

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Guidelines for commissioning and operation of hydraulic turbines,
pump-turbines and storage pumps**

**Lignes directrices pour la mise en service et l'exploitation des turbines
hydrauliques, des pompes-turbines et des pompes d'accumulation**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60545:2021



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2021 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

IEC online collection - oc.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 18 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

IEC online collection - oc.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Guidelines for commissioning and operation of hydraulic turbines,
pump-turbines and storage pumps**

**Lignes directrices pour la mise en service et l'exploitation des turbines
hydrauliques, des pompes-turbines et des pompes d'accumulation**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 23.100.10

ISBN 978-2-8322-9923-4

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
3.1 Machine and equipment.....	7
3.2 Tests, periods, operating modes	9
4 Information on operating conditions	11
4.1 General.....	11
4.2 Documents, data and instructions	11
4.3 Final stage of erection, before commissioning.....	13
5 Commissioning	13
5.1 General.....	13
5.1.1 Overview	13
5.1.2 Commissioning period	14
5.1.3 Operating conditions during commissioning	14
5.1.4 Measurements during commissioning	14
5.1.5 Grid and hydraulic conditions.....	15
5.1.6 Pre-conditions for commissioning	15
5.1.7 Health and safety during the commissioning	16
5.2 Commissioning co-ordinator and organisation	16
5.3 Pre-start tests	17
5.3.1 General	17
5.3.2 Prior to filling waterways.....	17
5.3.3 Filling waterways	18
5.3.4 Prior to filling machine.....	18
5.3.5 Filling machine	19
5.3.6 Using the machine as a pump for initial filling of the penstock.....	20
5.4 Initial run	20
5.5 Test operation period	21
5.5.1 General	21
5.5.2 No-load tests	21
5.5.3 First synchronizing	23
5.5.4 Load rejection and load run	23
5.5.5 Additional tests for adjustable (variable) speed hydraulic machinery in combination with a double fed generator/motor-generator.....	27
5.5.6 Operation modes and mode changes	28
5.5.7 Control modes	29
5.5.8 Operation modes with particular functions	29
5.5.9 Field tests for runaway speed	30
5.5.10 Other tests.....	30
5.6 End of commissioning	30
6 Operation	31
6.1 General.....	31
6.2 Test service period	31
6.2.1 General	31
6.2.2 Responsibilities	31
6.2.3 Outages and interruptions.....	31

6.2.4	Observations and records	31
6.2.5	End of test service period	32
6.3	Commercial service	32
6.3.1	Guarantee period	32
6.3.2	Post guarantee period	34
6.3.3	Special operating conditions	34
Annex A (informative) Description of different modes of operation of a reversible pump-turbine		39
A.1	General	39
A.2	From standstill (ready to operate) to standstill (auxiliary systems in operation) (01 and 10)	39
A.3	From standstill (auxiliary systems in operation) to no-load (synchronized) (12)	39
A.4	From no-load (synchronized) to standstill (21)	39
A.5	From no-load to turbine operation (23)	40
A.6	From turbine operation to no-load (synchronized) (32)	40
A.7	From no-load to synchronous condenser operation (turbine direction) (24)	40
A.8	From synchronous condenser operation (turbine direction) to no-load (42)	41
A.9	From synchronous condenser operation (turbine direction) to turbine operation (43:= 42 and 23)	41
A.10	From turbine operation to synchronous condenser operation (turbine direction) (34:= 32 and 24)	41
A.11	From standstill (auxiliary systems in operation) to synchronous condenser operation (turbine direction) 14 or (12 and 24)	41
A.12	From synchronous condenser operation (turbine direction) to standstill (41)	41
A.13	From standstill (auxiliary system in operation) to SCO (pump direction) (15)	42
A.14	From synchronous condenser operation (pump direction) to pump operation (56)	42
A.15	From pump operation to synchronous condenser operation (pump direction) (65)	42
A.16	From synchronous condenser operation (pump direction) to standstill (51)	42
A.17	From operation (pump direction) to standstill (61)	42
A.18	From standstill to pump operation (16)	42
A.19	From turbine – full load to pump operation (36)	43
A.20	From pump operation to turbine full load – quick change over (63)	43
A.21	Hydraulic short circuit	43
Annex B (informative) Tests for adjustable (variable) speed hydraulic machinery in combination with a double fed generator/motor-generator		44
B.1	Operating zone and test condition	44
B.1.1	General	44
B.1.2	Pumping operation	44
B.1.3	Generation operation	44
B.1.4	Test conditions	45
B.2	Test items	45
B.2.1	Step response test by power setter	45
B.2.2	Guide vane opening vs. power characteristic measurement in pump and turbine operation	45
B.2.3	Confirmation of preventive control of the speed deviation from the defined speed range	46
B.2.4	Load (input/output) rejection test	46
Annex C (informative) Commissioning program		47
Bibliography		48

Figure 1 – Commissioning procedure	14
Figure 2 – Example of organisation chart for commissioning	17
Figure 3 – Modes of operation of a reversible pump-turbine	29
Figure B.1 – Pumping operation zone	44
Figure B.2 – Generation operation zone	45
Table C.1 – Example for a commissioning procedure programme	47

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60545:2021

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**GUIDELINES FOR COMMISSIONING AND OPERATION OF HYDRAULIC
TURBINES, PUMP-TURBINES AND STORAGE PUMPS****FOREWORD**

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

International Standard IEC 60545 has been prepared by IEC technical committee 4: Hydraulic turbines.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1976 and the first edition of IEC 60805 published in 1985. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) the focus is on the commissioning and operation of the hydraulic machine. Interfaces to the electric machine are mentioned only for a better understanding of the context;
- b) the definitions of tests for commissioning and adjustable speed are updated to state of the art;
- c) the record sheets 'measurements during erection' are excluded (see IEC 63132 (all parts));
- d) the maintenance is excluded (see IEC 62256).

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
4/407/FDIS	4/420/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

GUIDELINES FOR COMMISSIONING AND OPERATION OF HYDRAULIC TURBINES, PUMP-TURBINES AND STORAGE PUMPS

1 Scope

The purpose of this document is to establish, in a general way, suitable procedures for commissioning and operation of hydraulic machines and associated equipment, and to indicate how such machines and equipment should be commissioned and operated.

Commissioning and operation of the associated equipment are not described in detail in this document but is considered in the commissioning and operation procedure as a separate step.

Machines of up to about 15 MW and reference diameters of about 3 m are generally covered by IEC 62006.

It is understood that a guideline of this type will be binding only if the contracting parties have agreed upon it.

The guidelines exclude matters of purely commercial interest, except those inextricably connected with the conduct of commissioning and operation.

The guidelines are not concerned with waterways, gates, drainage pumps, cooling-water equipment, generators, motor-generators, electrical equipment (e.g. circuit breakers, transformers) etc., except where they cannot be separated from the hydraulic machinery and its equipment.

Wherever the guidelines specify that documents, drawings or information are supplied by a supplier (or by suppliers), each individual supplier should furnish the appropriate information for its own supply only.

2 Normative references

There are no normative references in this document.

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1 Machine and equipment

3.1.1

hydraulic machinery

turbines, storage pumps, pump-turbines, valves, guide and thrust bearings used in hydroelectric power and pumped storage stations

Note 1 to entry: The term hydraulic machinery includes hydraulic torque converter and all type of main inlet valves.

Note 2 to entry: Terms related to hydro turbine governing systems are not included; refer to IEC 60308.

[SOURCE: IEC TR 61364:1999, 3.1, modified – Addition of Note 1 to entry.]

3.1.2

hydraulic machine

hydraulic impulse and reaction turbines, storage pumps and pump-turbines

[SOURCE: IEC TR 61364:1999, 3.1]

3.1.3

turbine

machine for transforming hydraulic energy into mechanical energy

Note 1 to entry: The term turbine includes a pump-turbine functioning as a turbine.

Note 2 to entry: The term turbine does not include the inlet or outlet valves nor the associated generator or governor.

[SOURCE: IEC TR 61364:1999, 4.1, modified – Addition of Note 1 to entry.]

3.1.4

pump

machine for transforming mechanical energy into hydraulic energy in order to store water that will be used later on to produce electric energy

Note 1 to entry: The term pump includes a storage pump and a pump-turbine functioning as a pump.

Note 2 to entry: The term pump does not include the inlet or outlet valves nor the associated motor.

[SOURCE: IEC TR 61364:1999, 4.1, modified – Replacement of "storage pump" with "pump" in the main term, and addition of Note 1 to entry.]

3.1.5

starting device

starting equipment for a motor-generator or motor

EXAMPLE 1 pony motor

EXAMPLE 2 starting turbine

EXAMPLE 3 frequency converter

EXAMPLE 4 hydraulic torque converter

EXAMPLE 5 back to back

Note 1 to entry: Each example is representing a different method to start the hydraulic machine functioning as a pump.

3.1.6

opening device

guide vanes or the turbine needle of impulse turbines and its driving components (governing systems)

3.1.7

electrical machine

generators and motor-generators of synchronous type including the excitation equipment as well as of the asynchronous type

3.1.8

associated equipment

all additional machinery which is necessary to allow operation of the hydraulic machine (if applicable)

EXAMPLE 1 inlet and outlet gates or valves, draft tube gates, cylindrical valves (ring gates)

EXAMPLE 2 pressure relief valves

EXAMPLE 3 couplings

EXAMPLE 4 gear drives

EXAMPLE 5 brake system

EXAMPLE 6 water depression system

EXAMPLE 7 air supply system

EXAMPLE 8 cooling-water systems

EXAMPLE 9 drainage systems

EXAMPLE 10 dewatering systems

EXAMPLE 11 oil supply systems

3.2 Tests, periods, operating modes

3.2.1

commissioning

testing of new or rehabilitated equipment to check its conformity with contractual specifications, as well as operation of the equipment until formally accepted by the purchaser

3.2.2

operation

utilization of the equipment to convert energy, or a state of readiness for such production

3.2.3

maintenance

activity performed on equipment in order to keep it in a state of optimum operating condition

3.2.4

pre-start test

test between completion of erection of the equipment and initial run

3.2.5

initial run

first movement of rotating parts after erection

3.2.6

test run

operation to obtain one set of data for a specific test

3.2.7

test operation

utilization of the equipment for testing purposes

3.2.8

test operation period

test period following initial run and followed by test service

Note 1 to entry: It includes no-load runs for checking power plant equipment, as well as load runs in turbine and pumping operation, load rejections and energy supply interruption pump-turbine tests.

3.2.9

no-load test

operation of the machine without connection to the electrical grid

3.2.10

no-discharge test

operation of the machine in pump-mode with the high pressure side valve closed

3.2.11

test service period

operation of the equipment for an agreed period

Note 1 to entry: During this test, the supplier is generally responsible.

3.2.12

commercial service

operation of the equipment, under the operator's responsibility

3.2.13

commercial service period

period starting after acceptance and including service periods, as well as periods when the equipment can be out of operation for maintenance, inspection, repairs, etc.

3.2.14

guarantee period

time, extending through an agreed part of the commercial service period, during which the supplier has commercial obligations to correct defects in his equipment in order to bring it into conformity with the contract

Note 1 to entry: For this purpose, tests in accordance with the appropriate parts of 6.3.1.5 are performed.

3.2.15

inspection

check on the condition of equipment

3.2.16

repair

restoration after wear or damage

3.2.17

modification

change intended to improve performance

3.2.18

rehabilitation

restoration of equipment capacity and/or equipment efficiency to near to "as-new" levels; extension of equipment life by re-establishing mechanical integrity

[SOURCE: IEC 62256:2017, Clause 3]

3.2.19**supplier**

entity (for example manufacturer, contractor, installer, integrator) who provides equipment or services associated with the machine

Note 1 to entry: The user organization can also act in the capacity of a supplier to itself.

[SOURCE: IEC 60204-1:2016, 3.1.62, modified – Addition of Note 1 to entry.]

3.2.20**operator**

entity (for example owner of the equipment or entity contracted by him) who is responsible for operation of the equipment

4 Information on operating conditions**4.1 General**

This clause describes the information which should be given by the supplier(s) to the operator.

A fundamental requirement for proper operation and maintenance is a satisfactory knowledge of the machine and its accessories by the operator.

The supplier shall deliver to the operator all necessary documents, instructions and information. They shall include as a minimum:

- general drawings (e.g. general arrangement of the hydraulic machine, power house, ...);
- material lists, descriptions and test certificates for main parts;
- function diagrams;
- instructions for operation (especially the range of operation), inspection and maintenance of the supplied equipment;
- assembly and dismantling instructions;
- safety instructions;
- list of spare parts, as stated in the contract;
- constraints.

These documents, even not final (but updated and finalised after test period), shall be given to the operator as soon as required and, in any case, before the initial run to be reviewed by the operator.

The operator shall define additional constraints (e.g. regarding shipping on rivers, slope stability, public safety, ...).

4.2 Documents, data and instructions

The documents submitted by the supplier shall include the following data, some of which can be amended according to experience gathered during commissioning:

- 1) The characteristic diagrams relating to heads, flow, power, opening (e.g. guide vane or needle), speed, tailwater elevations, and operating limits; also, where applicable, runner blade or deflector position. Examples of such diagrams are the pump characteristic and the turbine hill chart.
- 2) Statement of similitude of model and prototype, depending on the contract.
- 3) Operation and safety instructions on inlet and outlet gates or valves of the machine and pressure relief valves. The interlocking between the valves and gates shall be considered.

- 4) Detailed sequential diagrams, illustrating ordinary changes from one mode of operation to another (generating, pumping, synchronous condenser operation, standby) as well as actions due to various electrical or mechanical faults.
- 5) Guide vane opening (or needle opening of impulse turbines) for no-load, starting and cavitation limits, as functions of head and tailwater levels also, where appropriate, runner blade or deflector position.
- 6) Transient calculations (model presentation, input data, design criteria/admissible value, load cases and descriptions of maximum and minimum values for pressure, speed, flow, safety margin, references), depending on the contract.

NOTE 1 Closing and opening times of main valve sealings are considered.

- 7) Governor and servomotor characteristics (e.g. relationship between guide vane angle and servomotor stroke, cam relationship if applicable).
- 8) If applicable, description of the water-depression-system or de-watering and refilling system of the runner, data for compressed air tanks (including capacity of air tanks, control pressure, etc.), compressors, valves, automatic control devices (both for de-watering system and air leakage supplement system), maximum and minimum water level in the draft tube, etc.
- 9) Adjustment of overspeed protection device, information of set value (shutdown value).
- 10) If applicable, description of the coupling type between the hydraulic machine shaft and motor-generator shaft and of the synchronizing arrangement.
- 11) Characteristics of the fluids for the governing system. Filter specifications and information on purification frequency and method.
- 12) Control and servo systems. Description of type and control system of the main valve, the distributor and the movable blade of the runner (as applicable) as well as closing and opening laws for the main valve, the guide vanes and runner blades.
- 13) Maximum steady state runaway speed and maximum transient speed and pressure variations at some specific operating heads (maximum/minimum/rated water head).

NOTE 2 The speed value is below the maximum speed for machine safety.

- 14) Minimum continuous operating speed (depending on design of thrust bearing and other bearings).
- 15) Minimum operating water head for initial run.
- 16) Description of lubrication systems, stating amount and characteristics of lubricants and frequency of replacement.
- 17) If applicable, data on high pressure lifting oil injection system for rotating parts.
- 18) Speed or time limits below which operation of the thrust bearing high pressure lifting oil injection system is necessary.
- 19) If applicable, maximum and minimum speeds for mechanical and electrical brake operation.
- 20) Intermediate oil levels and pressures at which pumps and compressors should be started or alarms given; also data for automatic signalling and emergency devices.
- 21) Maximum and minimum temperatures in bearings, seals and in the oil or fluid pressure circuits (alarm and shutdown values).
- 22) Maximum and minimum pressures, flows and levels in oil or fluid pressure systems and bearings (alarm and shutdown values).
- 23) If applicable, maximum and minimum temperatures and pressures in oil head (alarm and shutdown values).
- 24) Maximum acceptable load of thrust bearing, if required.
- 25) Design values and tolerances for machine erection (bearings and seals clearances, inclination, circularities, concentricities).
- 26) Maximum and minimum pressures and flows in coolers (alarm and shutdown values).
- 27) Maximum water levels in drainage pits (alarm and shutdown values).

- 28) Data on electric motors, pumps and other accessories.
- 29) Safety instructions for test and operating staff.
- 30) Other data of importance which are considered necessary by either operator or supplier for safe operation of the equipment or for instruction of personnel (e.g. axial hydraulic thrust, weight force of the rotating parts of the turbine/pump-turbine and the generator/motor-generator).

4.3 Final stage of erection, before commissioning

During the final stage of erection, the supplier shall give appropriate instructions to the operator and provide the information stated in 4.2 on operating the equipment.

During the final stage of erection, the start, the test runs and test service period, the operator shall make his staff available to the supplier for instruction and training in order for them to be properly capable of operating the machine and associated equipment.

After first filling of bearing and governor oil tanks, it is recommended to take oil samples that should be kept as reference of the oil at the beginning of commissioning.

After first filling of “water-filled” Kaplan runners, it is recommended to take samples of the filling (water plus some additives) that should be kept as reference at the beginning of commissioning.

