporte pas un retour mécanique, ce dernier doit être fourni pour la commande manuelle. Il faut être conscient de l'impact sur les coûts.

4.7 Linéarisation

Il est conseillé dans certains cas que la variable réglée suive linéairement le signal d'entrée, par exemple la puissance. La relation entre le signal d'entrée (consigne) et la course de l'actionneur n'est pas linéaire dans ce cas.

Réalisation:

- électroniquement par un générateur de fonctions;
- mécaniquement par une came.

4.5.5 Signal transmission from electronic transmitters

For the variables as per 4.5.1 to 4.5.4, usually 0 to 20 mA or 4 mA to 20 mA are used for signal transmission from the transmitter to the controller. Signals $s < 4$ mA and > 20 mA are often used for signal monitoring. For signal transmission, shielded or twisted cables are required in order to suppress induction noise. The use of optical fibres may be opted for in the case where signals are transmitted in digital form.

4.6 Manual control

Manual control is understood as a means to set the turbine power directly via the actuator(s), i.e., bypassing the governor control loop. In this case, the unit's safety still rests with the overspeed protection.

Manual control may be desirable to allow a continuation of power generation in the case where the governor control loop is out of order. Also manual control may be regarded as helpful in the commissioning phase of turbines.

Depending on the degree of impairment of the system, allowable manual control will be arranged to bypass an increasing number of functions. Costs rise as more functions are bypassed. Also, a retained proportional setting incurs higher costs than an impulse type setting.

The following general possibilities can be implemented as manual controls.

a) Manual control by electronic proportional positioning

It sets the positioning loop directly bypassing the governor control loop. The electronic positioning loop including the feedback is assumed to remain functional in this case. An independent power source and other redundancies can be arranged to enhance the system availability.

b) Manual control by integral or impulse positioning

It may actuate the control valve electronically or the (pilot) servomotor directly via separate on-off valves. The electronic positioning loop, including the feedback function, is assumed to be out of order in this case.

c) Manual control by mechanical proportional positioning

It positions the main control valve control mechanically and requires a mechanical feedback. In cases where the amplifier arrangement does not include a mechanical feedback, it has to be provided for manual control purposes. The impact on costs should be realized.

4.7 Linearization

In some cases, it is advisable that a controlled variable follows the input signal linearly, e.g. the power output. The relationship between the input (setter) signal and the actuator stroke is non-linear in such a case.

Implementation:

- electronically via a function generator;
- mechanically via cams.

4.8 Systèmes de poursuite

Dans le cas où une transition sans à-coups d'un mode de fonctionnement à un autre est spécifiée pour des configurations de régulateurs combinés avec sélecteurs (figures 10 à 13). Les signaux de consigne du régulateur qui n'est pas en service doivent suivre la variable réglée respective et/ou lui correspondre en cas de commutation. Les systèmes de poursuite occasionnent des coûts supplémentaires, spécialement pour les régulateurs analogiques.

Exemples

- Le signal de consigne du régulateur de puissance suit le signal de mesure de la puissance en mode régulation de vitesse.
- Le signal de consigne de vitesse suit le signal de mesure de la fréquence en régulation de puissance.
- La consigne de la commande manuelle suit la mesure de position de l'actionneur dans les différents modes de régulation.
- Pour minimiser les durées des démarrages (voir 4.13.1), la pré-ouverture peut être réglée pour différentes chutes ou une boucle de régulation séparée peut être prévue pour la phase de démarrage (par exemple régulation de l'accélération);
- Dans le cas d'une commande à distance, les régulations locales respectives doivent suivre les signaux de consigne respectifs.

4.9 Commande d'optimisation

Des configurations spéciales de commande peuvent être mises en oeuvre pour optimiser le système du point de vue du rendement global de la centrale, d'un fonctionnement sans à-coups ou autres critères, au moyen de:

- une commande échelonnée de plusieurs injecteurs dans le cas des turbines Pelton;
- une répartition de la charge parmi plusieurs groupes d'une centrale;
- autres.

4.10 Surveillance de la synchronisation de positionnement des servomoteurs en commande multiple

La surveillance de la synchronisation de positionnement est recommandée dans le cas d'aubes directrices ou d'injecteurs commandés par des servomoteurs individuels. A cet effet, l'écart de la position de chaque servomoteur par rapport à la position moyenne de l'ensemble des servomoteurs est contrôlé. Si les écarts dépassent une certaine limite, une alarme est donnée ou le processus d'arrêt est entamé. L'écart de réglage de la boucle de positionnement individuelle peut également être surveillé. S'il ne reprend pas une valeur proche de zéro après un temps donné, une alarme est donnée ou un processus d'arrêt est entamé.

4.11 Fourniture de l'énergie de manoeuvre

L'énergie de manoeuvre est fournie, de façon prédominante, par des circuits d'huile.

La pression minimale nécessaire p_R s'obtient à partir de l'énergie de manoeuvre E_R ¹⁾ et du volume des servomoteurs:

$$p_R = E_R / V_S$$

On distingue les systèmes avec accumulateurs des systèmes sans accumulateur.

¹⁾ Frottement inclus.

4.8 Follow-up controls

In case a bump-free transition from one operational mode into another is specified in combined control system configurations with selectors (figures 10 to 13). The command signals of the control which is not on the line shall be made to follow the respective controlled variable and/or to correspond to it in the instance of change-over. In analog systems especially, follow-up controls incur additional costs.

Examples

- The power output governor command signal follows the actual power output signal in the speed control mode.
- The speed command signal follows the actual frequency signal in the power output control mode.
- The manual control set point follows the actual actuator position in the various control modes.
- To minimize start-up times (see 4.13.1) the pre-opening can be adjusted to varying heads or a separate control loop can be arranged for the start-up phase (e.g., acceleration control).
- In the case of remote control, the respective local controls shall be made to follow the respective command signals.

4.9 Optimization control

Special control configurations may be provided to optimize the system with respect to the overall plant efficiency, the running smoothness or other criteria by means of:

- a staggered control of multiple nozzles in Pelton-turbines;
- a load distribution among a multitude of units in a plant;
- others.

4.10 Monitoring parallel positioning of amplifiers

In the case of guide vanes or nozzles with individual servomotors, monitoring the parallelism of the positioning is recommended. For this purpose, the deviation of the position of each servomotor from the average of the total is derived. When the deviation exceeds a given limit, a warning or a shut-down is initiated. Also the control deviation of the individual positioning loop can be monitored. If it does not return to approximately zero in a given time span a warning or a shut-down is initiated.

4.11 Provision of actuating energy

The necessary actuating energy is provided predominantly by oil hydraulics.

The minimum required pressure p_R follows from the required regulating capacity E_R ¹⁾ and the volume of the servomotors:

$$p_R = E_R/V_S$$

There are systems with and without accumulators to be distinguished.

¹⁾ Friction included.

Les systèmes avec accumulateurs sont préférables lorsque la mise à disposition rapide de grandes quantités d'énergie de manoeuvre est exigée (par exemple dans le cas d'une régulation puissance-fréquence ou quand des exigences sévères en matière de régulation de fréquence prévalent).

4.11.1 Systèmes comportant un accumulateur

4.11.1.1 Réservoir sous pression (accumulateur d'air)

Les réservoirs sous pression sont principalement utilisés dans le cas des systèmes fournissant un grand travail de manoeuvre. Concernant la pression maximale utilisable et le calcul, les règles correspondantes s'appliquent (ASME, SNCT, normes DIN, etc.).