It is recommended that critical spare parts are available (e.g. parts with long delivery time).

5 Commissioning

5.1 General

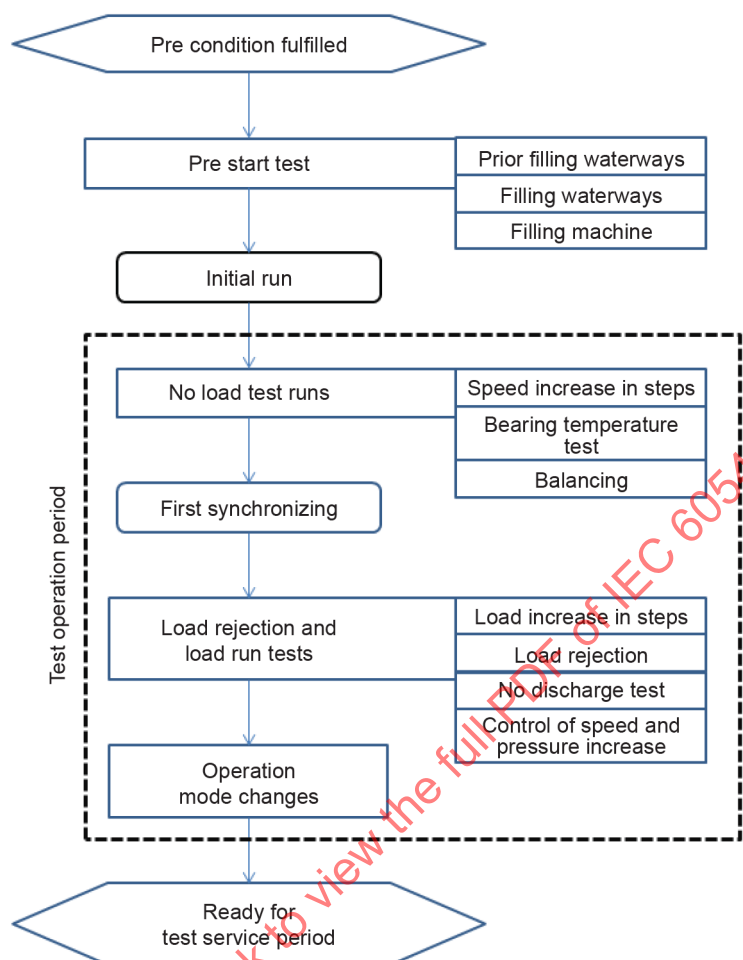
5.1.1 Overview

This clause deals with the commissioning of hydraulic machinery. It describes and gives advice and recommendations about (pre-) conditions, measurements, health and safety, organization. Tests during commissioning and final documents are suggested.

In the lifetime of the hydraulic machine, the commissioning period is the time in which the supplier shall demonstrate to the operator (owner) that the equipment fulfils the requested characteristics and is ready to run in commercial operation. As the equipment is exposed to the actual loads for the first time, the commissioning procedure shall be carried out with the necessary care and coordination between the parties.

The process chart in Figure 1 shows different steps for a typical commissioning procedure.

Commissioning procedure



IEC

Figure 1 – Commissioning procedure

5.1.2 Commissioning period

The commissioning period starts after finishing of erection of a new unit and ends with the beginning of the test service period. Similar procedures can also be utilized with or without formal acceptance after repair or rehabilitation.

5.1.3 Operating conditions during commissioning

The operating requirements given in Clause 4 shall be complied with during commissioning. If the operating conditions of the power station prevent commissioning within these requirements, the operator and supplier shall define acceptable conditions and agree on the commissioning procedure.

5.1.4 Measurements during commissioning

For correct interpretation and determination of the causes of any unexpected phenomena, it is advantageous to make simultaneous recordings of significant parameters (such as the pressure in the spiral casing and draft tube, openings of control mechanisms, speed, displacement of shaft and vibration of bearings, guide vanes and covers, and possibly power, loads and temperatures on bearings, pressures in servomotors, etc.) on recording instruments. These should be in operation during the initial run and thereafter. Each recording shall have an identification of the test, unit number and a time and date registration.

5.1.5 Grid and hydraulic conditions

It is the operator's responsibility to obtain from all the authorities concerned agreements on the specified conditions (grid, head, flow, etc.) for test operation.

5.1.6 Pre-conditions for commissioning

5.1.6.1 General

Before starting the commissioning, all activities which belong to the erection and which are necessary to carry out the commissioning safely shall be finalized and recorded. The start of commissioning shall be agreed between the operator and the supplier and certified in a protocol "ready for commissioning".

5.1.6.2 Administrative and organizational

- The commissioning co-ordinator shall be defined.
- The commissioning committee with members of all parties (commissioning engineers of the different suppliers) clarifies the roles of all participants in the commissioning organization and their respective obligations.
- The commissioning committee establishes a work permit system to ensure safe working (locking and tagging system).
- A time schedule for the planned activities shall be worked out and agreed between the parties.
- The commissioning programme (e.g. see Table C.1).

5.1.6.3 Available documents

- All relevant final erection protocols (e.g. records of gaps between stationary and rotating parts).
- All relevant protocols "Ready for commissioning" from the different suppliers.
- All relevant commissioning instructions and commissioning protocols.

5.1.6.4 Available equipment

In the case of any unforeseen events during commissioning, the water ingress into the powerhouse shall be stopped (as well as the water flow in the waterways and the hydraulic machine). The following equipment if applicable shall be ready for emergency closure:

- intake gates;
- outlet gates;
- inlet and outlet valves;
- stop logs designed to close under discharge.

5.1.6.5 Available systems

- Main power supply and emergency power supply
- Station AC and DC supply
- Auxiliary power supply
- Common auxiliaries such as pumps, coolers, heaters
- Drainage
- Dewatering
- Cooling
- Compressed air
- Monitoring turbine
- Monitoring generator

- Excitation
- All protection systems for the unit
- Electrical protection for gas insulated switchgear (GIS), bus bars and feeders
- Main transformer including protection and monitoring devices
- Transformer auxiliaries, such as fans and water pumps
- Synchronizing system
- Communication
- Automation
- Lighting
- Fire detection and fire fighting
- Heating, ventilation, air conditioning (HVAC)
- Earthing

and other applicable systems of the power plant.

5.1.7 Health and safety during the commissioning

As a part of test and commissioning, the facilities are put into live conditions (pressurised, energized, equipment in the vicinity are in normal operation, etc.) and risk awareness shall be emphasized. All personnel involved in the commissioning activities should be informed and trained in the valid health and safety regulations. It is recommended to practice procedures for fire protection, evacuation, first aid service, etc. Extra pushbuttons for fire protection and emergency shutdown might be installed temporarily during commissioning. The area around the facilities which are being commissioned should be marked with some kind of barrier and should be cleaned before commissioning. In order to restrict the number of persons in the area, only authorised personnel taking part of the commissioning should have access.

5.2 Commissioning co-ordinator and organisation

A commissioning co-ordinator shall be appointed by agreement between the operator, the main contractors and the suppliers. The commissioning co-ordinator shall be in charge of the commissioning activities and prepare a program which describes the commissioning activities, including relevant activities from the contractors/suppliers detailed programmes. The program can be designed as a step by step program that can be signed off. This program shall be checked and approved by the operator, the main suppliers and contractors before and during the tests if changes appear to be necessary. Figure 2 shows an example of organization chart for commissioning.

The commissioning co-ordinator is responsible for the execution of all tests up to the beginning of the test service period. Operating and commissioning personnel shall report to the commissioning co-ordinator on all operations performed on the equipment. Each contractor/supplier is responsible for their equipment and to perform tests included in their contract during the commissioning. If some equipment is not covered by the suppliers, it is recommended that the commissioning co-ordinator should be supported by a test co-ordinator.

One person should be appointed as switching supervisor that will take care of all switching operations and work permits. The switching supervisor reports to the commissioning co-ordinator.

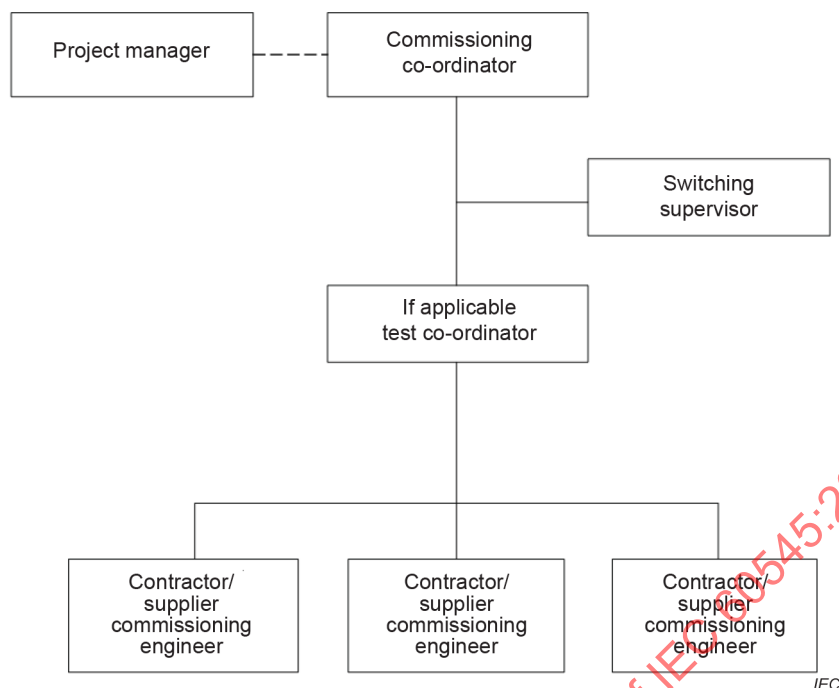


Figure 2 – Example of organisation chart for commissioning

5.3 Pre-start tests

5.3.1 General

Pre-start activities include filling of the waterways and subjecting the valves and/or gates on the high and low pressure sides of the machine to water pressure, followed by filling of the machine. Except where the valves and/or gates on the high and low pressure sides of the machine cannot be operationally separated from the machine itself and are, therefore, considered to be part of the hydraulic machine commissioning. Filling of the waterways is not part of this guide, and the commissioning co-ordinator can rely on these activities to be coordinated by the operator. Nevertheless as such activities can be critical to the general safety of the hydraulic machine and the facilities, the commissioning co-ordinator can request the operator to confirm that the appropriate checks and tests have been satisfactorily completed.

5.3.2 Prior to filling waterways

Where the valves and/or gates on the upstream and downstream sides of the hydraulic machine cannot be separated from the machine, the commissioning of these components shall be done under the direction of the commissioning co-ordinator. The commissioning co-ordinator should review the documentation and records prior to filling the waterways and subjecting components to hydraulic pressure, to check that:

- 1) installation, alignment and testing of the valve and/or gate equipment including the operating mechanism and auxiliary equipment are complete, such that the equipment can be pressurized;
- 2) the valves and/or gates are closed and fully locked in accordance with appropriate safety procedures;
- 3) sufficient procedures and facilities are in place such that unforeseen leakage can be handled without compromising the safety of the hydraulic machine or the complete facility;
- 4) operational checks and tests that will be difficult or impossible to conduct once the waterway is filled are completed;
- 5) the de-watering of the waterways if necessary shall be possible in a reasonable time.

The commissioning co-ordinator shall confirm that any special instrumentation, installation and/or tests agreed to by the supplier and the operator are in place or have been completed. This could include measurements to check for movement in the supporting structures for the hydraulic machine or checks on rigidity and/or resonance in the supporting structure.

The inspection of all waterways and the removal of all foreign or loose objects should be performed. The cleanliness status should be recorded on a common protocol signed by all the parties involved in this inspection.

5.3.3 Filling waterways

The sequence for filling of the waterways will depend on the design of the power plant. Arrangements can include:

- Plants with no valves or gates to isolate the machine from the upstream or downstream waterways. This is common for low head machines. For this plant design, the steps identified in 5.3.4 and 5.3.5 shall be followed as filling of the waterways is coincident with filling of the machine.
- Plants with valves or gates to isolate the machine from both the upstream and downstream waterways. For this plant design, the waterways on both the tailwater side and headwater side shall be filled prior to filling the machine.
- Plants with valves or gates to isolate the machine from the upstream but not downstream waterways. For this plant design, the waterways on headwater side will often be filled prior to filling the machine. If for construction and/or logistic reasons it is desirable to fill the machine from the tailwater side prior to filling the upstream waterways, it shall be considered that, depending on the tailwater level, the valve or gate on the upstream side of the machine can become subject to reverse pressure where there is water pressure on the downstream side of the valve or gate and no water on the upstream side. Also, the steps identified in 5.3.4 and 5.3.5 shall be followed when filling the machine.
- Plants with valves or gates to isolate the machine from the downstream waterways but not the upstream. For this plant design, the waterways on the tailwater side shall be filled prior to filling the machine. If downstream gates or valves are not designed for upstream-pressure they shall be opened to avoid overpressure.

For each of these approaches the steps identified in 5.3.4 and 5.3.5 shall be followed prior to filling the upstream waterways.

NOTE Upstream means on the high pressure side of the machine and downstream means on the low pressure side of the machine.

5.3.4 Prior to filling machine

Before the machine is filled with water, the generator/motor-generator, as well as auxiliary and stand-by equipment, shall be checked. At least the following items shall be checked if applicable and results recorded by the commissioning co-ordinator.

- 1) Inspection of all water passage of the hydraulic machine and removal of all foreign or loose objects (these might cause damage). The cleanliness status should be recorded on a common protocol. If required, the measuring sections and pressure taps for future turbine acceptance tests shall be checked and confirmed as satisfactory and dimensions recorded as appropriate.
- 2) Calibration of scales for control devices such as guide vane openings and runner blades, where applicable, needles and deflectors, including their cam relationships.
- 3) Operation of pressure oil units, hydraulic shut-off valves, pressure relief valves, hydraulic governors, automatic and manually-operated starting and stopping devices and signalling devices.
- 4) Oil levels and pressures in governor system; condition of all oil filters.
- 5) All protective devices, such as oil level, pressure and temperature alarms and relays, with adjustment if needed.

- 6) Opening and closing times of governing elements and their functions, e.g. guide vanes, runner blades of turbines with movable blades, needles and deflectors of impulse turbines, pressure relief valves together with safety devices for pressure relief valve malfunction and, if possible, command signal dead band.
- 7) Opening and closing times of valves or gates (if possible), and their function.
- 8) Operation of leakage and drainage pumps and lubricating pumps.
- 9) Oil, grease and water supply to all bearings and seals requiring lubrication or cooling.
- 10) Operation of the braking system of the unit.
- 11) Proper fastening of all covers (e.g. man-hole, ...).
- 12) Blades of movable runner blades turbines set at a position to avoid unwanted rotation after filling water passages due to leakage.
- 13) Operation of the water level depression system and refilling system and its control devices.
- 14) Operation of the disengageable coupling mechanism.
- 15) Dewatering system.

NOTE 1 Dewatering pumps and related piping systems and devices are commissioned with their final power supply. If any "non-final" equipment is used instead (temporary drainage pump, temporary power supply), they are tested under real conditions and demonstrate performance and reliability equivalent to the final powerhouse equipment.

- 16) Orifices list.

NOTE 2 All the orifices installed on the machine (whether in oil or water circuits) are listed with their actual diameter and theoretical value. As they are defining the operating times of guard valves or adjusting mechanism (nozzle, distributor, etc. ...), they are considered as safety related devices and are therefore monitored closely (i.e. any change or modification of the orifice is recorded in the list and consequences on operation safety are assessed by specialist in charge).

- 17) Water filters.

NOTE 3 All the water filters (whether on cooling water systems, or on water circuits for control devices) are in clean condition, and their closing and fastening is been checked properly. Automatic filters or strainers are fully tested in dry condition prior to water filling.

- 18) Locking devices.

NOTE 4 All the applicable locking devices, whether mechanical locking of inlet valves, distributor or individual locking of drainage or air vent valves are in position. The person in charge of the locking has monitored the theoretical position and actual locked position of the device. The key of the locks (when applicable) remains in the hands of the responsible person only.

- 19) Maintenance seal

NOTE 5 Air compressor or service air used to apply an inflatable seal are available and commissioned, if any.

After the above checks, the main valves or gates shall be closed and locked (if applicable), the hydraulic machine shall be closed (guide vanes or needles are pressurized in the closed position and locked, if applicable), the brakes applied and the control system is operational.

When satisfied that all conditions have been met, the commissioning co-ordinator shall give instructions for the machine to be filled.

5.3.5 Filling machine

Generally, the filling of the machine should start from the tailwater side.

The machine shall be filled slowly, and preferably manually either through a by-pass (of the tailwater gate) or a small opening of the gate or stoplogs. If applicable, the guide vanes should be opened for 3 % to 5 % of the guide vane opening. Depending on the tailwater level, a check for leaks shall be made. Air vent should function properly and be checked. Leakage of the shaft seal should be in the specified range.

When the machine has been sufficiently filled or the pressure in the machine corresponds to the tailwater level, the guide vanes shall be closed, the main valve or gate shall be opened or the stop-logs removed.