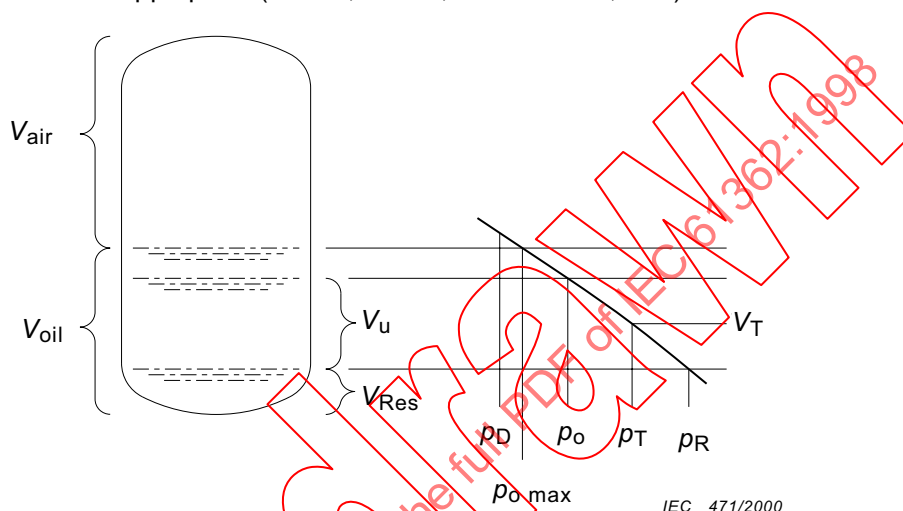


Figure 20 – Contenance du réservoir sous pression et plages de pression

Pression de construction, p_D

- Plage de pression de fonctionnement

$p_{o \max}$ à $p_{o \min}$

$p_{o \max} = (0,85 \text{ à } 1,0) p_D$

$p_{o \min} = (0,80 \text{ à } 0,9) p_D$

- Pression d'arrêt (pression minimale pour l'arrêt d'urgence)

p_T ($p_{o \min} > p_T > p_R$)²⁾

Pression minimale requise p_R

$p_R = (0,58 \text{ à } 0,75) p_D$

Volume utile d'huile recommandé

- Boucle de réglage unique

$V_u = 3 V_S$

- Double réglage

$V_u = 3 V_{Sga} + (1,5 \text{ à } 2,0) V_{Sru}$

$V_u = 3 V_{Sde} + (1,5 \text{ à } 2,0) V_{Snz}$

1) Pour la détermination de la pression maximale de service, les règles concernant la pression d'ouverture et la pression finale de la soupape de sécurité sont à observer.

2) p_T est choisie de telle sorte que la pression après la fermeture ne descende pas au-dessous de p_R .

Systems with accumulators are preferred, where quick delivery of large amounts of actuating energy is called for (e.g., in the case of power output-frequency control or when stringent requirements in frequency control prevail).

4.11.1 System with an accumulator

4.11.1.1 Pressure tank (air accumulator)

Pressure tanks are predominantly applied in the case of large regulating capacity systems. For maximum applicable pressure and calculation the respective rules apply (ASME, SNCT, DIN code, etc.)

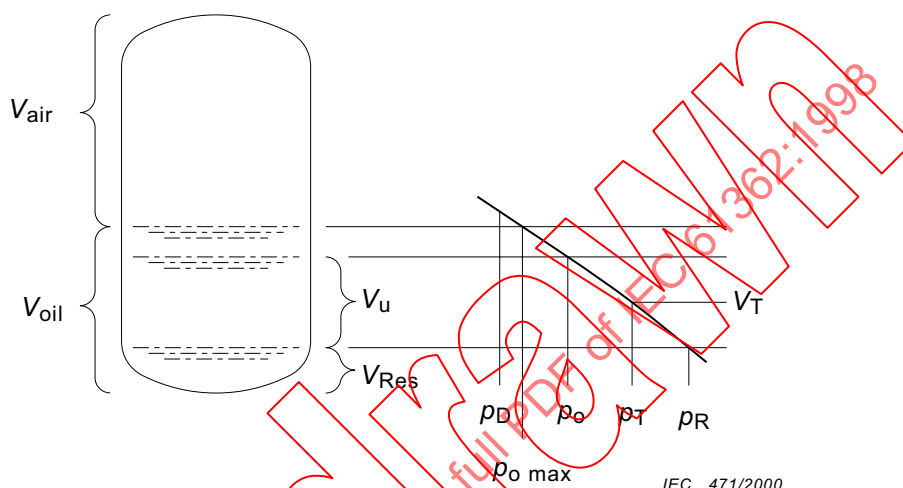


Figure 20 – Pressure tank content and pressure ranges

Design pressure, p_D

- Operating pressure range

$p_{o \max}$ to $p_{o \min}$

$$p_{o \max} = (0,85 \text{ to } 1,0) p_D^{1)}$$

$$p_{o \min} = (0,80 \text{ to } 0,9) p_D$$

- Tripping pressure (minimal pressure for emergency shut-down)

$$p_T \text{ (} p_{o \min} > p_T > p_R \text{)}^{2)}$$

Minimum required pressure

$$p_R = (0,58 \text{ to } 0,75) p_D$$

Recommended usable oil volume

- Single loop control

$$V_u = 3 V_S$$

- Dual control

$$V_u = 3 V_{Sga} + (1,5 \text{ to } 2,0) V_{Sru}$$

$$V_u = 3 V_{Sde} + (1,5 \text{ to } 2,0) V_{snz}$$

1) When determining the maximum operating pressure, the rules concerning the opening and final pressure of the safety valve are to be complied with.

2) p_T is chosen such that pressure after closure does not drop below p_R .

où

V_S est le volume d'huile de tous les servomoteurs;

V_{Sga} est le volume total de tous les servomoteurs du vannage;

V_{Sru} est le volume du servomoteur des pales de roue;

V_{Sde} est le volume total de tous les servomoteurs des déflecteurs;

V_{Snz} est le volume total de tous les servomoteurs des injecteurs.

Dans le cas de conditions de fonctionnement en réseau isolé spéciales, des valeurs plus élevées peuvent être exigées.

Volume utile d'huile minimal

Si le fonctionnement en réseau isolé n'est pas exigé, le volume d'huile utile peut être réduit au minimum, qui correspond au volume d'huile d'arrêt V_T conformément à:

$$V_T = V_S + q_I \cdot t_I + V_{Res}$$

où

q_I est le débit de fuite de l'ensemble du circuit d'huile;

t_I est le temps permettant d'assurer un verrouillage mécanique des servomoteurs ou temps de fermeture de la vanne d'admission.

4.11.1.2 Accumulateurs à membrane et à piston

Des accumulateurs à membrane et à piston du commerce pourvus d'une séparation hermétique entre l'huile et le gaz inerte (en général de l'azote) peuvent être choisis dans le cas de petits groupes seulement, en raison du volume limité qu'offrent ces accumulateurs. Ils autorisent l'utilisation de pressions plus élevées que celles fixées comme limites pour les accumulateurs air/huile par les normes nationales. Si elles peuvent être utilisées, les hautes pressions (par exemple de 10 MPa à 15 MPa) conduisent généralement à des solutions plus économiques. Un volume d'huile résiduel et une recharge de gaz automatique ne sont pas nécessaires.

Contenance de l'accumulateur et plage de pression

$$\begin{aligned} V_u &= 3 V_S \\ p_T &= (0,5 \text{ à } 0,75) p_D \\ p_{0 \text{ max}} &= (0,80 \text{ à } 1,0) p_D \\ p_{0 \text{ min}} &= (0,75 \text{ à } 0,9) p_D \end{aligned}$$

4.11.1.3 Autres systèmes

Pour la sécurité de l'arrêt, il est possible d'utiliser des accumulateurs à poids ou à ressort (turbines de basse chute) et ou de prélever de l'eau directement sur la conduite forcée (turbines de haute chute), en combinaison avec les circuits d'huile sous pression (systèmes combinés).

Ces systèmes doivent être dimensionnés de telle sorte que la turbine puisse être arrêtée en toute sécurité, c'est-à-dire également en cas de défaillance de l'alimentation en huile sous pression dans les systèmes combinés.

L'ouverture se fait dans la plupart des cas avec la pression de l'huile.

where

V_S is the oil volume of all servomotors;

V_{Sga} is the total volume of all gate servomotors;

V_{Sru} is the volume of the runner servomotor;

V_{Sde} is the total volume of all deflector servomotors;

V_{Snz} is the total volume of all nozzle servomotors.

In special isolated network operating conditions, higher values may be required.

Minimum usable oil volume

If isolated network operation is not required, the usable oil volume can be reduced to a minimum, which corresponds to the tripping oil volume V_T according to:

$$V_T = V_S + q_l \cdot t_l + V_{Res}$$

where

q_l is the leakage of the whole oil supply system;

t_l is the time available up to ensuring a mechanical locking of the servomotors or closing time of inlet valve.