After that, the machine can be slowly pressurized to head water pressure. However, for low head plants with a downstream main valve or gate that is designed for headwater pressure, the main valve or gate shall remain closed until the machine is pressurized to head pressure.

If there is a turbine main inlet valve, the machine casing shall be carefully filled and pressurized. The casing of a machine with a distributor shall be pressurized through a by-pass valve, fill valve or by slightly opening a gate ("crack opening position") and checked before the main valve is opened or gate fully raised. The operation of automatic protection devices which actuate the bypass valve shall then be checked and the functioning of the valve itself tested.

The spiral casings of machines without guide vanes, can be partially pressurized only with the tailwater pressure.

Automatic protection devices which actuate the intake or outlet gate or valve shall be checked, especially the emergency gate or valve. The automatic locking devices shall be checked. If the protective devices and the emergency gate or valve work satisfactorily and no unusual leakage or deformation has been observed, an operational test shall be carried out on:

- the pressure relief valve, if any;
- the needles of impulse turbines (with deflectors diverting);
- the tailwater depression system of impulse turbines, if applicable.

If applicable, further tests, such as a water depression system and refilling test, shall be carried out and the control devices adjusted.

5.3.6 Using the machine as a pump for initial filling of the penstock

The recommendation is not to do the initial filling of the penstock using the hydraulic machine as a pump. This can cause damage to the hydraulic machine due to high vibration and cavitation.

5.4 Initial run

The purposes are: identify abnormal phenomena between rotating and stationary components such as noise, scraping, resistance or blocking; check tightness.

The commissioning co-ordinator gives permission for initial run of the turbine. It could be an advantage to rotate the machine by manual methods before the initial run, if possible.

The high pressure lifting oil injection system should run (if applicable) in manual mode and the brakes should be released manually; both systems should be kept in manual mode.

The maximum momentary speed is only a few revolutions per minute. Lubrication of the bearings should be considered depending on the type of bearing. The speed shall not be too high in order to minimise noises from the flow or ventilation. Nevertheless, speed might also not be too low to avoid critical lubricating speed for bearings (e.g. horizontal units) or thrust bearings (e.g. when no oil injection system is available).

NOTE 1 Self lubricated bearings: Manual oil lubrication before the initial run is performed to avoid dry contacts between rotating and non-rotating parts.

For adjustable runner blades, blade position for the initial run should be agreed before the test, taking into account specific risk analysis (e.g. load on thrust bearing, risk of uplift).

The torque for the rotation of the machine is supplied by:

- in turbine direction by a short actuation of the opening device under manual control, or starting device if applicable

NOTE 2 In the case of pump-turbines without movable guide vanes opening the main valve and/or a by-pass.

- in pump direction by a short actuation of the starting device.

Observations shall be done by the personnel at the locations where rotating and stationary components have narrow distances, typically near the shaft bearings and seals but also with emphasis on the air gap inside the electric machine (cover panels should be opened if suitable) as well as the gap between runner and housing of the hydraulic machine.

In case of no abnormal phenomena the rotor runs out until standstill without applying brakes. A tendency for the unit to rotate with leakage flow only shall be noted and then the brakes should be applied.

NOTE 3 Bearing conditions are considered during the test.

If abnormal phenomena or leakages are observed, the machine shall be shut down and locked. After correction of defects, the initial run should be repeated, if suitable with same or slightly higher rotational speed.

5.5 Test operation period

5.5.1 General

The test operation period is following the initial run and is followed by test service period.

For units on a multi-unit plant the test operation period should be started one after another. This gain feedback on the first unit in order to optimize test period on the following units.

5.5.2 No-load tests

5.5.2.1 General

During no-load tests the machine will be operated without connection to the electrical grid.

NOTE Because no-load operation increases fatigue to the runner, testing is minimised.

5.5.2.2 No-load tests mechanical

The purposes are: proof of the bearings and the alignment/balancing of the rotating parts; test/adjust speed control and automatic system.

The required speed is typically 25 %, 50 %, 75 % and 100 % of the nominal speed. The torque for the rotation of the turbine is supplied by actuation of the opening device, at the beginning with manual control and with automatic control as soon as possible. The torque for the rotation of the pump is supplied by the actuation of the starting device, if possible the runner shall be de-watered and the labyrinth gaps cooled, otherwise the speed or the warming of the water in the pump shall be limited.

Measurements to be done:

- rotating speed, vibration of bearing casing and shaft run out, radial and/or axial displacements;
- signal of the opening devices;
- bearings and oil circuits: temperatures, level of filling;

- static pressure in hydraulic machinery as well as penstock (close to the machine) and draft tube.

Verifications to be done:

- bearings: temperatures (stabilized), oil circulation and pressures in lubrication and cooling devices, function of self-lubrication if applicable. If oil foam or smell is observed, the cause shall be located and eliminated;
- opening devices: proper movement, low oscillations, synchronous movement;
- check balancing of the rotating parts, if necessary correct under consideration;
- speed measurement: stable quick responding signal, function of speed contacts;
- speed control: proper function, verification of speed set-points;
- shaft seal function;
- auxiliary systems: function of supply pumps and valves, control of measurement devices;
- start/stop sequences, safety devices, emergency shutdown;
- deceleration curve should be recorded and compared to the theoretical one.

At some agreed speed values, usually after the rated-speed no-load test, the action of the braking system (also braking jets of impulse turbines) shall be checked.

If any temperature is excessive or increases too rapidly and not stabilizes after a certain time, the unit shall be shut down and the causes of this phenomenon investigated and corrected.

After the no-load mechanical test at rated speed is completed and when the protection is existing, the turbine speed is carefully increased, still under manual control, for checking the action and function of overspeed protection devices. The opening speed (e.g. guide vanes) and the acceleration of the turbine should be defined before the test. The test duration should be minimised in order to avoid excessive stressing of the machine.

The first protection to be tested should be the electrical overspeed that is activated by the speed governor (or auxiliary tachometer). In order not to stress the unit, the setting could be temporarily lowered to check the shutdown is effective. Then the test could be repeated at the nominal setting.

Before testing the actuation of the mechanical protection, the electrical protection setting could be temporarily set a few percent above the mechanical overspeed setting to protect the turbine in case of runaway.

During the tests, the behaviour of the unit shall be carefully monitored (noises, vibrations, temperatures, pressure fluctuations in the water passages, guide vane opening curves ...).

The setting-speed for each device shall be measured and any necessary adjustments shall be made.

After testing the overspeed protection devices, a visual inspection of the runner (and generator) can be useful for large axial units (in case of unusual phenomena, see 5.5.4.5).

NOTE 1 In some specific cases, the test of the mechanical overspeed protection device can be performed later. For example, in the case of low specific speed pump-turbines, the value of overspeed can be difficult to reach from no-load speed, because of instabilities. In this case and further to agreement between the operator (owner) and supplier, the test can be postponed and performed along with the load rejection test. In the meantime, the unit will be protected by the electrical overspeed device, previously checked with lowered setting as mentioned above.

NOTE 2 Generally, an uplift could occur if the guide vanes are closing too fast (especially in cases of very low head Francis and propeller turbines).

5.5.2.3 No-load tests electrical

The purposes are: proof of the systems for excitation, electrical protection and other electrical tests.

The required speed is typically 90 % to 110 % of the nominal speed in turbine mode with the unit under automatic control.

5.5.2.4 No-load test in pump mode

Reversible machines with movable guide vanes will usually be started in the pumping direction with the runner in air. It will then be necessary to provide cooling for the runner seals or labyrinths and for the shaft seal. The provisions for this cooling shall be tested before rotating the empty machine.

Hydraulic machines without movable guide vanes will usually be started as pumps with the runner in water: in the case of reversible machines or of storage pumps with fixed coupling, the electrical machine shall be brought to rated speed by the starting device.

In the case of ternary sets with a disengageable coupling to the storage pump, two cases shall be foreseen:

- 1) coupling engageable only with unit at standstill: in this case the coupling will be engaged and then the electrical machine will be brought to rated speed by the turbine;
- 2) coupling engageable on speed: in this case the coupling will be disengaged and the storage pump shall be brought to speed by for example, a hydraulic torque converter with increasing rate of filling of the converter, so that at the end normal speed will be reached. Then the coupling to the electrical machine, started meanwhile by the turbine, shall be engaged.

If any abnormal noise, scraping or other phenomena are observed, or if an authorized representative of any supplier so requests, the unit shall be stopped immediately.

5.5.3 First synchronizing

The purposes are: proof of the electrical system of the machine and the grid; synchronizing to the electrical grid.

5.5.4 Load rejection and load run

5.5.4.1 General

This subclause describes the measurements taken at stabilized load levels and verifies that the unit safely responds to a sudden loss of load.

NOTE Load rejection tests are executed before the next step of load increase and after the steady-state operation is reached.

5.5.4.2 Load rejection tests

5.5.4.2.1 General

Precautions shall be taken of any limitations due to the waterways such as timing and rate of flow changes, which could result in too high or too low pressures and levels (e.g. surge chamber).

The main purpose is to verify the variations of the pressure in the penstock and/or spiral case, the speed of the rotor, possibly lift of the runner and the pressure in the draft tube during transient conditions of load rejection. These values shall be compared with the calculated values derived from transient simulation and further with the contract values. This can include setting governor or safety orifices timing at different values than design rate. When adjustments are made on governor or safety orifices, all tests which might be affected by the adjustment shall be repeated.

In the case of modernization, load rejection measurements can be compared with pre-outage values (if available).

Further the response time and performance of the turbine governor during load rejections at different outputs shall be checked.

NOTE 1 Subclause 5.5.4.2 is valid for all types of hydraulic machines.

For test during transients, including change of mode of operation:

- check the functioning of governor and regulating devices, as well as that of the entire unit;
- determine the momentary pressure and speed variations of the unit to find their extreme values;

NOTE 2 Closing and opening times of main spherical valve seals are considered. These times affect the dynamic values (e.g. pressure).

- adjust the closing times of the guide vanes, needle valves, runner blades, deflectors and opening times of pressure relief valves to minimise overspeed of the unit within the permissible limit of pressure variations; the measured results shall be compared and in the case of major differences the transient calculation shall be corrected;
- perform testing of the operation of other hydraulic and electrical equipment (e.g. circuit breakers, transformers) etc., including protection and other automatic devices.

5.5.4.2.2 Procedure in turbine mode

The load shall be increased in steps and a load rejection test made at successively higher loads up to the maximum expected load on the unit (e.g. rejections can be made at 25 %, 50 %, 75 % and 100 % of rated load, as well as from the maximum load that can be agreed upon). Additional tests shall be performed if more severe transients occur at different gate or needle positions (e.g. Pelton turbines with small needle openings, or with different shutdown sequences).

NOTE 1 Because transient testing increases fatigue damage to the runner, testing is minimised. As an alternate approach, transient testing can be performed at reduced load to calibrate numerical simulations. The numerical simulations can then be performed at maximum load or extreme conditions to determine whether critical design criteria are achieved.

Two rejections should be made at each predefined load. One rejection should be made under governor control to no-load opening, the other should be an emergency shutdown by the stop solenoid.

If specified, load rejection tests shall also be made by means of the emergency gate or valve or by any other emergency device.

After the completion of each load rejection test, the pressure and turbine speed variations shall be analysed to ensure that the specified safe limits will not be exceeded during the next higher load rejection test.

NOTE 2 Generator full load heat run test usually starts after the load rejection test.

5.5.4.2.3 Procedure in pump mode

Before starting load rejection tests (energy supply interruption), no-discharge test should be completed.

Discharge will be started from no-discharge conditions:

- for hydraulic machines without distributor, by opening the main valve according to a suitable opening law;
- for hydraulic machines with distributor, by opening the main valve and (usually) subsequently the distributor in a suitable sequence and according to a suitable opening law.

If the machine has adjustable runner blades, these shall be set at the proper angle.

Discharge tests should be carried out at various water levels in the reservoirs and therefore at various pump heads.

Typically a normal pump shutdown is tested prior to any load rejection testing (energy supply interruption) which corresponds to a low gate opening (guide vanes or main valve) load rejection. At least two load rejection (energy supply interruption) tests should be made, at high and low pump heads.

For a pump-turbine with movable guide vanes a low gate opening test and a best gate opening test are necessary. Comparison with predicted results can indicate if other conditions should be tested.

If specified, these tests shall also be made with closing of the emergency device and with inoperative guide vanes, if applicable.

The test and adjustments shall be repeated until all sequences follow automatically in a satisfactory manner, that can be relied on during normal operation.

After each load rejection test, the pressure and pump speed variations shall be analysed.

NOTE Motor-generator full load heat run test usually starts after the load rejection test.

5.5.4.2.4 Procedure for more than one machine at a common waterway

If there is more than one machine connected to a common waterway, the load rejections under worst conditions (e.g. pressure, speed, ...) based on the transient calculations should be done. Comparison of the test results with the calculated values shall be done.

It is advisable to approach the calculated worst case condition in reasonable steps.

5.5.4.3 Load run

For tests during steady-state operation, including synchronous condenser operation:

- to check, with an agreed accuracy, the output (input) of the unit, pressure and discharge of the unit compared with the documents listed in 4.2;
- to check the unit for instability, vibration or cavitation and pressure fluctuations in the guaranteed operating range;

Outside of the guaranteed operating range, it is not recommended to operate the unit in zones of high vibrations and high risk of cavitation.

NOTE Tests beyond the guaranteed operating range can be reasonable in order to verify or increase the operating limits.

5.5.4.4 No-discharge test (only for pumps and pump-turbines)

The purposes are in case of reversible pump-turbines: proof of the system for start-up of the motor-generator and dewatering/filling of the pump-turbine's runner.

The purposes are in case of ternary units: proof of the system for start-up, acceleration and engagement/disengagement of the pump's runner.

The pump shall operate with its main valve or guide vanes closed and therefore under no-discharge conditions for a short period only (typically less than 1 min), to avoid a dangerous temperature rise of the water inside the pump. This period depends on the design of the machine, its head and its input and shall be well defined beforehand. The unit shall be stopped before the agreed permissible no-discharge operation period elapses.

NOTE Depending on the opening sequences of the guide vanes and the main inlet valve the pressure in the spiral case can be different.

The unit shall be operating at rated speed with the motor-generator connected to the grid. The temperatures of all bearings, oil and of the cooling water shall be continuously recorded. If any temperature becomes excessive or increases too rapidly, the unit shall be shut down and the reason for this phenomenon investigated and corrected.

For these tests,

- the hydraulic machine that has been started with its runner(s) in water shall have the main valve and by-pass closed;
- the hydraulic machine that has been started with its runner(s) in air shall be refilled. The filling procedure shall be done carefully so that pressure and input increase smoothly and so that no undue pressure or power peaks occur.

The time needed for reaching no-discharge operation and shut-off head (pressure in spiral case or in front of the guide vanes) shall be recorded.

These no-discharge tests shall be repeated in order to allow the necessary adjustments of different starting devices, such as coupling mechanisms, de-watering and refilling valves, etc.

Measurements and verifications mentioned for the no-load tests (5.5.2.2) are the same for the no-discharge tests. Additionally the following measurements could be carried out:

- vibration and deformation of covers and bearing supports;
- vibration in the hydraulic machine, especially of shaft and guide vanes and of the motor-generator.

5.5.4.5 Observations, measurements and recordings

During these tests, the test co-ordinator shall ensure, where possible, that the following observations and measurements are made and recorded:

During steady-state operation (including synchronous condenser operation) and load rejection tests:

- head and tailwater levels (or pressures);
- motor-generator output/input;
- strokes and closing times of guide vanes or needles (where applicable, of runner blades or deflectors), opening and closing law and time of the main valve;
- pressure at turbine/pump inlet and outlet sections;
- axial thrust, if applicable;
- pressures and levels in oil pressure systems;
- operating times of oil pressure pumps;
- pressure differentials in servomotors (e.g. to check the safety margin) required for guide vanes or needle opening and closure and pressure setting for emergency gate/valve tripping, if applicable; (where applicable, of runner blades or deflectors);

- temperatures in bearings and seals;
- shaft seal functional parameters (e.g. pressure, sealing water discharge, leakage discharge), if applicable;
- noise levels, if values are specified in the contract;
- abnormal noises, if any;
- vibration and other displacement of rotating and fixed parts (e.g. vibrations of shaft bearing supports, radial and/or axial displacements of the shaft and vibrations of the guide vanes, if any);
- action of air admission devices, if any;
- air injections time interval of depression system, if applicable.

Additionally during transients (including changing mode of operation):

- level variations at intake and surge tanks;
- time/speed relationship of the unit;
- maximum and minimum axial thrust, if applicable;
- opening strokes and opening/closing times for pressure relief valve, if any;
- pressure drop in the oil pressure system during the process of governing, and variation of level in the oil pressure reservoir;
- action of vacuum breaking valves, if any;
- action of emergency valve or gate under flow, if specified;
- sequence and time for changing mode of operation;
- air consumption during a de-watering operation.

NOTE For lifetime optimisation strain gauges measurement on high loaded parts can be helpful (see IEC 62256).

If possible, an estimate of leakage through the turbine with closed guide vanes (or needles) should be made, preferably just after the load rejection tests.