4.11.1.2 Bladder and piston accumulators

Commercial bladder and piston accumulators with a hermetic separation between oil and inert gas (mostly nitrogen) can be selected in the case of smaller units only, due to the limited volume of the accumulators. They allow the application of higher pressures than those which national codes set as limits for air accumulators. If applicable, higher pressures (e.g. from 10 MPa to 15 MPa) generally lead to more economical solutions. A residual oil volume and an automatic gas replenishment do not have to be provided.

Accumulator content and pressure range

$$V_u = 3 V_s$$

$$p_T = (0,5 \text{ to } 0,75) p_D$$

$$p_{o \max} = (0,80 \text{ to } 1,0) p_D$$

$$p_{o \min} = (0,75 \text{ to } 0,9) p_D$$

4.11.1.3 Other systems

For shut-down safety, weight or spring-loaded accumulators (low-head turbines) and water pressure taken directly from the penstock (high-head turbines) partly in combination with oil pressure systems (combined systems) are used.

These systems are to be dimensioned in such a way that the turbine can be shut down safely, i.e. also in the case of failure of the oil pressure supply in combined systems.

The opening is in most cases effected with oil pressure.

4.11.1.4 Pompes pour les systèmes à accumulateur

Deux pompes entraînées par un moteur asynchrone sont fournies, chacune ayant une capacité suffisante pour couvrir les pertes par fuite avec une marge de sécurité au moins égale à deux.

Dans des cas particuliers (par exemple pour fournir le travail de démarrage sans alimentation extérieure), l'entraînement de la seconde pompe peut être réalisé par un moteur à courant continu, une petite turbine s'il s'agit d'une centrale de haute chute ou par l'arbre.

Dans certains cas, il est possible d'opter pour une pompe n'assurant que la régulation normale et la compensation des pertes par fuite, en complément des pompes principales ou en remplacement de la seconde pompe de grand débit.

4.11.1.5 Bac à huile

Disposition recommandée

- Le bac à huile doit être conçu pour permettre la vidange du circuit hydraulique complet dans le bac.
- Il doit également être conçu pour permettre la vidange complète à des fins de maintenance et pour évacuer l'eau de condensation, par exemple en prévoyant un fond plan, légèrement incliné.

4.11.1.6 Equipement auxiliaire

- Réfrigération et chauffage

La réfrigération de l'huile n'est normalement nécessaire que pour les groupes de dimensions moyennes ou grandes en zones tropicales et pour les turbines Kaplan avec une alimentation en huile transitant par un palier de l'arbre.

La réfrigération/le chauffage peuvent être souhaitables pour limiter les variations de viscosité de l'huile.

- Evacuation du brouillard d'huile

Tous les bacs doivent être munis d'au moins un orifice avec cartouche filtrante et d'un collecteur d'huile.

Dans les conditions défavorables (par exemple les centrales souterraines avec une climatisation en circuit fermé), une évacuation séparée du brouillard d'huile est souhaitable.

4.11.1.7 Alimentation en air comprimé

- Pour les réservoirs sous pression

L'alimentation en air comprimé est généralement assurée par des compresseurs. Leur pression de construction doit être supérieure à la pression de construction du circuit hydraulique p_D . Le travail fourni par les compresseurs doit être suffisant pour recharger dans les temps voulus, en prenant en compte les pertes de charge dans les tuyauteries du circuit.

Temps recommandé pour le premier remplissage du réservoir:

entre 6 h et 12 h.

Des paliers appropriés doivent être prévus pour assurer le séchage de l'air.

Un remplissage d'air automatique nécessite l'équipement supplémentaire suivant:

- un contact à flotteur dans le réservoir;
- un pressostat sur le réservoir;
- un module de commande du compresseur.

4.11.1.4 Pumps for accumulator systems

Two induction motor driven pumps are provided, each with a capacity sufficient to cover leakage losses with a safety margin of at least two.

In special cases (e.g. to provide a start-up capacity without external supply), the drive of a second pump can be by d.c. motor, a small turbine in high head plants or by a shaft-driven pump.

In some cases, a pump to handle leakage losses and normal regulation only may be selected in addition to the main pumps, or instead of the second large capacity pump.

4.11.1.5 Oil sump tanks

Recommended layout

- The sump tank shall be designed to allow drainage of the complete hydraulic system into the tank.
- It shall also be designed to allow a complete emptying for maintenance purposes and to remove dew-point water, e.g. by providing a slightly inclined bottom plate.

4.11.1.6 Auxiliary equipment

- Cooling and heating

Cooling of the system oil normally is required only for large and medium size units in tropical zones and in the case of Kaplan turbines with servo-oil distribution through a shaft bearing.

Cooling/heating can be desirable to limit oil viscosity variations.

- Oil mist exhaustion

All tanks shall be equipped with at least a vent with filter insert and oil trap.

Under unfavorable conditions (e.g. underground power stations with closed loop air conditioning systems), separate oil mist exhaust equipment is desirable.

4.11.1.7 Provision of gas pressure

- For pressure tank

The pressure air supply is usually provided by compressors. The design pressure of these shall be chosen to exceed the design pressure of the hydraulic system p_D . The capacity of the compressors must be sufficient to achieve the desired loading times taking into account the resistance of the piping arrangement of the system.

Recommended time for the first filling of the tank:

between 6 h and 12 h.

Appropriate steps shall to be taken to provide for a drying of the air.

An automatic air replenishing requires the following additional equipment:

- a float switch in the pressure tank;
- a pressure switch at the pressure tank;
- a compressor-control module.

- Pour les accumulateurs

Des bouteilles de gaz et un dispositif spécial recharge sont nécessaires.

4.11.2 Systèmes sans accumulateur

4.11.2.1 Systèmes à débit constant

Ces systèmes sont caractérisés par l'utilisation de pompes à déplacement constant. En régime établi, l'excès de débit est évacué au moyen d'une soupape régulatrice ou d'un by-pass.

Afin de réduire la consommation du système, plusieurs pompes de débits différents peuvent être utilisées, en particulier dans les systèmes développant un grand travail hydraulique.

Les pompes hydrauliques doivent être d'une puissance suffisante pour obtenir les temps d'ouverture et de fermeture de la turbine désirés, compte tenu des débits de fuite respectifs. Dans les cas où des accumulateurs supplémentaires sont fournis (systèmes combinés), il ne s'agit que du temps d'ouverture. Les pertes par dissipation doivent être compensées par une réfrigération.

4.11.2.2 Systèmes à débit variable

- Systèmes à circuit ouvert

Dans ces systèmes (figure 21), des pompes à déplacement variable sont utilisées. Le débit de la pompe est, dans ce cas, adapté au débit instantanément nécessaire au moyen d'une régulation de pression. De l'énergie de pompage est ainsi économisée en comparaison avec un système à débit constant. Les besoins de réfrigération sont également réduits. La capacité de la pompe est déterminée conformément à 4.11.1.4.

Un petit accumulateur est recommandé pour éviter des chutes de pression intermédiaires. Une soupape de sécurité doit être fournie.

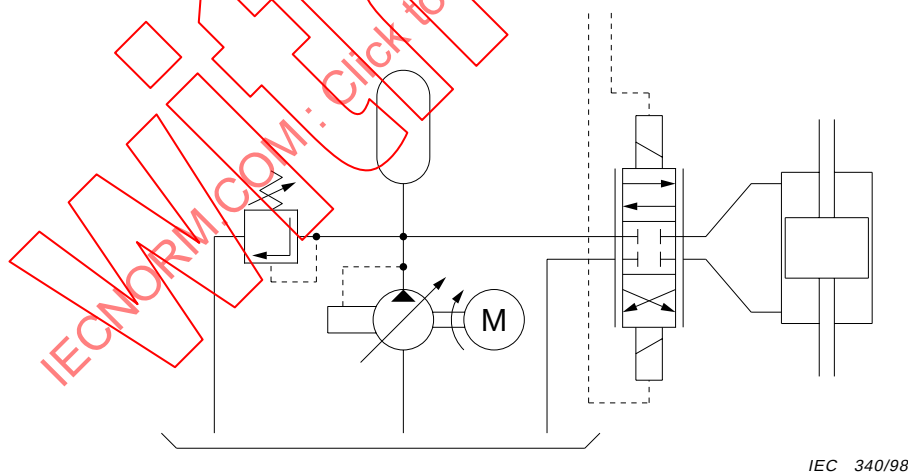


Figure 21 – Système à circuit ouvert

- Systèmes à circuit fermé

Ces systèmes sont caractérisés par le fait que le débit de la pompe et sa direction sont tous deux régulés. Pour cela, la pompe conjugue les fonctions de production et de distribution de l'énergie hydraulique. Un distributeur n'est pas nécessaire, la pompe étant directement commandée par le signal de positionnement du régulateur.