It is recommended that at the completion of the test operation period, an inspection of the unit be carried out, e.g. to check for any possible rubbing contact which may have occurred.

If during the tests operation period unusual phenomena or potential dangerous vibration have been observed, or if a runaway speed test has been performed, this inspection shall be carried out prior to further testing.

Preliminary operating limits and restrictions should be established, considering vibration and noise level, grid frequency variations, input limitations.

5.5.5 Additional tests for adjustable (variable) speed hydraulic machinery in combination with a double fed generator/motor-generator

As for the adjustable (variable) speed of the hydraulic machinery, there are two controlled objectives. One is the active power and the other is the speed. There is a relationship between the active power and the speed, due to the “law of energy conservation”. Either the active power or the speed can be the controlling parameter.

During pumping operation, it is hard to control the pump input by controlling the guide vanes opening, since the pump input mainly depends on the speed.

The input power of the motor is controlled by the exciter. The difference between the motor input and the pump input changes the speed, and a new speed results when motor input and the pump input are balanced.

Generally, there are two possibilities: power control and speed control. The exciter controls the motor input whether using a set-point of power or speed.

The guide vane opening is controlled to the optimum opening to meet the pump input and the pump head.

In turbine operation, the turbine output mainly depends on the guide vane opening, which is controlled by the governor. Meanwhile, the exciter can control the generator output.

The response time of the exciter is far shorter than that of the governor.

There are two control methods existing by “the law of energy conservation” and the response time.

One is that the exciter controls the generator output and the governor controls the speed. The other is that the exciter controls the speed and the governor controls the turbine output. Generally, these two control methods are alternated to optimize the operation.

Annex B provides further information about tests for the double fed adjustable (variable) speed pumped storage system.

5.5.6 Operation modes and mode changes

Operation modes and mode changes should be tested. During these tests the parameters mentioned in 5.5.4.5 should be recorded.

Responsibilities of each supplier (hydraulic machine, generator, control systems, etc.) in each transition step should be clearly defined prior to the test and verified accordingly.

Depending on the type of the hydraulic machine different modes of operation can be realised.

Beginning with the mode:

- Standstill – ready to operate and
- Standstill – auxiliary systems in operation

The turbine with one direction of rotation can be operated within the modes:

- no-load;
- synchronous condenser operation (SCO) – turbine direction;
- turbine operation (between no-load and full load).

NOTE 1 A special realized mode is “line-charging” (see 5.5.8).

A reversible pump-turbine with changing directions of rotation in turbine and pump direction can be additionally operated within the modes:

- synchronous condenser operation – pump direction, and
- pump operation.

Ternary units with independent turbine and pump runners can also be operated in the mode

- Hydraulic short circuit.

NOTE 2 “Hydraulic short circuit” operation allows operation of a pump in a ternary unit even with a smaller available grid power than necessary for pump operation. The missing power will be supplied directly from the turbine acting on the same shaft line. Part of the pump discharge will be used to drive the turbine (see Clause A.21).

The Figure 3 shows the different modes of operation of a reversible pump-turbine. The arrows with numbers illustrate the direction of the possible mode changes:

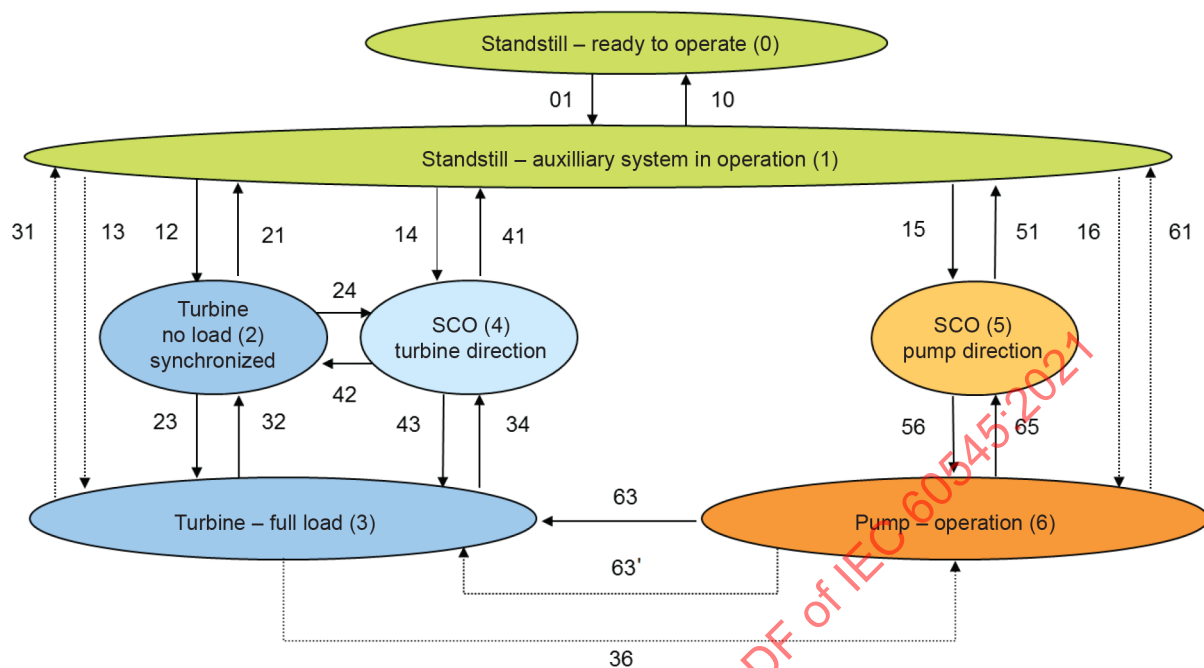


Figure 3 – Modes of operation of a reversible pump-turbine

In the Annex A the different mode changes are described. In composed mode changes e.g.: standstill to turbine full load (13:= 12 & 23) or from turbine operation to synchronous condenser operation (turbine direction) (34:= 32 & 24) the intermediate step turbine no-load can be skipped as a separate operation mode even if the operation mode situation actually exists for a short time. This procedure shortens the total mode change time.

5.5.7 Control modes

Tests regarding the different control modes are described in the IEC 60308 where applicable, otherwise by agreement between supplier and purchaser.

Additional tests on systems not belonging to the turbine could be useful.

5.5.8 Operation modes with particular functions

Examples for operation modes with particular functions are:

Black-start:

- Description: start-up of a hydraulic machinery in turbine mode without electrical power supply from the electrical grid; the electrical power supply can come from a self-supply unit, an emergency diesel generator or a battery.
- Testing: the start-up of the hydraulic machinery should be done with all elements connected to the auxiliary power supply (without connection to the grid); it should be followed by the electrical switching to an empty busbar, then the setting and control of frequency and voltage should be tested; finally the system should be synchronized and connected to the electrical grid.

Line-charging:

- Description: Energizing of a high-voltage system (e.g. transformer with transmission line or cable) without or with low load; due to the Ferranti-effect the voltage at the receiving end of the system might be significant higher than the voltage at the sending end, i.e. the machine, and transient electrical phenomena might be encountered.
- Testing: start-up or black-start of a hydraulic machinery with electrical switching to a busbar connected to the high-voltage system, then the setting and control of frequency and voltage shall be tested (with measurement on both ends of the high-voltage system); finally the system shall be synchronized and connected to the electrical grid.

Operation of pump-turbines at the lower range of plant head:

- Description: at low head the characteristics of pump-turbines with low specific speed could have an unstable region (S-shape), especially with small opening; measures to improve the stability are possible, e.g. unsynchronized operation of single guide vanes.
- Testing: if applicable the operation in this region shall be tested, such as no-load speed and synchronizing or shut-off of machines; in case of more than one machine working on the same pressure conduit, the effect of the other machines on the S-shape instability should be investigated.

5.5.9 Field tests for runaway speed

To avoid runaway speed multiple safety precautions are generally provided in the governing system design. Therefore the probability for a hydraulic machine reaching runaway in its operational lifetime is usually very small. If the operator elects to have a field test for steady state runaway speed or if it is defined in the contract it shall be considered as a severe test and, at a multi-unit plant, should be limited to one unit. It should also be limited to one occurrence unless exceptional event.

The necessity for a runaway speed test (including benefits, lifetime impacts and risks) should be evaluated by the operator early in the project, and its requirement included in the contract(s) for both the hydraulic and electrical machinery. This test shall be run on new or complete refurbished unit only.

All appropriate precautions shall be taken, prior to the test and the test procedure shall be agreed upon between all involved parties. At least, the following items shall be taken into account:

- all auxiliary systems shall be fully operational;
- manual emergency shut down device shall be operational and tested;
- test shall be performed during the commissioning period only;
- air gap, temperature and vibration limits shall be determined and agreed prior to the test;
- step by step speed increment with monitoring of critical values (vibration, temperature, air gaps, etc.). Test duration at each speed increment shall be limited to minimum;
- an inspection of the hydraulic and electrical machine shall be done after the test to identify any damages or irregularity.

5.5.10 Other tests

Consider 6.3.3 for special operating conditions.

5.6 End of commissioning

A report shall be prepared to document the commissioning. This report should include the relevant recorded data, values of important parameters such as orifices etc. and if possible the parameters, values and records listed in 5.5.4.5.

Preliminary test data results should be provided as it is useful for the operator (e.g. in order to not postpone the start of test service period).

It is recommended to document the end of the commissioning and the start of the test service period.

6 Operation

6.1 General

This clause deals with the operation of the hydraulic machinery. It describes and gives advice and recommendations about the test service period and the commercial service.

The operation period includes the following parts:

- test service,
- commercial service, divided into: guarantee period and post-guarantee period.

The subclauses on test service and the guarantee period shall be applied to new units after first erection and commissioning or to any unit after repair or overhaul.

6.2 Test service period

6.2.1 General

The test service period should be long enough to satisfy the operator that all components are in satisfactory operating condition. After an overhaul or a modification, the test service period can be shortened or even omitted. The length of the test service period is usually defined in the contract. The operator shall operate the machine according to the specification.

6.2.2 Responsibilities

If nothing unusual has been observed during the test operation period the test service period shall follow. The supplier is generally responsible for its equipment during the test service period and also for the way in which it is operated. The operator prepares the operating plan. It is recommended that the operator's personnel operate the equipment under the supplier's guidance during test service period.

6.2.3 Outages and interruptions

The conditions for allowable outages or interruptions during the test service period should be agreed upon in the contract.

6.2.4 Observations and records

During the test service period, the operator's personnel shall study the functioning of the equipment and record at regular intervals (at least once a day, at the beginning once an hour or even more often, and after any change of head, flow or output). Most of this data can be collected continuously by the data acquisition system. These records shall deal with the items in the following list where they apply:

- upstream and downstream water levels;
- pressures at hydraulic machine inlet and outlet sections;
- output/input and power swings;
- rate of flow (if possible);
- guide vane or needle opening, and runner blade position angles where applicable, or deflector position;

- temperatures in bearings, seals and lubricating oil;
- temperatures and pressures in pressure oil systems;
- speed for adjustable speed machines.

Observations shall also be made regarding:

- functioning of governor control system air supply unit and pressure oil units as well as all auxiliaries;
- action of interlocks and signalling devices;
- deformation of the hydraulic machine turbine casing or cover;
- air admission (extent and effectiveness);
- smell e.g. of oil vapour;
- circulation of lubricating oil and cooling water;
- effectiveness of lubrication at various points, filters and coolers;
- oil quality;
- water levels in drainage pits and presence of leaking oil;
- load-carrying ability of the machine;
- ambient air temperature and surface temperature of surrounding machines (such as electrical motor-generator);
- bearing vibrations and shaft displacement.

The personnel shall also observe noise, pressure pulsations, cavitation phenomena, bangs, other vibrations, leakage, etc. in the unit and record such phenomena and the circumstances under which they were observed.

6.2.5 End of test service period

When the test service period has been successfully completed, the commercial service under the responsibility of the operator begins. At the same time, the guarantee period begins and the contracting parties shall both place this on record.

It is recommended that critical spare parts are available (e.g. parts with long delivery time).

6.3 Commercial service

6.3.1 Guarantee period

6.3.1.1 General

During the guarantee period, the equipment shall not be operated outside the limits stated in the contract without agreement with the supplier.

6.3.1.2 Measurement and observations

The measurements and observations specified in 6.2 shall also be made during the commercial service. Depending on the operating conditions, the intervals between most measurements can be increased. The time and date for each measurement or observation shall be recorded.

6.3.1.3 Shutdown

If any trouble occurs and cannot be immediately corrected, e.g. a sudden temperature rise in bearings or pressure decrease in pressure oil unit, the unit shall be shut down.

6.3.1.4 Repair

When inspection indicates the need for a repair during the guarantee period, such repair should be made only in agreement with the supplier.

6.3.1.5 Field acceptance tests

Acceptance tests can be completed in accordance with the following:

- Efficiency, power and discharge tests should be performed according to IEC 60041 where applicable; unless otherwise by agreement between supplier and purchaser.
- Operating limits and restrictions should be considered, e.g. vibration and noise level, frequency variations, input limitations and/or efficiency decrease.
- In the case of turbines with movable runner blades, it is recommended that the cam relationship be verified by the index method of testing and a corrected cam, if required, be installed as soon as possible.

Relative efficiency can be checked by the index method, provided that sufficiently stable pressure difference measurements can be made.

Additional tests as required by the contract between the supplier and the purchaser should be conducted in this period.

6.3.1.6 Guarantee inspection

This subclause concerns only the guarantee items in the contract. On a date agreed upon by supplier and purchaser (usually just before the end of the guarantee period), a guarantee inspection of the unit shall be performed. In particular, all components to which cavitation pitting guarantees apply should be inspected (see Clause 4 of IEC 60609-1:2004).

The guarantee inspection should be carried out jointly by the purchaser and/or operator and a representative of the supplier, invited by the purchaser.

The guarantee inspection should cover operations and checks. This could include:

a) During steady-state operation:

- 1) operation of all mechanical parts (any knocking, abnormal noise, excessive vibration, temperature rise);
- 2) oil and/or water leaks;
- 3) lubricating, cooling and drainage systems (levels, flows, pressures, inlet and outlet temperatures);
- 4) governor control systems and associated fluid system;
- 5) values set for the action of safety devices, as compared with initial values;
- 6) turbine power and flow, pump input and discharge (or an index value proportional to flow), head, guide vane opening for pumping or needle opening for generation, as well as for no-load operation, no discharge operation (if applicable).

b) During transients:

- 1) maximum momentary speed and pressure variations;
- 2) maximum pressure variations in penstock;
- 3) pressure change in the oil pressure system, closing times of guide vanes, needles and pressure relief valves and main valve;
- 4) time to shut unit down;
- 5) unusual phenomena (any knocking, abnormal noise, excessive vibration, leaks, etc.).

c) At standstill:

- 1) pressures;
- 2) levels and temperatures of lubricating oil or governor fluid, oil analysis;
- 3) closed positions of guide vanes, needles, deflectors, runner blades, inlet and outlet gates and valves, governor control devices and servomotor, as compared with initial values (if applicable);
- 4) leakage of guide vanes, needles, inlet and outlet gates and valves, as compared with initial values (if applicable);
- 5) wear, damage and cracks on otherwise inaccessible parts, e.g. runners, needles, nozzles, runner seals, wearing rings, bearings and linkage.

The shutdown prior to guarantee inspection should be a full load rejection in order to check the regulating mechanism.

NOTE A full load rejection test increases fatigue damage. This test is optional, if operator and supplier agree.

After this inspection, a report shall be drawn up recording all observations made relating to the state of the machine and its functioning with respect to the guarantees. This report shall list all measures to be taken to bring the machine into accordance with the contractual specification, and if possible which party shall programme the work and bear the expense. If this guarantee inspection is not made concurrently with the field acceptance tests, the work can be postponed if it involves repairs due to wear in operation.

6.3.2 Post guarantee period

The measurements and observations specified in 6.2 can be continued after the guarantee period. The intervals between measurements and their extent are determined by the purchaser himself.

If any unusual phenomenon is recorded or observed, the purchaser should decide whether the unit should continue operation or shall be shut down for inspection and further actions.

6.3.3 Special operating conditions

6.3.3.1 Cold weather operation

Cold weather operation requires particular attention to small waterways, especially where they pass through unheated areas. If the water velocity is low and the conduit is not insulated, it can become blocked by ice.

NOTE Ice can also cause blockage of large waterways, particularly at trash-racks and guide vanes.

While a unit is running, its losses will usually produce enough heat to maintain good lubrication properties of oil. When a unit has been shut down for some time at low temperatures, the oil in bearings and governor system can be heated to reduce its viscosity.

6.3.3.2 De-watered operation

De-watered operation requires particular attention to cooling requirements. Separate cooling will be necessary at the shaft seal and, particularly for high-head hydraulic machinery with small runner clearances and high peripheral speeds, separate cooling of these clearances can be applicable. The supplier shall provide instructions for such operation, if applicable.

6.3.3.3 Sluicing (sluice operation)

For run of the river powerplants, the continuity of discharge can be of high importance, as it ensures constant water level at upstream and downstream of the plant, which is a crucial parameter for public safety and ship navigation.

The sluice operation of low head units (e.g. Kaplan or Bulb turbines) is a specific operation of the unit in order to ensure the discharge continuity after load rejection. This operation consists of passing an adequate discharge through the turbine without being connected to the grid.

As it is a very specific operation, various solutions can be implemented to allow continuous discharge under no-load condition: on cam operation above synchronous speed, off cam operation below synchronous speed, the use of aeration device or the use of a downstream gate for head decreasing during sluice operation.

Depending on the required sluicing discharge, the unit operation can also be combined and synchronized with dedicated by-pass valves or gates of the dam.

NOTE The text of this subclause is based on reference [1]¹.

6.3.3.4 Preservation for long non-operating period

A hydraulic machine should be maintained in a standstill and shutdown mode for an extended period (greater than approximately four months), with the intent that, when required, it can be safely returned to a normal operating mode within a relatively short period of time. Primary considerations for such operating conditions are:

- preventing deterioration, for example due to corrosion;
- preventing contamination of components where machine damage could occur when it is returned to normal operation, for example sediment in the main shaft seal; and
- preventing flooding of the hydraulic machine or the surrounding areas.

Specific measures that should be taken for preservation will depend on:

- the projected duration of the standstill/shutdown mode;
- the configuration, materials and design of the hydraulic machine;
- water quality, and
- overall configuration of the power plant.

A key decision to be made is whether to have the hydraulic machine in a de-watered condition. As a minimum, the intake gate or valve would typically be closed to relieve the high pressure on the machine. Either de-watered or watered to tailwater pressure, the appropriate drainage pump equipment should be maintained in a fully operating condition. Preventing moisture accumulation on instrumentation, electrical devices and electrical equipment by providing adequate heating, ventilation or other methods is important. The power supply should be assured for the drainage pumping, heating and ventilation systems. Contamination of bearing oil and hydraulic oil shall be prevented. Continuous loading on bearings without oil film should be avoided. Locks and safety devices would typically be in place. Periodic inspections shall be planned. Considerations that could be made include:

- requirements for periodic turning a horizontal shaft should be available to avoid non-elastic shaft deformation;
- periodic activating of the high pressure pumps e.g. axial and radial bearings and manually rotating the rotor;
- jacking of the rotor could be an advantage;
- use of other equipment during the preservation.

Care of generators, transformers and other equipment that are not part of this guideline should also be addressed.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

6.3.3.5 Energy dissipation

According to specific operating requirements related to public safety or environmental constraints, it can be necessary to divert part or complete discharge further to a load rejection of the hydraulic machines.

According to the type of machine and powerplant configuration, energy dissipation can be done by several means such as:

- dissipation through deflectors for Pelton units;
- dissipation through specific devices such as valves, nozzles, hollow jet, etc.

For each case, the long term energy dissipation leads to physical phenomena (such as cavitation, instabilities, vibrations, high noise level, mechanical stress and fatigue on components, etc.) which should be assessed and treated on a case to case basis.

6.3.3.6 Very low discharge

Operating and grid regulating requirements tend to extend the turbine operation to very low discharge.

For Francis turbines mainly, this type of operation can lead to instabilities, power fluctuation, high stress on the runner, cavitation and other type of undesirable effects.

Some other side effects can appear for Pelton units (e.g. instabilities or pressure peaks) and axial units (e.g. instabilities).

To allow continuous operation at very low discharge, some specific devices can be implemented such as fins in the draft tube, aeration devices, special (longer) runner cones.

6.3.3.7 Operation under hydro-abrasive erosion

Because operation under hydro-abrasive wear can damage the turbine tremendously, special caution shall be taken if the particle concentration in the operating water exceeds a certain limit.

The temporary shutdown of the units and closure of the intakes in periods of high concentrations and/or coarse particles should be taken into consideration. The switch-off concentration typically takes place with concentrations of 1 g/l to 10 g/l or above.

In case water with high particle concentration has been standing in the penstock for a long time, particles can deposit at the bottom of the penstock. Before starting the unit, the deposit should be flushed away.

Do not operate the unit in cases where the hydro-abrasive erosion damage jeopardizes the safety of operation.

If the unit will be in operation with higher amount of abrasive particles in particular the shaft seal shall be operated with clean flushing water.

For Pelton turbines the best ratio of produced electricity to hydro-abrasive erosion is at full opening of one or more nozzles. Contrary to other turbine types, Pelton turbines allow for reducing the hydro-abrasive erosion with reduced load by fully closing individual nozzles.

Leakage flow through closed nozzles in Pelton turbines and closed guide vanes in Francis or Kaplan turbines can cause severe locally concentrated erosion in seat rings or gaps. Closing the upstream inlet valves at standstill avoids this problem.

For Kaplan and Francis turbines, the best ratio of energy generation to hydro-abrasive erosion is obtained at the largest opening. No-load or low load operation shall be avoided as much as possible.

NOTE For more detail information, see IEC 62364:2019.

6.3.3.8 Poor water quality

In specific environmental condition, hydraulic machines might be discharging water of poor quality such as sea water, waste water or water with corrosive characteristics (e.g. after initial impounding of reservoir with vegetative decomposition).

The choice of materials or coating for turbines, valves and auxiliaries should be studied carefully taking into account the specific constraints caused by the water quality.

Other water parameters shall also be taken into account such as:

- high range of water temperatures leading to specific problems related to thermal effects on functional gaps, water cooling temperature variations, etc;
- presence of organic material in the water (e.g. bacteria, mussels) leading to specific problems, such as accelerated corrosion or filters/heat exchangers fouling (flow reduction).

6.3.3.9 Turbine used as a starting device

In some specific pump storage powerplants, the turbine can be used as a starting device for a pump (e.g. starting and speed increasing of the pump up to synchronous speed at no discharge condition) with several configurations:

- for ternary units, the turbine is on the same shaft and mechanically linked to the pump;
- for reversible units, the turbine can be connected to pump through an “electrical shaft” (e.g. turbine generator connected to the pump motor via an electrical connection).

In both cases, the specific conditions for both starting device and pump should be studied and associated constraints (e.g. mechanical torque, thermal conditions, instabilities, runaway speed of the turbine, etc.) should be assessed and carefully studied as it might constitute critical conditions related to turbine and/or pump design.

6.3.3.10 Temporary operation under relatively low/high head

The operation under low/high head can be applicable in the first stages of the plant operation. In this case, appropriate contract specifications should have been provided.

6.3.3.11 De-watering of upstream waterways through hydraulic machine

The hydraulic machine can be used in the upstream waterway drainage mechanism to evacuate large quantity of water from the headrace, channel, tunnel or the penstock.

For operation in the normal operating range:

- The turbine and generator unit could be operated and provides electricity to the grid in the normal operation range (power, temperature, vibration, speed, pressure, flow). The unit should be operated automatically and monitored as usual.

For operation below the turbine minimum operating head:

- In this case, requirements and limits of operation for de-watering should have been provided in the technical specifications and confirmed in the design phase. If it is not the case, the unit limits of operation shall be determined in collaboration with supplier and penstock designer considering the operator needs and power plant safety.

The drainage rate passing through the unit shall be determined by considering these items:

- Keep differential pressure (outside vs. inside penstock) below penstock design limit to prevent liner or rock collapsing, etc;
- The drainage rate shall be determined to not exceed the penstock air vent capacity;
- A minimum unit speed shall be maintained to preserve oil film of guide and thrust bearings and prevent bearing damage and overheating;
- The maximum speed shall be determined and monitored to prevent unit damages;
- The minimum upstream water level which the unit can be operated shall be determined to prevent drawing in air or sediment into the turbine;
- The ability to maintain the minimum cooling water flow during the dewatering process (current use of upstream water pressure for cooling needs);
- The minimum flow through the turbine to not damage needles, deflectors and guide vanes;
- Unit vibration limits;
- The unit condition shall be monitored (bearings temperature, vibration, pressure, speed) at all time during the drainage procedure.
- For Pelton turbine, it is recommended to use the deflectors to deviate the flow.

NOTE In case of any unusual condition observed, discharging the water through the unit is stopped and the remained water is drained through other ways (e.g. drainage sump of the powerhouse, etc.).

For plant affected by sediment accumulation at headrace or forebay particularly if hydro-abrasive particles is present, it is not recommended to operate the unit at upstream low water level and use the unit to remove this accumulation. It could lead to erosion damages on guide vanes, runner blades and hubs, filter plugging, runner seal bands clogging or erosion, taps clogging, shaft seal contamination, etc. If it cannot be avoided, the operator shall decrease the flow to reduce the quantity of sediment passing through the unit and taking into account the recommendation in 6.3.3.7.

Attention: Check which equipment is affected by the reduced penstock pressure e.g. main inlet valves using the penstock pressure for closing.

Annex A

(informative)

Description of different modes of operation of a reversible pump-turbine

A.1 General

The electrical grid requires stability. With reversible pump-turbines or ternary machine sets of turbine and pumps, ancillary services can be provided like quick acting power reserve or flexible load and voltage regulation. To supply these types of services the mode changing time between the operation modes shall fulfil the requirements of the relevant grid code. Because shorter mode changing times result in higher possible remuneration it is the intention in modern machine design to shorten these times.

A.2 From standstill (ready to operate) to standstill (auxiliary systems in operation) (01 and 10)

In both modes the unit is in standstill and the shaft is not rotating. It is for the operators to decide which auxiliary systems are in operation in each mode. In the first standstill mode most of the auxiliary systems are not operating and some units have an automated locking system that blocks the opening devices. Only the necessary systems to allow the start of turbine operation are in use. In the second standstill mode some auxiliary systems that take longer to start are already in operation, enabling the turbine to start more quickly.

The time between the two standstill modes is dependent upon the starting time of the different auxiliary systems. Parallel instead of sequential starting of these devices can shorten the time.

A.3 From standstill (auxiliary systems in operation) to no-load (synchronized) (12)

In this mode change the unit accelerates from zero speed to speed no-load and the generator will then synchronize to the grid frequency. In the time period the inlet valve (if applicable) shall be opened, the bearing lubrication shall allow speed increase, the cooling system shall work and the governor and excitation system shall operate. The time of this mode transition is mostly dependent of the starting time of the water, the mass of inertia of the rotating system and the time for synchronizing.

A.4 From no-load (synchronized) to standstill (21)

At the no-load position of the guide apparatus, the circuit breaker will be opened and the generator isolated from the grid. Shortly after the guide vanes close the speed decreases. To shorten the deceleration time the electrical brake, activated by the excitation, will also brake the rotating unit. At a defined percentage of speed ($\leq 30\%$) the mechanical brake will be activated to bring the rotating mass to rest. During this mode change the inlet valve will also be closed.

The time period is mostly dependent upon the capacity of the electrical brake, mechanical brake and friction losses of the rotating components. In Pelton units also braking nozzles are in use, because the friction losses of the Pelton runner in air are small.

A.5 From no-load to turbine operation (23)

After synchronizing the generator with the grid frequency the governor actuators open the guide vanes or needles and the load increases with an adjustable ramp to the figure set in the governor.

The time of this mode transition is mostly dependent on the starting time of the water and the limited figures of the transient calculation and the grid system.

A.6 From turbine operation to no-load (synchronized) (32)

By closing the guide vanes or needles to the no-load position the power of the unit will be reduced with an adjustable ramp. The time of this mode transition is mostly dependent on the limited figures of the transient calculation and the requirements of the grid system.

A.7 From no-load to synchronous condenser operation (turbine direction) (24)

SCO is an operation to adjust conditions in the electric power transmission grid. The SCO either generates or absorbs reactive power as needed to adjust the grid's voltage or to improve the power factor. For this purpose the rotating mass of the unit shall rotate freely without water in the runner. To reach this type of operation mode the runner shall be dewatered after synchronization.

This can be done either by a water depression system which blows air into the runner chamber and draft tube, or by emptying the runner chamber of water using gravity forces.

The water level shall be maintained below the runner using level sensors that can control the admission of further quantities of air into the runner chamber if necessary.

Depending upon the type of machine or security philosophy of the operator in SCO the inlet valve can be closed or remain open. A closed inlet valve has the advantage that the spiral case has only the low pressure of the tailwater, but the probable diffusion of air into the spiral case shall be released using a spiral case release pipe. Another possibility is to operate in SCO with a closed inlet valve but to bypass the inlet valve with a smaller pipe. This will increase the pressure in the spiral case to a level where no air will diffuse via the guide vane gaps into the spiral case. With an open inlet valve or if no inlet valve is installed, a higher amount of air and higher power for the synchronous condenser operation is necessary.

If the inlet valve or inlet valve bypass is open during SCO then a drain valve can be used to remove water that can leak through the guide vane gaps and accumulate around the runner periphery.

The time of this mode transition is mostly dependent of type, size and pressure of the water depression system or gravity emptying facility.

During this operating mode the cooling of the labyrinths and shaft seal (if applicable) shall operate and the cooling water shall be removed from the runner chamber.

A.8 From synchronous condenser operation (turbine direction) to no-load (42)

To shift back to the no-load operation the runner chamber shall be filled again with water and the guide apparatus shall be opened to the no-load position to allow the operation water to drive the unit instead of the power of the grid. The water depression system shall be shut off and the air shall be released out of the draft tube, runner chamber and spiral case. Filling of these spaces will be done preferably from the draft tube side of the turbine. If the rotating runner is filled with water, it will produce the so-called prime pressure. If this pressure is reached, the guide apparatus and inlet valve get a signal and open. The cooling water supply of the labyrinth will be closed.

The time of this mode transition is mostly dependent upon the procedure of the water filling and air release.

A.9 From synchronous condenser operation (turbine direction) to turbine operation (43:= 42 and 23)

For the start into turbine operation it is important that the spiral case is completely filled with water to avoid release of air into the penstock. It is recommended that this mode change runs via the mode change 42 following with the step 23.

Waiting for the primary pressure is not necessary if the spiral case is filled with water and release of air into the penstock is not possible. In this case opening of the inlet valve followed by the guide apparatus is possible before reaching this pressure.

A.10 From turbine operation to synchronous condenser operation (turbine direction) (34:= 32 and 24)

After closing the guide apparatus to the speed no-load position and the corresponding reduction of the power the mode change follows the procedures (34:= 32 and 24).

A.11 From standstill (auxiliary systems in operation) to synchronous condenser operation (turbine direction) 14 or (12 and 24)

This mode change can follow the two steps 12 and 24. But to accelerate the unit it is also possible to use a static frequency converter (SFC). In this case the water depression can be carried out if the unit is in standstill and does not rotate or in the acceleration process. In most cases the SFC does not have the power to accelerate the filled unit to nominal speed. In the acceleration process with the SFC the water in the runner and draft tube can then be depressed as described in the step 24. If the unit reaches the nominal speed the SFC will take over the synchronization with the grid. The time period is mostly dependent of the time for water depression, the power of the SFC and the synchronisation time.

A.12 From synchronous condenser operation (turbine direction) to standstill (41)

To go to standstill the connection to the grid shall be isolated and the water chamber and runner shall be filled to brake rotation speed of the unit. Additional electrical and mechanical braking shall be used to shorten the transition time. Further conditions are described in mode change 21.

A.13 From standstill (auxiliary system in operation) to SCO (pump direction) (15)

In this mode change the unit accelerates from zero speed to nominal speed in pump direction. To accelerate the unit a static frequency converter, a starting turbine or a pony motor can be used. The water depression can be carried out if the unit is in standstill and does not rotate or in the acceleration process. In most cases the starting device does not have the power to accelerate the filled unit to nominal speed. In the acceleration process or in standstill the water in the runner and draft tube will be depressed as described in the step 24. After the unit reaches the nominal speed, the generator will be synchronized with the grid. The time period is mostly dependent on the time for water depression, the power of the starting devices and synchronization time.

A.14 From synchronous condenser operation (pump direction) to pump operation (56)

In this mode-change the air in the runner chamber shall be released. While the air is released the pressure in the water filled runner will increase to the so called prime pressure in front of the guide vanes. In the air release time period the inlet valve will open.

Reaching the prime pressure a signal is given to the governor to open the guide apparatus to pump position. During opening of the guide vanes the power for pumping will increase. The time period is mostly dependent on the time for air release and prime pressure build-up.

A.15 From pump operation to synchronous condenser operation (pump direction) (65)

This mode change starts with closing the inlet valve and guide apparatus. If the guide vanes are closed the water depression systems dewater the runner and upper part of the draft tube. If the water is pressed out the power for pumping is reduced to the power needed for synchronous condenser operation. The time period is mostly dependent on the time for water release and prime pressure reduction.

A.16 From synchronous condenser operation (pump direction) to standstill (51)

To go to standstill the connection to the grid shall be isolated and the water chamber and runner shall be filled to brake rotation speed of the unit. Additional electrical and mechanical braking shall be used to shorten the transition time. Further conditions are described in mode change 21.

A.17 From operation (pump direction) to standstill (61)

This mode change starts with closing the guide apparatus. If the guide apparatus has closed to an opening of no-load position, the circuit breaker will open and disconnect the generator from the grid. During the deceleration of the rotating speed the inlet valve will be closed. Electrical and mechanical braking will shorten the time from nominal speed to standstill. The time period is mostly dependent on the time for electrical and mechanical braking and the friction characteristic of the rotating components.