- For accumulators
Gas bottles and a special loading device are needed.

4.11.2 Systems without accumulator

4.11.2.1 Constant flow systems

These systems are characterized by the use of constant displacement pumps. In the steady-state condition, the excess flow is discharged via a pressure control valve or a bypass.

In order to reduce the system's consumption, several pumps of different capacities may be used, especially in the case of large capacity hydraulic systems.

The hydraulic pumps shall have enough capacity to achieve the desired turbine opening and closing times in the presence of the respective leakage rates. In case additional accumulators are provided (combined systems) only the opening time applies. The dissipation losses shall be handled by the cooling system.

4.11.2.2 Variable flow systems

- Open-circuit systems

In these systems (figure 21) variable displacement pumps are used. The pump discharge in this case is adapted to the momentary flow requirement by means of a pressure control. Pumping power is therefore saved in comparison with a constant flow system. Also, cooling requirements are reduced. The pump capacity is determined according to 4.11.1.4.

A small accumulator is recommended to avoid intermediate pressure drops. A safety valve shall be provided.

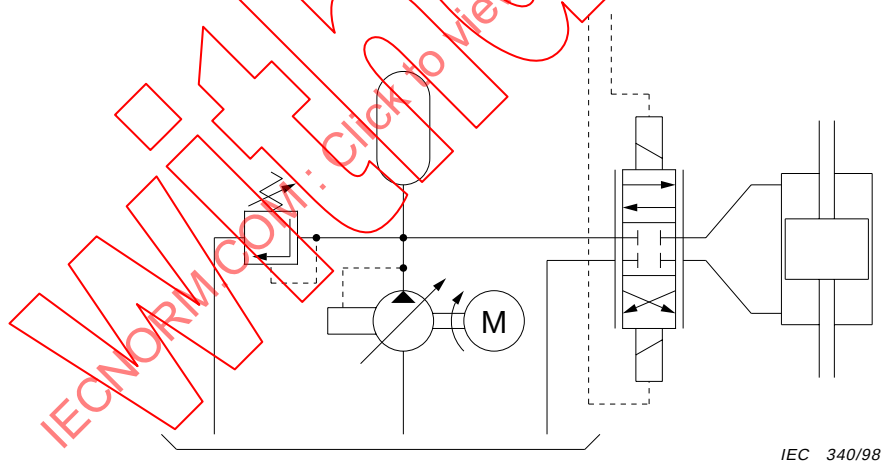


Figure 21 – Open-circuit system

- Closed-circuit systems

These systems are characterized by the fact that the pump flow and its direction are both controlled. The pump therefore combines the function of producing and distributing hydraulic energy. A control valve is not needed, as the pump is directly actuated by the governor's positioning signal.

Les deux chambres du servomoteur doivent être protégées par des soupapes de sécurité qui déchargeront, de préférence, dans la chambre opposée.

Pour couvrir les fuites internes et/ou pour réaliser des ajustements en cas de différences entre les sections, des moyens de remplissage par des valves de contrôle doivent être prévus.

Ces systèmes nécessitent une petite pompe supplémentaire à déplacement constant pour couvrir le besoin d'huile pilote.

4.11.3 Positionneur électrique direct

Pour des turbines de petite taille, des dispositifs de commande des aubes directrices entraînés par un servomoteur électrique sont parfois employés. La sécurité sur arrêt peut, dans ce cas, être assurée par un circuit parallèle de fermeture de la vanne d'admission et/ou par une source d'énergie indépendante.

4.11.4 Recommandation pour le choix du fluide hydraulique

On utilise quelquefois dans des turbines hydrauliques la même huile pour l'amplification hydraulique dans le régulateur et la lubrification des paliers principaux et auxiliaires de la machine.

Le choix de la viscosité de l'huile correspond au type et à la conception de la turbine, ainsi qu'aux températures régnant pendant le fonctionnement. Dans les cas normaux, une huile sans additifs est suffisante.

Concernant les spécifications, se reporter à l'ISO 3448.

4.12 Alimentation électrique des régulateurs électroniques

L'unité d'alimentation du régulateur doit être raccordée à la batterie à courant continu de la centrale ou à une batterie logée dans l'armoire du régulateur et à l'alimentation en courant alternatif de la centrale.

Une commutation automatique, en cas de chute de tension dans l'un des systèmes, est recommandée.

Plage courant continu: +10 % / –20 %¹⁾

Plage courant alternatif: +5 % / –10 %²⁾

Une surveillance des défauts est recommandée.

4.13 Transitions de fonctionnement

4.13.1 Démarrage et synchronisation

Durant la phase de démarrage, la courbe donnant la vitesse en fonction du temps est d'abord essentiellement déterminée par les caractéristiques de l'installation, telles que la constante d'accélération du groupe, la vitesse d'ouverture admissible du vannage ou de l'injecteur eu égard au coup de bélier, etc. Ensuite, lorsque la vitesse atteint environ 80 % de sa valeur nominale, la courbe de la vitesse en fonction du temps est principalement déterminée par le régulateur. Dans cette phase, son objectif est de faire en sorte que le groupe soit prêt pour la synchronisation en un temps acceptable. Cette durée permet de juger de la performance du régulateur pour cette fonction. La performance du synchroniseur n'entre pas en considération.

¹⁾ –15 % peut être spécifié par accord mutuel.

²⁾ Pour une alimentation directe à partir de l'alternateur, ces valeurs peuvent être plus élevées.

Both servomotor sides shall be protected by safety valves which should preferably discharge into the opposite servomotor side.

In order to cover internal leakages and/or to accommodate for servomotor area differences, means of replenishment via check valves shall be provided.

These systems additionally require a small constant displacement pump to cover the need for pilot oil pressure.

4.11.3 Direct electric positioner

For small size turbines, wicket gate operating systems driven by an electric servomotor are sometimes applied. Shut-down safety can in this case be provided by a parallel inlet valve closing circuit and/or by a separate power source.

4.11.4 Recommendation for hydraulic fluid selection

In water turbine installations, the same oil is sometimes used for both the hydraulic amplification in the governor systems and the lubrication of main and auxiliary machinery bearings.

The oil viscosity is selected to suit the type and design of the turbine and also the prevailing operating temperatures. In normal cases an oil without additives is sufficient.

Concerning specifications, refer to ISO 3448.

4.12 Power supply for electronic control systems

The power package of the governor is to be connected to the station d.c. battery or an internal battery pack and to the station a.c. supply.

An automatic change-over in the case of a voltage drop in either system is recommended.

DC range: +10 % / -20 %¹⁾

AC range: +5 % / -10 %²⁾

Fault monitoring is recommended.

4.13 Operational transitions

4.13.1 Start-up and synchronization

During the start-up phase, the speed versus time curve is at first mainly determined by the characteristics of the installation such as the unit acceleration constant, the allowable gate or nozzle opening rate with regard to waterhammer, etc. Later, when approximately 80 % of rated speed is reached, the governor mainly determines the speed versus time curve. In this phase, its objective is to reach synchronization readiness within an acceptable time span. This time span may be considered to gauge a governor's performance in this function. The performance of the synchronizer is not included in this consideration.

¹⁾ -15 % can be specified by mutual agreement.

²⁾ For direct supply from the generator, these values may be higher.

NOTE 1 – Le groupe est prêt pour la synchronisation quand le taux de variation de la vitesse dx/dt ne dépasse pas une valeur donnée, à l'intérieur de la bande de synchronisation.

NOTE 2 – $t_{0,8}$ est le temps au bout duquel la vitesse atteint 80 % de sa valeur nominale.