A.18 From standstill to pump operation (16)

In this composed mode change standstill to pump – operation (16:= 15 and 56) the intermediate step synchronous condenser operation in pump direction can be skipped as separate operation mode even if the operation mode situation actually exists for a short time. This procedure shortens the total mode change time.

A.19 From turbine – full load to pump operation (36)

In this composed mode change the pump-turbine shall change the direction of speed which can only be realized via the standstill of the unit. But the different modes on the way like >Turbine No-Load > Standstill > Synchronous condenser Pump direction can be skipped as separate operation modes even if the operation mode situation actually exists for a short time. This procedure shortens the total mode change time.

A.20 From pump operation to turbine full load – quick change over (63)

This operating mode allows a quick mode change from pump operation to turbine operation. In pump operation the guide vanes will be closed. Near no-load position the guide apparatus stops and the circuit breaker will open. Because the input power for pumping is not anymore available the water flow in headwater direction gets smaller and the speed in pump direction decreases. After a short time the water flow as well the speed will change the direction. The water flow will accelerate the unit into turbine direction. The governor will then take over the regulation of the guide apparatus and synchronizes the generator to the grid. From this no-load mode the guide apparatus will open and the output power will increase.

During this mode change the inlet valve remains open.

NOTE 63' is a changeover via 61 followed by 13.

A.21 Hydraulic short circuit

If a ternary machine set is used, an additional operation mode is possible – the hydraulic short circuit. When operating at a constant speed, the power consumption of a pump is always constant for a given operating head and power in the pump cycle cannot be varied as it can in the turbine cycle with guide vane opening changes. To secure the operating of the pump also in times of less available grid power, the missing power is generated by a turbine at the same set shaft. The pumped water is guided full or in part direct to the turbine inlet at the same set, only the remaining water is passing the penstock. This operation scenario is called “hydraulic short circuit”. The grid “sees” only the difference between pump load and turbine generation at the shaft. The hydraulic short circuit can be done with either Francis or Pelton turbines. With the wide load range adjustment available to Pelton turbines the performances of such a set is smooth over the whole power range. In recent years a second great advantage of the hydraulic short circuit has become apparent. During this operation mode, the motor-generator is permanently synchronized which allows extremely fast switching from no-load running to nominal load in pump or turbine mode.

NOTE Text of A.21 is taken out of [2].

Annex B (informative)

Tests for adjustable (variable) speed hydraulic machinery in combination with a double fed generator/motor-generator

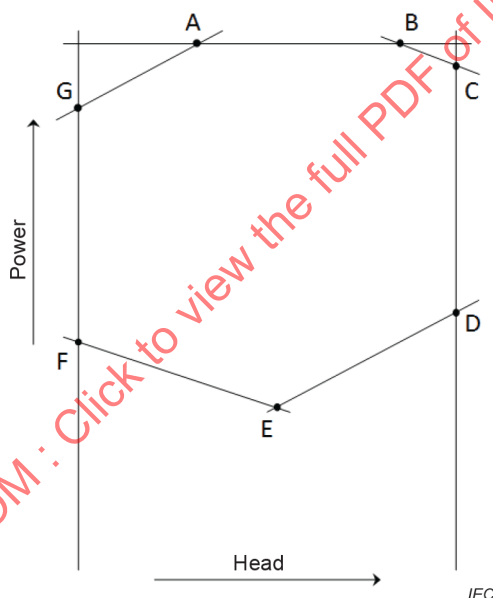
B.1 Operating zone and test condition

B.1.1 General

In steady state operation, the adjustable (variable) speed pumped storage system is operated within the operating zones under several limitations to obtain better operating conditions.

B.1.2 Pumping operation

In the pump operating zone, any operating point has an optimum guide vane opening according to the pump input and the pump head. Limits of the pumping operation zone are shown in Figure B.1.

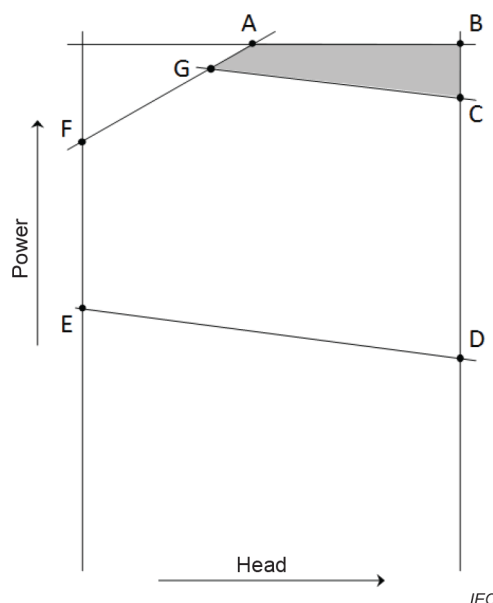


- Line A-B is the maximum input;
- Line B-C is the upper limit of the speed range;
- Line C-D is the maximum head;
- Line D-E is the limit caused by cavitation and/or reverse flow;
- Line E-F is the lowest limit of the speed range;
- Line F-G is the minimum head;
- Line G-A is a limit caused by cavitation.

Figure B.1 – Pumping operation zone

B.1.3 Generation operation

The grey coloured area in Figure B.2 shows the optimum speed area having the maximum efficiency. Except for this area, the speed is chosen within the speed range (generally, the lowest speed is selected).



- Line A-B is the maximum output;
- Line B-C-D is the maximum head;
- Line D-E is a limit caused by cavitation and/or pressure pulsations;
- Line E-F is the minimum head;
- Line F-A is the maximum turbine discharge;
- Line G-C is the limit between the grey coloured area and the non-grey coloured area.

Figure B.2 – Generation operation zone

B.1.4 Test conditions

It is recommended to discuss and make an agreement about the test conditions based on transient analysis showing critical cases.

B.2 Test items

B.2.1 Step response test by power setter

The purpose of this test is the confirmation of the transient responses of the exciter, the governor and others under the step changes of the input/output by power setter.

Operate the unit close to the nominal speed at the medium input/output. Increase and/or decrease in small steps the power setter value. Confirm the transient responses of the related parameters such as active power, reactive power, speed, guide vane opening, and others.

B.2.2 Guide vane opening vs. power characteristic measurement in pump and turbine operation

The purpose of this test is the confirmation of the optimum speed and the optimum guide vane opening. Operate the unit at minimum input/output power. Confirm that the operation condition is stable. Measure the related parameters (e.g. speed, guide vane opening, power, head, ...).

After a measurement, increase the rated input/output by around 10 %. After confirming the operation condition is stable, measure the related parameters.

Repeat this measurement until the rated input/output power is reached.

A similar procedure is repeated for decreasing input/output power.

B.2.3 Confirmation of preventive control of the speed deviation from the defined speed range

In the case that the input/output power is directly controlled by the exciter, the actual speed can transiently deviate from the defined speed range. In order to continue the operation, a preventive control of speed deviation is provided to avoid any excessive speed change. The purpose of this test is the confirmation of this control function.

Change the set up speed (upper and lower limits) of this control within the defined speed range. Increase and/or decrease in small steps the power setter value in order to change the speed to reach the set up speed (upper and lower limits) of this control. Confirm the transient behaviour of the exciter, the guide vanes and others. Measure the related parameters (e.g. speed, guide vane opening, power, head, ...).

B.2.4 Load (input/output) rejection test

B.2.4.1 Pumping operation

It is recommended to start the test from the minimum input power, and then increase the input power step by step (e.g. at least 3 tests: min. medium, max. power) until the maximum input power.

B.2.4.2 Generation operation

The test procedures are the same as those of the conventional single-speed hydraulic machine.

B.2.4.3 Test for multiple units

In case of multiple units, which share a common waterway, it is necessary to confirm the transient behaviour of the adjustable (variable) speed pumped storage system under the transient fluctuation of common waterway pressure due to the start-up, normal stop and emergency shutdown of the other units.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60545:2021

Annex C (informative)

Commissioning program

Table C.1 – Example for a commissioning procedure programme

Item	Reference	Work to be executed	Attended by	date	Commissioning Engineer Signature	Conclusion documentation Notes
Turbine	Contract Page	Initial run				
	xxx	Initial start	All	xxx	xxx	xxx
		Preconditions: All partners involved in this commissioning, shall be aware of the actual condition of their system and shall agree to continue with the program. The commissioning personnel shall be placed around the unit for visual and acoustical supervision The turbine opening/closing for initial start should be manually controlled Mechanical brakes shall be disengaged. High pressure lifting pump running Maintenance seal released				
		General procedure: Start up the unit by using the step by step automatic mode or manually up to the turbine governor start signal Open the guide vanes until the unit starts to rotate Immediately close the guide vanes. The speed should not exceed approx. 10 % of the nominal speed During run out, check the unit for abnormal noise, scraping or other phenomena on the bearings, the shaft, the runner, etc. Check standstill	xxx	xxx	xxx	xxx
		Recordings during initial start Carry out the following checks and recordings during the first step of operation: Observation and recording of bearing temperatures Observation of oil flow to the bearings Observation of shaft seal leakage Vibration measurement	xxx	xxx	xxx	xxx
...	...	...				

Bibliography

- [1] Cazenave P.: *Protection of low head hydropower units against runaway conditions – Sluicing operation*. SHF Third hydraulic session, Thessalonique 7 to 9 October 1987
- [2] Spitzer F., Penninger G.: 2008, *Pumped Storage Power Plants – Different Solutions for Improved Ancillary Services through Rapid Response to Power Needs*. HydroVision 2008 Sacramento
- [3] IEC 60041, *Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines*
- [4] IEC 60204-1:2016, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements*
- [5] IEC 60308, *Hydraulic turbines – Testing of control systems*
- [6] IEC 60609-1:2004, *Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Cavitation pitting evaluation – Part 1: Evaluation in reaction turbines, storage pumps and pump-turbines*
- [7] IEC TR 61364:1999, *Nomenclature for hydroelectric powerplant machinery*
- [8] IEC 62006, *Hydraulic machines – Acceptance tests of small hydroelectric installations*
- [9] IEC 62256:2017, *Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Rehabilitation and performance improvement*
- [10] IEC 62364:2019, *Hydraulic machines – Guidelines for dealing with hydro-abrasive erosion in Kaplan, Francis and Pelton turbines*
- [11] IEC 63132 (all parts), *Guidance for installation procedures and tolerances of hydroelectric machines*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60545:2021

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	53
1 Domaine d'application	55
2 Références normatives	55
3 Termes et définitions	55
3.1 Machines et équipements	56
3.2 Essais, périodes, modes de fonctionnement	57
4 Informations sur les conditions de fonctionnement	59
4.1 Généralités	59
4.2 Documents, données et instructions	60
4.3 Etape finale du montage avant la mise en service	61
5 Mise en service	62
5.1 Généralités	62
5.1.1 Vue d'ensemble	62
5.1.2 Période de mise en service	63
5.1.3 Conditions de fonctionnement lors de la mise en service	63
5.1.4 Mesures lors de la mise en service	63
5.1.5 Réseau et conditions hydrauliques	63
5.1.6 Conditions préalables à la mise en service	63
5.1.7 Santé et sécurité lors de la mise en service	64
5.2 Coordinateur de mise en service et organisation	65
5.3 Contrôle avant démarrage	66
5.3.1 Généralités	66
5.3.2 Avant le remplissage des adductions	66
5.3.3 Remplissage des adductions	66
5.3.4 Avant la mise en eau	67
5.3.5 Mise en eau de la machine	68
5.3.6 Utilisation de la machine comme une pompe pour le premier remplissage de la conduite forcée	69
5.4 Premier tour de roue	69
5.5 Période de régime d'essai	70
5.5.1 Généralités	70
5.5.2 Essais en marche à vide	70
5.5.3 Premier couplage au réseau électrique	72
5.5.4 Déclenchement et marche en charge	73
5.5.5 Essais supplémentaires pour la machinerie hydraulique à vitesse ajustable (variable) combinée à un alternateur/générateur-moteur à double alimentation	77
5.5.6 Modes d'exploitation et changements de mode	78
5.5.7 Modes de régulation	79
5.5.8 Modes d'exploitation avec fonctions particulières	79
5.5.9 Essais d'emballlement	80
5.5.10 Autres essais	80
5.6 Fin de la mise en service	81
6 Exploitation	81
6.1 Généralités	81
6.2 Période de marche semi-industrielle	81
6.2.1 Généralités	81

6.2.2	Responsabilités	81
6.2.3	Indisponibilités et interruptions	81
6.2.4	Observations et relevés	82
6.2.5	Fin de la période de marche semi-industrielle	82
6.3	Marche industrielle.....	83
6.3.1	Période de garantie	83
6.3.2	Période postérieure à la garantie	84
6.3.3	Conditions de fonctionnement particulières.....	85
Annexe A (informative) Description des divers modes d'exploitation d'une pompe-turbine réversible		90
A.1	Généralités	90
A.2	Du mode arrêt (prêt à démarrer) au mode arrêt (systèmes auxiliaires en marche) (01 et 10)	90
A.3	Du mode arrêt (systèmes auxiliaires en marche) au fonctionnement marche à vide (synchronisé) (12)	90
A.4	Du fonctionnement marche à vide (synchronisé) au mode arrêt (21)	90
A.5	Du fonctionnement marche à vide au fonctionnement en turbine (23).....	91
A.6	Du fonctionnement en turbine au fonctionnement marche à vide (synchronisé) (32).....	91
A.7	Du fonctionnement marche à vide au mode compensateur synchrone (sens turbinage) (24)	91
A.8	Du fonctionnement en compensateur synchrone (sens turbinage) au fonctionnement marche à vide (42)	92
A.9	Du fonctionnement en compensateur synchrone (sens turbinage) au fonctionnement en turbine (43: = 42 et 23).....	92
A.10	Du fonctionnement en turbine au fonctionnement en compensateur synchrone (sens turbinage) (34: = 32 et 24).....	92
A.11	Du mode arrêt (systèmes auxiliaires en marche) au fonctionnement en compensateur synchrone (sens turbinage) 14 ou (12 et 24)	92
A.12	Du fonctionnement en compensateur synchrone (sens turbinage) au mode arrêt (41)	92
A.13	Du mode arrêt (systèmes auxiliaires en marche) au fonctionnement en compensateur synchrone (sens pompage) (15).....	93
A.14	Du fonctionnement en compensateur synchrone (sens pompage) au fonctionnement en pompe (56).....	93
A.15	Du fonctionnement en pompe au fonctionnement en compensateur synchrone (sens pompage) (65).....	93
A.16	Du fonctionnement en compensateur synchrone (sens pompage) au mode arrêt (51)	93
A.17	Du fonctionnement (sens pompage) au mode arrêt (61)	93
A.18	Du mode arrêt au fonctionnement en pompe (16).....	94
A.19	Du fonctionnement en turbine à pleine charge au fonctionnement en pompe (36).....	94
A.20	Du fonctionnement en pompe au fonctionnement en turbine à pleine charge – inversion rapide (63)	94
A.21	Court-circuit hydraulique	94
Annexe B (informative) Essais supplémentaires pour la machinerie hydraulique à vitesse ajustable (variable) combinée à un alternateur/générateur-moteur à double alimentation		95
B.1	Plage de fonctionnement et conditions d'essai	95
B.1.1	Généralités	95
B.1.2	Fonctionnement en pompe.....	95

B.1.3	Génération de puissance	95
B.1.4	Conditions d'essai	96
B.2	Eléments des essais	96
B.2.1	Essai de la réponse indicielle à l'aide du régulateur de puissance	96
B.2.2	Mesure de l'ouverture des aubes directrices en fonction de la caractéristique de puissance, en mode pompage et turbinage	96
B.2.3	Confirmation du contrôle préventif de l'écart de vitesse par rapport à la plage de vitesses définie	97
B.2.4	Essai de déclenchement (pompage/turbinage).....	97
Annexe C (informative)	Programme de mise en service	98
Bibliographie.....		99
Figure 1 – Procédure de mise en service		62
Figure 2 – Exemple d'organisation de mise en service		65
Figure 3 – Modes de fonctionnement d'une pompe-turbine réversible		79
Figure B.1 – Plage de fonctionnement en pompage		95
Figure B.2 – Plage de génération de puissance		96
Tableau C.1 – Exemple de programme de mise en service.....		98

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60545:2021

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**LIGNES DIRECTRICES POUR LA MISE EN SERVICE ET L'EXPLOITATION
DES TURBINES HYDRAULIQUES, DES POMPES-TURBINES ET DES
POMPES D'ACCUMULATION****AVANT-PROPOS**

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60545 a été établie par le Comité d'études 4 de l'IEC: Turbines hydrauliques.

Cette seconde édition annule et remplace la première édition parue en 1976 et la première édition de l'IEC 60805 parue en 1985. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) les aspects traités sont essentiellement la mise en service et l'exploitation de la machine hydraulique. Les interfaces avec la machine électrique ne sont mentionnées que lorsqu'elles permettent une meilleure compréhension du contexte;
- b) les définitions des essais pour la mise en service et la vitesse variable ont été actualisées selon l'état de l'art;

- c) les feuilles d'enregistrement "mesures pendant le montage" ont été exclues (voir l'IEC 63132 (toutes les parties);
- d) la maintenance a été exclue (voir l'IEC 62256).