NOTE 3 – t_{SR} est le temps au bout duquel le groupe est prêt pour la synchronisation.

NOTE 4 – t_S est le temps au bout duquel le groupe est couplé au réseau.

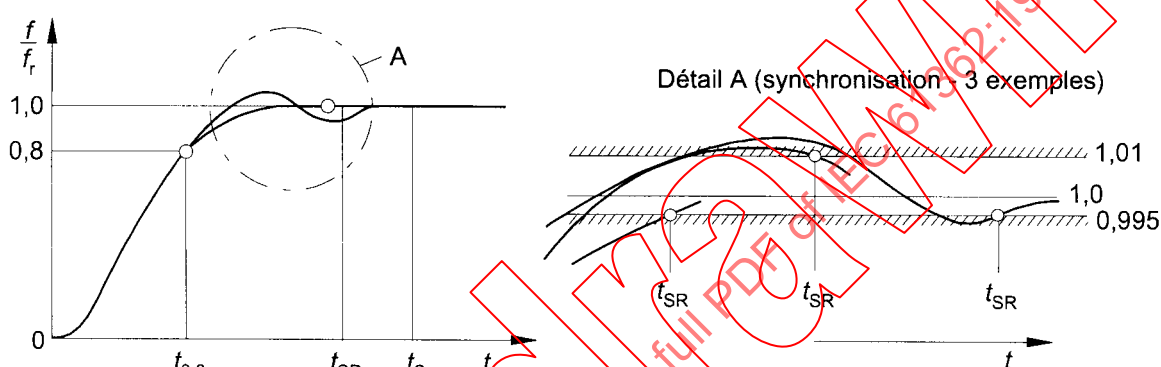
NOTE 5 – Valeurs recommandées:

Bande de synchronisation (de 0,995 à 1,01) $f_{réseau}$

Taux de variation de la vitesse pour la synchronisation $dx/dt = 0,003 \text{ s}^{-1}$

$t_S / t_{0,8} = 1,5 \text{ à } 5,0$

Les faibles valeurs s'appliquent aux centrales de puissance de pointe ayant des conditions hydrauliques favorables, la plus haute aux centrales de base. En présence d'influences prononcées d'une cheminée d'équilibre et/ou d'autres phénomènes hydrauliques oscillatoires, des valeurs plus élevées sont tolérées.



IEC 341/98

Figure 22 – Courbe de la vitesse au démarrage, jusqu'à la synchronisation

4.13.2 Décharge brusque

L'élévation de la vitesse consécutive à une décharge totale brusque dépend de l'installation (par exemple du temps de fermeture admissible eu égard au coup de bélier et du temps caractéristique de l'inertie mécanique du groupe T_a , etc.) jusqu'au début de la phase de stabilisation. A partir de ce moment, les performances du régulateur déterminent la courbe de la vitesse en fonction du temps¹⁾.

NOTE 1 – Temps de réglage t_E : temps au bout duquel l'écart de vitesse par rapport à la vitesse de la marche à vide reste inférieur à $\pm 1 \%$.

NOTE 2 – Vitesse maximale n_{max} : vitesse maximale après une décharge (à t_M).

NOTE 3 – Vitesse minimale n_{min} : vitesse la plus basse après une décharge.

NOTE 4 – Valeurs recommandées: $t_E/t_M = 2,5 \text{ à } 4$ (10) (la valeur entre parenthèses peut s'appliquer aux groupes Pelton (ralentissement libre du groupe) et aux turbines Francis de haute chute).

$n_{min}/n_r = 0,85 \text{ à } 0,95$ (ne s'applique que dans le cas où le groupe alimente les auxiliaires de la centrale après séparation du réseau).

¹⁾ Ce n'est que pour les turbines de faible vitesse spécifique que les caractéristiques de débit et de couple peuvent exercer une influence importante.

NOTE 1 – Synchronization readiness is achieved, when the speed change rate dx/dt does not exceed a given value within the synchronization band.

NOTE 2 – $t_{0,8}$ is the time at which 80 % of rated speed is reached.

NOTE 3 – t_{SR} is the time at which synchronization readiness is reached.

NOTE 4 – t_S is the time at which the generator is switched on line.

NOTE 5 – Recommended values:

Synchronization band (0,995 to 1,01) f_{network}

Speed change rate for synchronization $dx/dt = 0,003 \text{ s}^{-1}$

$t_S/t_{0,8} = 1,5 \text{ to } 5,0$

Steady state of network frequency is presupposed. The lower values apply to peak load power stations with favourable hydraulic conditions, the higher to base load installations. In the presence of pronounced surge tank influences and/or other hydraulic oscillatory phenomena, higher values are tolerated.

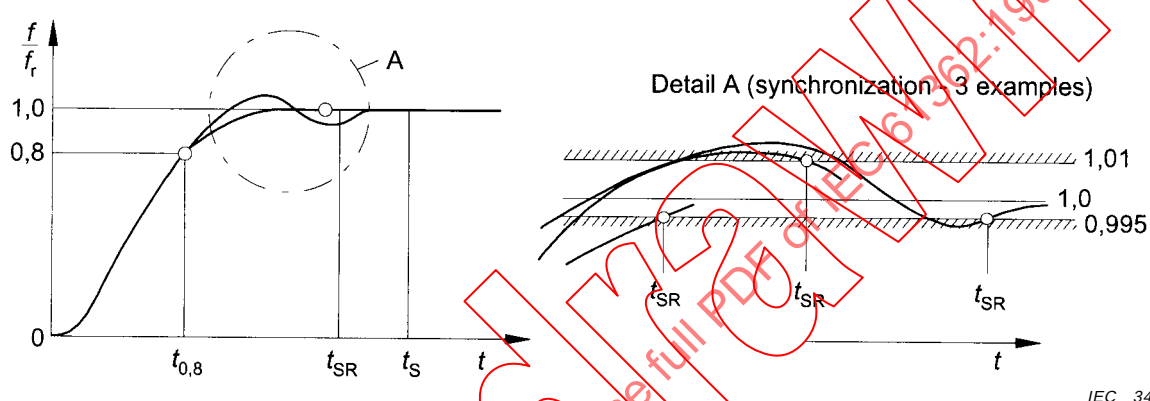


Figure 22 – Start-up speed curve up to synchronization

4.13.2 Sudden load rejection

The speed rise following a full load rejection depends on the installation (e.g. on the allowable closing time with regard to the waterhammer and on the unit acceleration constant T_a etc.) up to the beginning of the settling phase. From that time on, the governor's performance determines the speed vs. time curve¹⁾.

NOTE 1 – Regulating time t_E : time, after which the speed deviation from the idling speed remains below $\pm 1 \%$.

NOTE 2 – Maximum speed n_{max} : maximum speed after a load rejection (at t_M).

NOTE 3 – Minimal speed n_{min} : lowest speed after a load rejection.

NOTE 4 – Recommended values: $t_E/t_M = 2,5 \text{ to } 4$ (in case of Pelton-units (free slow-down of unit) and high head, Francis turbines values of up to 15 may be reached).

$n_{\text{min}}/n_r = 0,85 \text{ to } 0,95$ (applies only in the case when the unit supplies the station service network after separation from the grid).

¹⁾ Only in the case of low specific speed turbines, the discharge and torque characteristics may be of considerable influence.

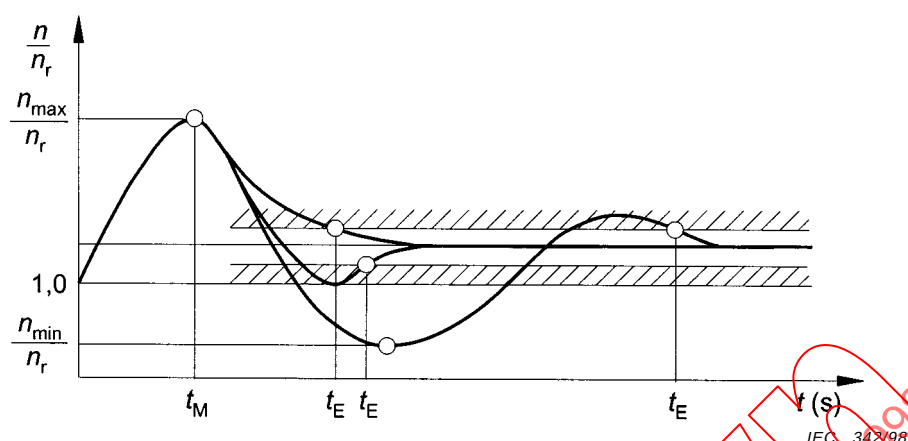


Figure 23 – Décharge

4.13.3 Autres transitions de fonctionnement

Diverses autres transitions de fonctionnement existent lorsqu'il y a d'autres modes de fonctionnement en plus du mode turbine. Les différents temps des transitions doivent faire l'objet d'un accord.

4.14 Dispositifs/circuits de sécurité

4.14.1 Arrêt rapide

– Définition

Ce dispositif/circuit arrête le groupe avec le plus petit temps de fermeture du servomoteur en cas de défauts apparus sur le groupe, en imposant un signal de fermeture au régulateur. Le régulateur est supposé être encore *en service*.

– Réalisation

Le dispositif/circuit électronique, électrique, électromécanique ou électro-hydraulique est conçu pour produire un déplacement immédiat et total du tiroir de distribution principal vers sa position de fermeture.

– Critères d'arrêt

Défauts électriques ou mécaniques du groupe. Dans le cas d'un défaut mécanique, l'ouverture du disjoncteur de groupe est souvent retardée de façon à éviter les survitesses.

4.14.2 Arrêt d'urgence

– Définition

Ce dispositif/circuit arrête le groupe avec le temps de fermeture du servomoteur le plus court dans le cas de défauts apparus sur le groupe en supplantant le régulateur et aussi, en général, d'autres éléments du système de régulation. Dans ce cas, le régulateur et/ou le détecteur de vitesse sont supposés *hors service*.

– Réalisation

Ce dispositif électromécanique ou électro-hydraulique ferme le servomoteur principal en ne passant pas par le régulateur. Le début de la fermeture de la vanne sphérique, de la vanne papillon ou d'une vanne (le cas échéant) intervient simultanément.

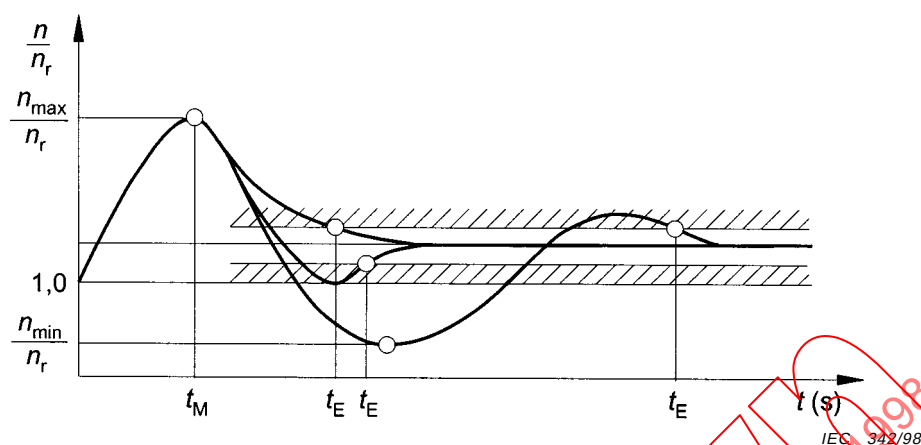


Figure 23 – Load rejection

4.13.3 Other operational transitions

Various additional operational transitions result in case there are other operational modes provided besides the turbine mode. The different transition times shall be agreed upon.

4.14 Safety devices/circuits

4.14.1 Rapid shut-down

– Definition

This device/circuit shuts the unit down within the shortest servomotor closing time in the case of faults in the unit by imposing a closing signal on the governor. The governor is assumed to be still operative in this case.

– Implementation

The electronic, electrical, electromechanical or electrohydraulic device/circuit is designed to provide an immediate and full displacement of the main control valve spool into its closing position.

– Tripping criteria

Faults in the unit's electric or mechanical system. In the case of a mechanical fault the tripping of the generator power switch is often delayed in order to avoid speed increases.

4.14.2 Emergency shut-down

– Definition

This device/circuit shuts the unit down within the shortest servomotor closing time in the case of faults in the unit by overriding the governor and usually also some other elements of the control system. The governor and/or speed sensor are assumed to be *inoperative* in this case.

– Implementation

This electro-mechanical or electro-hydraulic device closes the main servomotor by bypassing the governor. At the same time the closure of the spherical valve, the butterfly valve or gate (if applicable) is initiated.

Alimentation en énergie pour l'arrêt d'urgence au moyen de:

- un volume d'huile supplémentaire dans le dispositif fournissant l'énergie hydraulique;
- une alimentation séparée d'huile sous pression;
- un contrepoids de fermeture;
- un servomoteur à eau sous pression (par exemple pour un déflecteur dans le cas d'installations de haute chute).

Critères d'arrêt:

- survitesse du groupe due à un défaut du régulateur ou à une partie du système de régulation;
- chute de la pression au-dessous de la pression d'arrêt p_T ;
- certains cas particuliers de danger dans la centrale.

4.14.3 Dispositif de protection contre la survitesse

Les dispositions suivantes sont utilisées:

- contacts électriques de vitesse d'un système de mesure intégré au régulateur et surveillé par ce dernier;
- contacts électriques de vitesse d'un système de mesure indépendant du régulateur;
- contacts électriques de vitesse fermés par un pendule mécanique de sécurité;
- dispositif hydraulique d'arrêt directement activé par un pendule mécanique de sécurité.

4.14.4 Verrouillages

- Verrouillages électriques et/ou hydrauliques entre le régulateur et la principale vanne d'arrêt pour éviter les modes de commande erronés ou les conditions dangereuses.
- Verrouillages mécaniques et/ou hydrauliques du vannage pour éviter une éventuelle réouverture après un arrêt rapide ou d'urgence.
- Verrouillage électrique entre injecteur et injecteur (à contrejet) de freinage.

4.15 Equipement supplémentaire

4.15.1 Mesures pour la réduction des variations de pression

A cette fin, un by-pass peut être installé en parallèle à la turbine, celui-ci est ouvert pour une durée limitée en fonction de la course et de la vitesse de fermeture de l'organe de réglage principal.

De tels dispositifs peuvent être utilisés dans des cas spéciaux pour maintenir un débit constant (par exemple une dérivation pour alimenter un réseau d'irrigation)

Des mesures supplémentaires doivent être prises pour parer à une défaillance d'un tel équipement supplémentaire, par exemple un couplage volumétrique entre le vannage et l'équipement supplémentaire, ou la prolongation du temps de fermeture du servomoteur principal en cas de panne de l'équipement supplémentaire.

La commande de ce dispositif supplémentaire et sa sensibilité doivent être décrites et adaptées aux exigences de fonctionnement.

Provision of emergency shut-down energy through:

- an additional oil volume in the hydraulic energy supply system;
- a separate pressure oil supply;
- closing weight;
- pressure water servomotor (e.g., for the deflector in the case of high head installations).

Tripping criteria:

- overspeed of the unit due to failure of the governor or a section of the governing system;
- pressure drop below the tripping level, p_T ;
- certain special conditions of danger within the power station.

4.14.3 Overspeed protection device

The following types are used:

- electrical speed contacts of a measuring system integrated with and monitored by the governor;
- electrical speed contacts of a measuring system independent of the governor;
- electrical speed contacts closed by a mechanical safety pendulum;
- oil hydraulic tripping device directly activated by mechanical safety pendulum.

4.14.4 Interlocks

- Electrical and/or hydraulic interlocks between the governing system and the main shut-off valve/gate to avoid erroneous control modes or dangerous conditions.
- Mechanical and/or hydraulic interlocks of the guide vanes to protect against possible re-opening after rapid or emergency shut-downs.
- Electrical interlock between nozzle and braking (counter) nozzle.

4.15 Supplementary equipment

4.15.1 Measures to reduce pressure variations

To this effect, a bypass may be provided parallel to the turbine, which opens for a limited time span as a function of the closing movement and the closing speed of the main actuator.