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
4/407/FDIS	4/420/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2. Il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

Le comité a décidé que le contenu du présent document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture du présent document indique qu'il contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

LIGNES DIRECTRICES POUR LA MISE EN SERVICE ET L'EXPLOITATION DES TURBINES HYDRAULIQUES, DES POMPES-TURBINES ET DES POMPES D'ACCUMULATION

1 Domaine d'application

Le présent document a pour objet d'établir, d'une manière générale, des procédures appropriées pour la mise en service et l'exploitation des machines hydrauliques et des équipements associés, et d'indiquer la façon dont il convient de mettre en service et d'exploiter ces machines et équipements.

La mise en service et l'exploitation des équipements connexes ne sont pas décrites en détail dans le présent document, mais sont prises en compte dans la procédure de mise en service et d'exploitation comme une étape distincte.

Les machines d'une puissance pouvant atteindre environ 15 MW et présentant des diamètres de référence d'environ 3 m sont généralement couvertes par l'IEC 62006.

Il est entendu qu'une ligne directrice de ce type n'est contraignante que si un accord a été conclu entre les parties contractantes.

Les lignes directrices excluent les questions d'intérêt purement commercial, sauf celles qui sont étroitement liées à la conduite de la mise en service et de l'exploitation.

Les lignes directrices ne couvrent pas les adductions, les vannes, les pompes de drainage, les équipements de refroidissement à eau, les alternateurs, les générateurs-moteurs, les équipements électriques (par exemple les disjoncteurs, les transformateurs), etc., sauf lorsqu'ils ne peuvent pas être séparés de la machinerie hydraulique et de ses équipements.

Lorsque les lignes directrices précisent que les documents, les plans ou les informations sont mis à disposition par un ou plusieurs fournisseurs, il convient que chaque fournisseur fournisse les informations appropriées, concernant uniquement sa propre production.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>;
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1 Machines et équipements

3.1.1

machinerie hydraulique

turbines, pompes d'accumulation, pompes-turbines, vannes, paliers guides et pivots utilisés dans les centrales hydroélectriques et les centrales de pompage

Note 1 à l'article: Le terme machinerie hydraulique inclut le coupleur hydrodynamique et tous les types de vannes de garde principales.

Note 2 à l'article: Les termes concernant les systèmes de contrôle des turbines hydrauliques ne sont pas inclus; se référer à l'IEC 60308.

[SOURCE: IEC TR 61364:1999, 3.1, modifié – Ajout de la Note 1 à l'article.]

3.1.2

machine hydraulique

turbines hydrauliques à action et à réaction, pompes d'accumulation et pompes-turbines

[SOURCE: IEC TR 61364:1999, 3.1, modifié]

3.1.3

turbine

machine qui transforme l'énergie hydraulique en énergie mécanique

Note 1 à l'article: Le terme turbine comprend une pompe-turbine fonctionnant comme une turbine.

Note 2 à l'article: Le terme turbine n'inclut ni la vanne d'entrée ou de sortie ni l'alternateur ou le régulateur associé.

[SOURCE: IEC TR 61364:1999, 4.1, modifié – Ajout de la Note 1 à l'article.]

3.1.4

pompe

machine qui transforme l'énergie mécanique en énergie hydraulique afin de stocker l'eau qui sera utilisée ultérieurement pour produire de l'énergie électrique

Note 1 à l'article: Le terme pompe s'applique à une pompe d'accumulation et une pompe-turbine fonctionnant comme une pompe.

Note 2 à l'article: Le terme pompe n'inclut ni la vanne d'entrée ou de sortie, ni le moteur associé.

[SOURCE: IEC TR 61364:1999, 4.1, modifié – Remplacement de "pompe d'accumulation" par "pompe" dans le terme principal, et ajout de la Note 1 à l'article.]

3.1.5

dispositif de démarrage

équipement de démarrage pour un générateur-moteur ou un moteur

EXEMPLE 1 moteur poney

EXEMPLE 2 turbine lanceuse

EXEMPLE 3 convertisseur de fréquence

EXEMPLE 4 coupleur hydrodynamique

EXEMPLE 5 dos à dos

Note 1 à l'article: Chaque exemple représente une méthode différente pour démarrer la machine hydraulique fonctionnant comme une pompe.

3.1.6**dispositif d'ouverture**

les aubes directrices ou le pointeau des turbines à action et ses composants d'entraînement (systèmes de régulation)

3.1.7**machine électrique**

les alternateurs et les générateurs-moteurs de type synchrone y compris les équipements d'excitation ainsi que ceux de type asynchrone

3.1.8**équipement associé**

toutes les machineries supplémentaires nécessaires pour permettre l'exploitation de la machine hydraulique (le cas échéant)

EXEMPLE 1 robinets sphériques d'entrée ou vannes de sortie, vannes d'aspirateur, vannes cylindriques (vannes fourreau)

EXEMPLE 2 vannes de décharge

EXEMPLE 3 accouplements

EXEMPLE 4 multiplicateurs

EXEMPLE 5 système de freinage

EXEMPLE 6 système de dénoyage par dépression

EXEMPLE 7 système d'alimentation en air

EXEMPLE 8 systèmes de réfrigération

EXEMPLE 9 systèmes de drainage

EXEMPLE 10 système de vidange

EXEMPLE 11 systèmes d'alimentation en huile

3.2 Essais, périodes, modes de fonctionnement**3.2.1****mise en service**

essai d'un équipement neuf ou réhabilité pour vérifier sa conformité aux spécifications contractuelles, ainsi que l'exploitation de l'équipement jusqu'à son acceptation formelle par l'acquéreur

3.2.2**exploitation**

utilisation de l'équipement pour convertir l'énergie, ou un état de disponibilité du matériel pour une telle utilisation

3.2.3**maintenance**

activité effectuée sur l'équipement afin de le maintenir dans un état de fonctionnement optimal

3.2.4**essai avant démarrage**

essai entre la fin du montage de l'équipement et le premier tour de roue

3.2.5**premier tour de roue**

premier mouvement des pièces tournantes après le montage

3.2.6

essai

exploitation permettant d'obtenir un ensemble de données pour un essai spécifique

3.2.7

régime d'essai

utilisation de l'équipement à des fins d'essai

3.2.8

période de régime d'essai

période d'essai suivant le premier tour de roue et suivi par la marche semi-industrielle

Note 1 à l'article: Comprend des marches à vide pour la vérification des équipements de la centrale, ainsi que des marches en charge en mode turbinage et pompage, des déclenchements et des essais de pompe-turbine en cas d'interruption de l'alimentation en énergie.

3.2.9

essai en marche à vide

exploitation de la machine sans raccordement au réseau électrique

3.2.10

essai à débit nul

exploitation de la machine en mode pompe avec la vanne de refoulement fermée

3.2.11

période de marche semi-industrielle

exploitation de l'équipement pendant une période convenue

Note 1 à l'article: Pendant cette période, le fournisseur est en général responsable.

3.2.12

marche industrielle

exploitation de l'équipement sous la responsabilité de l'exploitant

3.2.13

période de marche industrielle

période commençant après la réception et comprenant les périodes d'exploitation, ainsi que les périodes pendant lesquelles l'équipement peut être hors service pour l'entretien, l'inspection, les réparations, etc.

3.2.14

période de garantie

période, s'étendant sur une partie convenue de la période de marche industrielle, pendant laquelle le fournisseur a des obligations commerciales de corriger les défauts de son équipement afin de le rendre conforme au contrat

Note 1 à l'article: A cet effet, des essais conformes aux parties appropriées de 6.3.1.5 sont réalisés.

3.2.15

inspection

vérification de l'état de l'équipement

3.2.16

réparation

remise en état après usure ou détérioration

3.2.17

modification

intervention destinée à améliorer les performances

3.2.18 réhabilitation

rétablissement de la capacité et/ou du rendement de l'équipement à des niveaux proches de ceux de l'équipement neuf; augmentation de la durée de vie de l'équipement par le rétablissement de son intégrité mécanique

[SOURCE: IEC 62256:2017, Article 3]

3.2.19 fournisseur

entité (par exemple un fabricant, un maître d'œuvre, un installateur, un intégrateur) qui fournit l'appareillage ou les services associés à la machine

Note 1 à l'article: L'organisation d'utilisateurs peut aussi agir en tant que son propre fournisseur.

[SOURCE: IEC 60204-1:2016, 3.1.62, modifié – Ajout de la Note 1 à l'article.]

3.2.20 exploitant

entité (par exemple le propriétaire de l'équipement ou l'entité engagée par lui) qui est responsable de l'exploitation de l'équipement

4 Informations sur les conditions de fonctionnement

4.1 Généralités

Le présent article décrit les informations qu'il convient que le ou les fournisseurs communiquent à l'exploitant.

Une bonne connaissance, par l'exploitant, de la machine et de ses accessoires, constitue une exigence fondamentale pour une exploitation et un entretien corrects.

Le fournisseur doit transmettre à l'exploitant tous les documents, instructions et informations nécessaires. Ceux-ci doivent comprendre au minimum:

- des plans généraux (par exemple, l'installation générale de la machine hydraulique, de la centrale hydroélectrique...);
- des listes de matériel, descriptions et certificats d'essai pour les pièces principales;
- des diagrammes fonctionnels;
- les instructions d'exploitation (en particulier la plage de fonctionnement), d'inspection et de maintenance de l'équipement fourni;
- les instructions de montage et de démontage;
- des instructions de sécurité;
- la liste des pièces de rechange, comme indiqué dans le contrat;
- les contraintes à prendre en compte.

Ces documents, même non définitifs (mais mis à jour et finalisés après la marche semi-industrielle), doivent être remis à l'exploitant dès lors que la situation l'exige, et en tout état de cause, avant le premier tour de roue afin d'être revus par l'exploitant.

L'exploitant doit définir des contraintes supplémentaires (par exemple concernant la navigation sur les rivières, la stabilité des pentes, la sécurité publique...).

4.2 Documents, données et instructions

Les documents présentés par le fournisseur doivent comprendre les données suivantes, dont certaines peuvent être modifiées en fonction de l'expérience acquise lors de la mise en service.

- 1) Les diagrammes caractéristiques relatifs aux hauteurs de chute, au débit, à la puissance, à l'ouverture (par exemple aube directrice ou pointeau), à la vitesse, au niveau d'eau aval et aux limites de fonctionnement; également, le cas échéant, la position de la pale ou du déflecteur. Des exemples de tels diagrammes sont la caractéristique de la pompe et la colline de rendement de la turbine.
- 2) Déclaration de similitude du modèle et du prototype, selon le contrat.
- 3) Instructions d'exploitation et de sécurité sur les vannes d'entrée et de sortie de la machine et les vannes de décharge. Le verrouillage entre vannes amont et aval doit être pris en compte.
- 4) Schémas séquentiels détaillés, représentant les changements ordinaires d'un mode de fonctionnement à un autre (turbinage, pompage, fonctionnement compensateur synchrone, arrêt) ainsi que les actions dues à divers défauts électriques ou mécaniques.
- 5) Ouverture des aubes directrices (ou ouverture du pointeau des turbines à action) pour les limites à vide, de démarrage et de cavitation, en fonction des niveaux d'eau amont et aval ainsi que, le cas échéant, de la position des pales ou du déflecteur.
- 6) Calculs transitoires (présentation du modèle, données d'entrée, critères de conception/valeur admissible, cas de charge et description des valeurs maximales et minimales pour la pression, la vitesse, le débit, la marge de sécurité, références), selon le contrat.

NOTE 1 Les temps de fermeture et d'ouverture des joints d'étanchéité de la vanne principale sont pris en considération.

- 7) Caractéristiques du régulateur et du servomoteur (par exemple, relation entre l'angle des aubes directrices et la course du servomoteur, came de conjugaison, le cas échéant).
- 8) Le cas échéant, description du système de dénoyage par dépression d'eau, ou du système de vidange, et du système de renoyage de la roue, données concernant les réservoirs d'air comprimé (y compris la capacité des réservoirs d'air, la pression de commande, etc.), les compresseurs, les vannes, les dispositifs de commande automatique (tant pour le système de dénoyage par dépression que pour le système de compensation des fuites d'air), les niveaux d'eau maximal et minimal dans l'aspirateur, etc.
- 9) Réglage du dispositif de protection contre la survitesse, information de la valeur de consigne (valeur d'arrêt).
- 10) Le cas échéant, description du type d'accouplement entre l'arbre de la machine hydraulique et l'arbre du générateur-moteur et du dispositif de synchronisation.
- 11) Caractéristiques des fluides pour le système de régulation. Spécifications des filtres et informations sur la fréquence et la méthode de purification.
- 12) Systèmes de commande et d'asservissement. Description du type et du système de commande de la vanne principale, du distributeur et des pales mobiles de la roue (le cas échéant) ainsi que des lois de fermeture et d'ouverture de la vanne principale, des aubes directrices et des pales.
- 13) Vitesse maximale d'emballement en régime permanent et variations maximales transitoires de vitesse et de pression à certaines hauteurs de chute spécifiques (hauteur d'eau maximale / minimale / assignée).

NOTE 2 La valeur de la vitesse est inférieure à la vitesse maximale pour la sécurité de la machine.

- 14) Vitesse minimale de fonctionnement continu (selon la conception du palier de butée et des autres paliers).
- 15) Hauteur d'eau minimale de fonctionnement pour le premier tour de roue.
- 16) Description des systèmes de lubrification, indiquant la quantité et les caractéristiques des lubrifiants et la fréquence de remplacement.

- 17) Le cas échéant, données sur le système de soulèvement par injection d'huile haute pression pour les pièces tournantes.
- 18) Limites de vitesse ou de temps en dessous desquelles le fonctionnement du système de soulèvement par injection d'huile haute pression du palier de butée est nécessaire.
- 19) Le cas échéant, les vitesses maximale et minimale pour le fonctionnement des freins électriques et mécaniques.
- 20) Niveaux et pressions d'huile intermédiaires auxquels il convient de démarrer les pompes et les compresseurs ou de déclencher des alarmes; également des données pour les dispositifs de signalisation automatique et d'arrêt d'urgence.
- 21) Températures maximales et minimales dans les paliers, les joints et dans les circuits de pression d'huile ou de fluide (valeurs d'alarme et d'arrêt).
- 22) Pressions, débits et niveaux maximaux et minimaux dans les systèmes de pression d'huile ou de fluide et les paliers (valeurs d'alarme et d'arrêt).
- 23) Le cas échéant, températures et pressions maximales et minimales dans la tête d'alvéoles (valeurs d'alarme et d'arrêt).
- 24) Charge maximale acceptable du palier de butée, si cela est exigé.
- 25) Valeurs de conception et tolérances pour le montage des machines (jeux des paliers et des joints, inclinaison, circularités, concentricités).
- 26) Pressions et débits maximaux et minimaux dans les réfrigérants (valeurs d'alarme et d'arrêt).
- 27) Niveaux d'eau maximaux dans les puits de drainage (valeurs d'alarme et d'arrêt).
- 28) Données sur les moteurs électriques, les pompes et autres accessoires.
- 29) Instructions de sécurité pour le personnel en charge des essais et de l'exploitation.
- 30) Autres données importantes qui sont considérées comme nécessaires par l'exploitant ou le fournisseur pour une exploitation sûre de l'équipement ou pour l'instruction du personnel (par exemple la poussée hydraulique axiale, la masse des parties tournantes de la turbine/pompe-turbine et de l'alternateur/du générateur-moteur).

4.3 Etape finale du montage avant la mise en service

Au cours de la dernière étape du montage, le fournisseur doit donner des instructions appropriées à l'exploitant et fournir les informations indiquées en 4.2 sur le fonctionnement de l'équipement.

Pendant la phase finale du montage, le démarrage, les essais et la marche semi-industrielle, l'exploitant doit mettre son personnel à la disposition du fournisseur pour qu'il bénéficie d'instructions et d'une formation, afin qu'il soit correctement capable de faire fonctionner la machine et les équipements associés.

Après le premier remplissage des réservoirs d'huile des paliers et du régulateur, il est recommandé de prélever des échantillons d'huile qu'il convient de conserver comme référence de l'huile au début de la mise en service.

Après le premier remplissage des roues Kaplan "remplies d'eau", il est recommandé de prélever des échantillons du remplissage (eau et additifs) qu'il convient de conserver comme référence au début de la mise en service.

Il est recommandé de disposer de pièces de rechange essentielles (par exemple, des pièces soumises à un délai de livraison étendu).