In special cases, such devices may be used to maintain stationary flow (e.g., bypass cross connection to an irrigation scheme).

Additional measures shall be taken to guard against failure of such supplementary equipment, e.g., volumetric coupling between guide vanes and the supplementary equipment or provision for an extended closing time of the main servomotor in the case of a failure of the supplementary equipment.

The control of the supplementary equipment and its sensitivity shall be described and in accordance with the operational requirements.

4.15.2 Contrôle des intumescences (marche en déchargeur)

Un système de contrôle des intumescences est fourni pour les installations de basse chute équipées de turbines axiales. Son rôle est de limiter les intumescences se propageant dans les rivières consécutivement à une décharge en faisant en sorte qu'un débit continu s'écoule à travers la turbine. A cette fin, l'ouverture des pales de roue est amenée à une certaine position permettant un débit donné après un déclenchement. Le régulateur de vitesse continue généralement dans un tel cas à agir sur les aubes directrices.

Les facteurs suivants sont importants:

- critères d'arrêt (chute de puissance ou écart de fréquence dus à un défaut sur le réseau);
- la limite inférieure de débit, au-dessus de laquelle l'équipement entre en fonction;
- l'écart de débit admissible lorsque le système est en fonction;
- limites en chute et débit;
- durée pendant laquelle le système est en fonction;
- vitesse de la turbine;
- alimentation des auxiliaires de la centrale.

4.15.3 Equipement et mesures pour la réduction de la survitesse

Dans les cas défavorables, tels que les cas où les moments d'inertie sont faibles et les cas où la surpression admissible dans les installations comportants de longues conduites est faible, des mesures visant à réduire la survitesse survenant après un déclenchement peuvent être nécessaires. Les dispositions suivantes peuvent être prévues à cet effet:

- un by-pass (conformément à 4.15.1);
- un réglage de l'ouverture des pales de roue (conformément à 4.15.2);
- des résistances absorbant l'excès de puissance (également utilisées pour la régulation de vitesse dans de petites installations hydro-électriques).

4.15.4 Régulation centralisée du débit dans les systèmes comportant plusieurs centrales au fil de l'eau

Le signal d'entrée, fixé manuellement ou automatiquement par un poste de commande centralisé, agit sur le consigneur de vitesse du régulateur ou sur le positionneur dans le cas où les groupes ont un alternateur asynchrone. L'ouverture du vannage ou l'ouverture des pales de roue est utilisée comme signal de retour d'asservissement proportionnel au débit.

La régulation centralisée du débit a pour but de fournir un débit donné en fonction du temps pour plusieurs centrales disposées en cascade le long d'une rivière.

Les prescriptions suivantes s'appliquent:

- démarrage et synchronisation rapides;
- adaptation aux chutes variables;
- possibilité d'activer des temps d'action de limiteurs d'ouverture différents.

4.15.5 Freins

Les freins sont utilisés pour réduire la durée du ralentissement du groupe pendant son processus d'arrêt.

Bien que les freins électriques ou mécaniques ne soient généralement pas considérés comme faisant partie des régulateurs, les commandes des moyens hydrauliques de freinage sont

4.15.2 Surge control

Surge control may be provided in low head installations with axial turbines. Its aim is to limit surge in rivers in the case of a load rejection by arranging for a continued flow through the turbine. For this purpose, the runner opening is brought to a certain position to provide a given flow rate after load rejection. The speed governor usually still acts on the guide vanes in such a case.

The following factors are of importance:

- tripping criteria (power drop or frequency deviation due to network failure);
- the lower flow rate limit, above which the equipment is activated;
- the allowable flow rate variation with the system activated;
- limits in head and flow rate;
- time span during which the system is activated;
- turbine speed;
- station service system supply.

4.15.3 Equipment and measures to lower the speed rise

In unfavorable cases such as in the case of low moments of inertia or a low allowable pressure rise in installations with long conduits, measures to reduce speed rise after load rejection may be necessary. The following may be introduced to this effect:

- bypass (according to 4.15.1);
- runner opening control (according to 4.15.2);
- resistors to absorb excess power (also for speed control in small hydro installations).

4.15.4 Central flow rate control in river power station systems

The input signal set manually or automatically through a central control station acts upon the speed setter of the governor or the positioner in the case of units with induction generators. The gate opening or the runner opening are used as a flow rate proportional feedback signal.

Central flow rate control aims at providing a given flow rate versus time function for a system of several cascade power stations along a river.

The following requirements apply:

- rapid start-up and synchronization;
- adaptation to varying heads;
- possibility to activate different opening limiter times.

4.15.5 Brakes

Brakes are used to shorten the slowdown time of the unit in the shut-down process.

While electric and mechanical brakes are usually not regarded as part of the control system the controls of hydraulic braking means are

- l'augmentation de l'ouverture des pales de roue dans le cas des turbines Kaplan les plus rapides;
- des injecteurs (à contrejet) de freinage supplémentaires agissant sur l'extrados des augets dans le cas des turbines Pelton.

4.15.6 Fonctionnement en compensateur synchrone

En fonctionnement en compensateur synchrone, il y a production de puissance réactive. Le générateur est synchronisé. Généralement, le vannage est fermé et la roue tourne dans l'air ou la turbine est désaccouplée.

4.16 Adaptation à l'environnement des composants des régulateurs

4.16.1 Résistance aux vibrations

Les transducteurs montés sur les turbines sont souvent soumis à des vibrations de niveaux considérables. Ils doivent résister à de telles conditions d'environnement en toute sécurité.

Les détecteurs de course montés sur le couvercle ou sur un servomoteur de vannage (transducteurs ou transmetteurs) doivent supporter les contraintes vibratoires suivantes, sans résonance pour les gammes de fréquences correspondantes et sans que la fonction du composant ne soit altérée:

- accélération maximale 20 *g*
avec $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ au niveau de la mer, correspondant à une amplitude crête à crête
de 1,6 mm à 25 Hz
0,4 mm à 50 Hz
0,1 mm à 100 Hz
- ou satisfaire à la CEI 60068-2-6

Les contraintes dues aux vibrations dépendent du type de turbine et de la localisation du composant; ces exigences peuvent être réduites pour des cas particuliers.

4.16.2 Température et humidité

Spécifications

Le matériel de régulation doit résister, sans altération de la fonction des composants, aux conditions ambiantes suivantes:

- plage de températures: +5 °C à +40 °C;
- humidité relative: 85 % à 40 °C.

La plage effective de températures et l'humidité relative doivent être définies pour chaque cas. Le point de rosée ne doit pas être atteint. Si nécessaire, des mesures spéciales sont à prendre (chauffage, conditionnement d'air).

4.17 Compatibilité électromagnétique

Les régulateurs électroniques utilisant des signaux de bas niveau peuvent être sensibles aux perturbations électromagnétiques, telles que des perturbations par conduction électrique, électrostatique ou par rayonnement électromagnétique. Pour éviter un endommagement et/ou des problèmes de fonctionnement, des exigences en matière de compatibilité électromagnétique (CEM) et des essais types appropriés peuvent être prescrits. Les essais d'immunité applicables peuvent être trouvés dans la CEI 61000-4-1. Pour l'émission, les références sont la CEI 61000-3-2, la CEI 61000-3-3 et le CISPR 11.

- in the case of Kaplan turbine, in the upper speed range by increasing the runner opening;
- in the case of Pelton turbines, by additional braking (counter) nozzles, which act on the back of the buckets.

4.15.6 Condenser mode of operation

In the phase shifting mode, reactive power is produced. The generator is synchronized. Normally the guide vanes are closed and the runner rotates in air or the turbine is uncoupled.

4.16 Environmental suitability of governor components

4.16.1 Vibratory resistance

Turbine-mounted transducers are often subjected to considerable levels of vibration and shall withstand such environmental conditions safely.

Head-cover or gate servomotor-mounted stroke sensors (transducers and transmitters) must withstand the following vibrational load without resonances in the relevant frequency range and without impairing the component function:

- max. acceleration $20 g$
with $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ corresponding to double amplitude
of 1,6 mm at 25 Hz;
0,4 mm at 50 Hz;
0,1 mm at 100 Hz;
- or comply with IEC 60068-2-6.

As the imposed vibratory load depends on the type of turbine and on the location of the component, these requirements may be reduced in special cases.

4.16.2 Temperature and humidity

Specifications

Control equipment shall withstand, without impairing the component function, the following ambient conditions:

- temperature range: +5 °C to +40 °C;
- relative humidity: 85 % at 40 °C.

The actual range of temperature and relative humidity is to be agreed upon in each case. The dew-point shall not be reached. If necessary, special measures shall be taken (heating, air conditioning).

4.17 Electromagnetic compatibility

Electronic governors using low-level signals may be sensitive to electromagnetic disturbances such as conducted electric, electrostatic and radiated electromagnetic disturbances. In order to avoid damage and/or operational problems, electromagnetic compatibility (EMC) requirements and appropriate type-tests may be prescribed. Relevant immunity tests can be found in the IEC 61000-4-1. For the emission, the references are IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-3 and CISPR 11.

Pour les composants des régulateurs hydrauliques, il est recommandé de pratiquer les tests suivants: essais diélectriques et d'isolement, ondes oscillatoires amorties, onde de choc 1,2/50 μ s et décharge électrostatique. Il est alors recommandé d'appliquer le degré de sévérité «3».

5 Comment appliquer les recommandations

Pour les applications pratiques, un choix approprié des exigences et des propriétés mentionnées aux articles 3 et 4 doit être fait en fonction du type de l'installation concernée.

Pour cela, il est nécessaire de distinguer entre

- les centrales de puissance de point;
- les centrales de puissance de base;
- les centrales à alternateur asynchrone.

Dans les cas simples, des exigences inutilement sévères ne doivent pas être imposées. Pour cette raison, pour chacun des trois types d'installation mentionnés, deux types de prescriptions peuvent être distingués:

- les prescriptions minimales;
- les prescriptions supplémentaires.

Les prescriptions minimales doivent être satisfaites dans tous les cas. Elles sont normalement suffisantes dans le cas de centrales qui doivent être exploitées avec une surveillance et une automatisation limitée. Des prescriptions supplémentaires peuvent par exemple résulter de l'intégration de la centrale à un réseau ou à un ensemble de centrales. Elles peuvent également résulter de contraintes liées à la navigation, etc.

Pour chaque catégorie de centrale, il convient aussi de donner des recommandations pour le réglage des paramètres des régulateurs.

Pour faciliter la rédaction des spécifications, les formulaires de données suivants ont été établis, lesquels doivent être remplis. Les données qui doivent avoir été rassemblées soit par l'acheteur, soit par le fournisseur pendant la phase de l'appel d'offres sont signalées par deux lignes verticales en marge gauche. Toutes les autres données ne sont nécessaires que pendant la négociation du contrat ou au cours de son exécution.

For hydro control system components it is recommended to conduct the following tests: dielectric and isolation, damped oscillatory wave, 1,2/50 μ s surges and electrostatic discharge. Thereby the severity level "3" is recommended.

5 How to apply the recommendations

For practical purposes an appropriate selection of the requirements and properties as listed in clauses 3 and 4 shall be made with respect to the type of installation concerned.

Thereby, it is necessary to distinguish between

- peak-load power stations;
- base-load power stations;
- power stations with induction generators.

In simple straightforward cases, unnecessarily stringent requirements shall not be imposed. Therefore in each of the three types of installation mentioned two kinds of requirements can be distinguished:

- minimum requirements;
- additional requirements.

Minimum requirements shall be fulfilled in all cases. They are normally sufficient in the case of power stations, which are to be run with a limited amount of monitoring and automation. Additional requirements may for example result from the integration of a power station into a network or a group of power stations. They may also result from requirements of navigation, etc.

For each category of power station, recommendations should also be given for the parameter setting of the governors.

To facilitate the setting up of specifications, the following data sheets have been devised which shall be filled out. Data which should have been collected either by the purchaser or the supplier already during the enquiry phase are marked by double vertical lines at the left-hand side of the pages. All other data are needed only during contract finalization or in the course of contract implementation.

Régulateur de turbine hydraulique		Formulaire n° 6.1a
Acheteur:	Fournisseur:	Aménagement:
Date:		

Données sur l'aménagement

Type de turbine								
Nombre de groupes								
		Nominal	Maximum	Minimum				
Energie hydraulique massique E/chute nette	H			$m^2 \cdot s^{-2}/m$				
Débit par groupe	Q			$m^3 \cdot s^{-1}$				
Puissance par groupe	P			MW				
Vitesse de rotation	n			$tr \cdot min^{-1}$				
Niveau d'eau amont				m + NN ¹⁾				
Niveau d'eau aval				m + NN ¹⁾				
Régulation simple/régulation double ²⁾		<table border="1"> <tr> <td>Pales de roue</td> <td>Vannage</td> </tr> <tr> <td>Injecteur</td> <td>Défecteur</td> </tr> </table>			Pales de roue	Vannage	Injecteur	Défecteur
Pales de roue	Vannage							
Injecteur	Défecteur							
Servomoteurs individuels, vannage/injecteur		Nombre						

Ouvrages hydrauliques³⁾

Amont	Canal		Conduite		²⁾
Longueurs dans le cas de conduites					m
					m ²
Aval	Canal		Conduite		²⁾
Longueurs dans le cas de conduites					m
					m ²
Autres données (par exemple concernant les répartiteurs, cheminées d'équilibre, etc.)					
Pression maximale admissible					m + NN ¹⁾
Pression minimale admissible					m + NN ¹⁾
Mesurée au point					
Autres limitations (par exemple intumescences, pression négative, etc.)					

¹⁾ Au-dessus du niveau de la mer.

²⁾ Rayer les mentions inutiles.

³⁾ Les données peuvent être complétées par des plans.

Water turbine control system		Data page No. 6.1a
Customer:	Supplier:	Installation:
Date:		

Installation data

Type of turbine					
Number of units					
		Rated	Maximum	Minimum	
SHE/head (net)	H				$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}/\text{m}$
Discharge per unit	Q				$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Power per unit	P				MW
Rotation speed	n				$\text{rev} \cdot \text{min}^{-1}$
Head water elevation					m + NN ¹⁾
Tail water elevation					m + NN ¹⁾
Single control/dual control ²⁾		Runner	Gate		
		Nozzle	Deflector		
Individual servomotors, guide vane/nozzle		Number			

Water passage system³⁾

Head water side		Channel		Conduit			²⁾
Length in case of conduits						m	
						m ²	
Tailwater side		Channel		Conduit			²⁾
Length in case of conduits						m	
						m ²	
Other data (e.g. about distributors, surge tanks, etc.)							
Maximum permissible pressure						m + NN	¹⁾
Minimum permissible pressure						m + NN	¹⁾
Measured at point							
Other limitations (e.g. surge, negative pressure, etc.)							

¹⁾ Above sea level.²⁾ Cross out if not applicable.³⁾ Data may be supplemented by drawings.

Régulateur de turbine hydraulique		Formulaire n° 6.1b
Acheteur:	Fournisseur:	Aménagement:

Moment d'inertie de l'alternateur $I = MD^2/4$					kg · m ²
Moment d'inertie de la turbine et des autres masses tournantes					kg · m ²
Survitesse admissible rapportée à la vitesse nominale pour des déclenchements de					
100 P/P _r				100	%
100 Δn/n _r					%
Baisse admissible de la vitesse rapportée à la vitesse nominale pour des déclenchements de					
100 P/P _r					%
100 Δn/n _r					%
Mode de fonctionnement			Réseau isolé	Réseau interconnecté ¹⁾	
Fonctionnement sur réseau interconnecté			Fréquence nominale	Hz	
Bande de fréquence				+/-	Hz
Réseau isolé				MW	
Fonctionnement en réseau isolé jusqu'à				MW	
Plus grand échelon de puissance				+	-
Variation admissible de la vitesse 100 Δn/n _r				+	-
Type de charge (par exemple prédominance de résistances, moteurs, charges combinées, etc.)					
Energie de manoeuvre	Vannage			Nm	
	Directrice commandée individuellement	Injecteur		Nm ¹⁾	
	Pales de roue	Défecteur		Nm ¹⁾	
Autres données					

Limites de fourniture

¹⁾ Rayer les mentions inutiles.