5 Mise en service

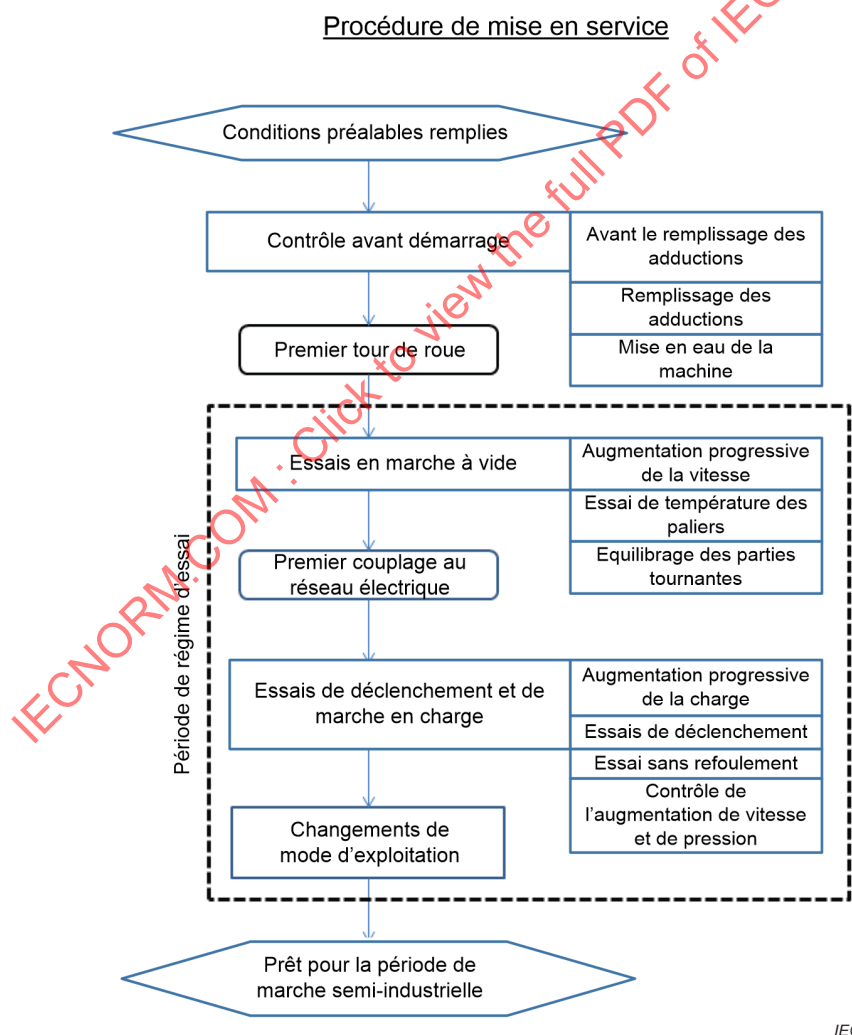
5.1 Généralités

5.1.1 Vue d'ensemble

Le présent article traite de la mise en service de la machinerie hydraulique. Elle décrit et donne des conseils et des recommandations sur les conditions (préalables), les mesures, la santé et la sécurité, et l'organisation. Des essais lors de la mise en service et des documents finaux sont suggérés.

Pendant la durée de vie de la machine hydraulique, la période de mise en service désigne le délai pendant lequel le fournisseur doit démontrer à l'exploitant (propriétaire) que l'équipement répond aux caractéristiques requises et est prêt à fonctionner en exploitation commerciale. Comme l'équipement est exposé pour la première fois aux charges réelles, la procédure de mise en service doit être effectuée avec le soin et la coordination nécessaires entre les parties.

Le schéma de principe de la Figure 1 représente les différentes étapes d'une procédure de mise en service type.



IEC

Figure 1 – Procédure de mise en service

5.1.2 Période de mise en service

La période de mise en service commence après la fin du montage d'une nouvelle unité et se termine avec le début de la marche semi-industrielle. Des procédures similaires peuvent également être utilisées avec ou sans réception formelle après réparation ou réhabilitation

5.1.3 Conditions de fonctionnement lors de la mise en service

Les exigences de fonctionnement indiquées à l'Article 4 doivent être satisfaites lors de la mise en service. Si les conditions de fonctionnement de la centrale empêchent la mise en service dans le respect de ces exigences, l'exploitant et le fournisseur doivent définir des conditions acceptables et s'entendre sur la procédure de mise en service.

5.1.4 Mesures lors de la mise en service

Pour une interprétation correcte et la détermination des causes de tout phénomène inattendu, il est avantageux d'effectuer des enregistrements simultanés de paramètres significatifs (tels que la pression dans la bêche spirale et l'aspirateur, les ouvertures des mécanismes de commande, la vitesse, le déplacement de l'arbre et la vibration des paliers, des aubes directrices et des parties fixes, et éventuellement la puissance, les charges et les températures sur les paliers, les pressions dans les servomoteurs, etc.). Il convient qu'ils soient en service pendant le premier tour de roue et par la suite. Chaque enregistrement doit comporter une identification de l'essai, le numéro de groupe et un enregistrement de l'heure et de la date.

5.1.5 Réseau et conditions hydrauliques

Il incombe à l'exploitant d'obtenir de toutes les autorités concernées des accords sur les conditions spécifiées (réseau, hauteur de chute, débit, etc.) pour le régime d'essai.

5.1.6 Conditions préalables à la mise en service

5.1.6.1 Généralités

Avant de commencer la mise en service, toutes les activités qui font partie du montage et qui sont nécessaires pour effectuer la mise en service en toute sécurité doivent être finalisées et consignées. Le début de la mise en service doit faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le fournisseur, et être certifié dans un procès-verbal "prêt pour la mise en service".

5.1.6.2 Conditions administratives et organisationnelles

- Le coordinateur de mise en service doit être défini.
- Le comité de mise en service composé de membres de toutes les parties (ingénieurs de mise en service des différents fournisseurs) clarifie les rôles de tous les participants à l'organisation de la mise en service et leurs obligations respectives.
- Le comité de mise en service établit un système de permis de travail pour assurer la sécurité du travail (système de verrouillage et d'étiquetage).
- Un calendrier des activités prévues doit être élaboré et faire l'objet d'un accord entre les parties.
- Programme de mise en service (voir par exemple le Tableau C.1).

5.1.6.3 Documents disponibles

- Tous les procès-verbaux de montage final pertinents (par exemple les mesures de jeux entre les parties fixes et les parties tournantes).
- Tous les procès-verbaux Prêt pour la mise en service pertinents, émanant des différents fournisseurs.
- Toutes les instructions de mise en service et tous les procès-verbaux de mise en service pertinents.

5.1.6.4 Equipements disponibles

En cas d'événements imprévus lors de la mise en service, l'entrée d'eau dans la centrale doit être arrêtée (ainsi que l'écoulement de l'eau dans les adductions et la machine hydraulique). Les équipements suivants, le cas échéant, doivent être prêts pour une fermeture d'urgence:

- vanne de prise d'eau;
- vanne de restitution;
- vannes d'entrée et de sortie;
- batardeaux conçus pour se fermer sous décharge.

5.1.6.5 Systèmes disponibles

- Alimentation principale et alimentation de secours
- Alimentation de la station en courant alternatif et en courant continu
- Alimentation électrique auxiliaire
- Auxiliaires communs tels que pompes, réfrigérants, chauffages
- Drainage
- Vidange
- Réfrigération
- Air comprimé
- Système de surveillance turbine
- Système de surveillance alternateur
- Excitation
- Tous les systèmes de protection du groupe
- Protection électrique pour appareillage de poste sous enveloppe métallique (PSEM), jeux de barres et alimentations
- Transformateur principal comprenant des dispositifs de protection et de surveillance
- Auxiliaires de transformateur, tels que ventilateurs et pompes à eau
- Système de synchronisation.
- Communication
- Automatisme
- Eclairage
- Détection et lutte incendie
- Chauffage, ventilation, climatisation (CVC)
- Mise à la terre

et autres systèmes applicables de la centrale.

5.1.7 Santé et sécurité lors de la mise en service

Dans le cadre des essais et de la mise en service, les installations sont mises en conditions réelles (sous pression, sous tension, les équipements à proximité sont en fonctionnement normal, etc.) et la sensibilisation aux risques doit être mise en avant. Il convient que tous les membres du personnel impliqués dans les activités de mise en service reçoivent des informations et une formation sur les réglementations de santé et de sécurité en vigueur. Il est recommandé de s'exercer aux procédures de protection incendie, d'évacuation, de premiers secours, etc. Des boutons-poussoirs supplémentaires pour la protection incendie et l'arrêt d'urgence sont susceptibles d'être installés temporairement pendant la mise en service.

Il convient que la zone autour des installations qui sont mises en service soit repérée par des barrières d'un type non spécifié, et il convient qu'elle soit désencombrée et nettoyée avant la mise en service. Afin de limiter le nombre de personnes dans la zone, il convient que seuls les membres du personnel autorisés participant à la mise en service y aient accès.

5.2 Coordinateur de mise en service et organisation

Un coordinateur de mise en service doit être nommé par accord entre l'exploitant, les principaux prestataires et les fournisseurs. Le coordinateur de mise en service doit être responsable des activités de mise en service et préparer un programme qui décrit les activités de mise en service, y compris les activités pertinentes des programmes détaillés des prestataires/des fournisseurs. Le programme peut être conçu comme un programme étape par étape qui peut être signé. Ce programme doit être vérifié et approuvé par l'exploitant, les principaux fournisseurs et prestataires avant et pendant les essais, si des modifications semblent nécessaires. La Figure 2 représente un exemple d'organisation de mise en service.

Le coordinateur de mise en service est responsable de l'exécution de tous les essais jusqu'au début de la période de marche semi-industrielle. Le personnel d'exploitation et de mise en service doit rendre compte au coordinateur de mise en service de toutes les opérations effectuées sur les équipements. Chaque prestataire/fournisseur est responsable de ses équipements et est chargé de réaliser les essais prévus dans son contrat pendant la mise en service. Si certains équipements ne sont pas couverts par les fournisseurs, il est recommandé qu'il convienne que le coordinateur de mise en service soit appuyé par un coordinateur des essais.

Il convient de nommer une personne comme chargé de consignation, qui va s'occuper de toutes les opérations de manœuvre et des permis de travail. Le chargé de consignation rend compte au coordinateur de mise en service.

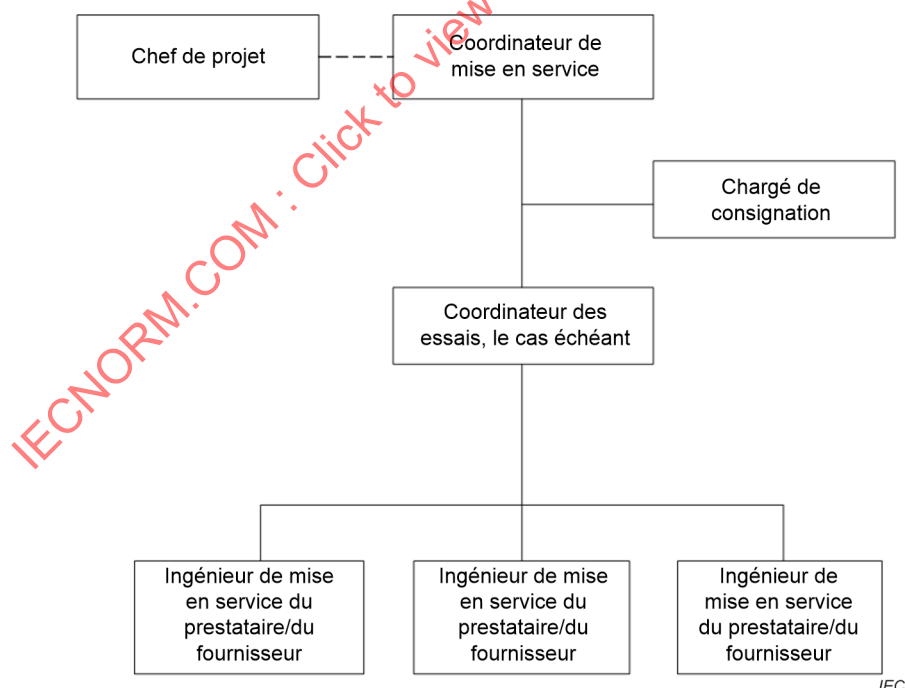


Figure 2 – Exemple d'organisation de mise en service

5.3 Contrôle avant démarrage

5.3.1 Généralités

Les activités de contrôle avant démarrage comprennent le remplissage des adductions et la mise sous pression hydraulique des vannes des côtés haute et basse pression de la machine, suivis de la mise en eau de la machine. Sauf si les aménagements où les vannes des côtés haute et basse pression de la machine ne peuvent fonctionner indépendamment de celle-ci, le contrôle avant démarrage est effectué durant la mise en service de la machine hydraulique. Le remplissage des adductions n'est pas traité dans le présent guide; le coordinateur de mise en service peut compter sur l'exploitant pour coordonner les activités associées. Néanmoins, comme il s'agit d'activités pouvant être critiques pour assurer la sécurité générale de la machine hydraulique et des installations, le coordinateur de mise en service peut demander à l'exploitant de veiller à ce que les vérifications et les essais appropriés soient réalisés de façon satisfaisante.

5.3.2 Avant le remplissage des adductions

Dans les cas où les vannes en amont et en aval de la machine hydraulique ne peuvent fonctionner indépendamment de celle-ci, la mise en service de ces composants doit être effectuée sous la direction du coordinateur de mise en service. Il convient que celui-ci examine les documents et les relevés avant le remplissage des adductions et la mise sous pression hydraulique des composants, afin de s'assurer que:

- 1) l'installation, l'alignement et l'essai des vannes, y compris le mécanisme de commande et les équipements auxiliaires, sont terminés, de sorte que l'équipement puisse être mis sous pression;
- 2) les vannes sont fermées et bien verrouillées, conformément aux procédures de sécurité appropriées;
- 3) des procédures et des ressources suffisantes sont en place pour remédier aux fuites imprévues sans compromettre la sécurité de la machine hydraulique ou de l'installation;
- 4) les vérifications et les essais de fonctionnement difficiles ou impossibles à effectuer après le remplissage des adductions sont réalisés;
- 5) la vidange des adductions doit être réalisée dans un délai raisonnable, le cas échéant.

Le coordinateur de mise en service doit s'assurer que les instruments, les installations et/ou les essais spéciaux établis d'un commun accord par le fournisseur et l'exploitant sont en place ou ont été réalisés. Il peut s'agir de mesures à prendre pour vérifier la présence de mouvements dans la structure portante de la machine hydraulique ou de vérifications de la rigidité et/ou de la résonance de la structure portante.

Il convient d'inspecter toutes les adductions et d'enlever tout corps étranger ou objet libre. Il convient de consigner l'état de propreté dans un procès-verbal commun signé par toutes les parties participant à l'inspection.

5.3.3 Remplissage des adductions

La marche à suivre pour remplir les adductions dépend de la configuration de la centrale. Voici quelques montages possibles:

- centrales non équipées de vannes pour isoler la machine des adductions aval ou amont. Ce sont habituellement des installations de basse chute. Dans ce cas, les étapes données en 5.3.4 et en 5.3.5 doivent être suivies, car le remplissage des adductions suppose la mise en eau de la machine;
- centrales équipées de vannes pour isoler la machine des adductions aval et amont. Dans ce cas, les adductions amont et aval doivent être remplies avant la mise en eau de la machine;

- centrales équipées de vannes pour isoler la machine des adductions amont (mais pas des adductions aval). Dans ce cas, les adductions amont sont souvent remplies avant la mise en eau de la machine. Si, pour des raisons de construction et/ou de logistique, il est souhaitable de mettre en eau la machine à partir du côté aval avant de remplir les adductions amont, il doit être tenu compte du fait que, selon le niveau d'eau aval, la vanne du côté amont de la machine peut être soumise à une contre-pression s'il existe une pression hydraulique en aval de la vanne et qu'il y a absence d'eau du côté amont. De plus, les étapes données en 5.3.4 et en 5.3.5 doivent être suivies lors de la mise en eau de la machine;
- centrales équipées de vannes pour isoler la machine des adductions aval (mais pas des adductions amont). Dans ce cas, les adductions aval doivent être remplies avant la mise en eau de la machine. Si les vannes aval ne sont pas conçues pour subir la pression amont, elles doivent être ouvertes pour éviter d'être exposées à une surpression.

Pour chacune de ces configurations, les étapes données en 5.3.4 et en 5.3.5 doivent être suivies avant de remplir les adductions amont.

NOTE "amont" désigne le côté haute pression de la machine et "aval" le côté basse pression.

5.3.4 Avant la mise en eau

Avant que la bache de la machine soit remplie d'eau, l'alternateur/générateur-moteur, ainsi que les auxiliaires et l'équipement annexe doivent être vérifiés. Au minimum, les points suivants doivent être contrôlés, le cas échéant, et les résultats consignés par le coordinateur de mise en service.

- 1) Inspection de tous les passages hydrauliques de la machine hydraulique et enlèvement de tous les corps étrangers ou objets libres (ils sont susceptibles de causer des dommages). Il convient de consigner l'état de propreté dans un procès-verbal commun. Si cela est exigé, les sections de mesure et les prises de pression pour les futurs essais de réception de la turbine doivent être vérifiées, et il doit être établi qu'elles sont satisfaisantes et que les dimensions sont dûment relevées.
- 2) Etalonnage des échelles pour l'ouverture des dispositifs de régulation tels que les aubes directrices et les pales de roue, dans les cas applicables, les pointeaux et les déflecteurs, y compris leurs cames de conjugaison.
- 3) Fonctionnement des systèmes d'huile sous pression, des vannes de coupure, des vannes de décharge, des régulateurs hydrauliques, des appareils de démarrage et d'arrêt automatiques ou manuels et des dispositifs de signalisation.
- 4) Niveaux et pressions d'huile dans le système de régulation, état de tous les filtres à huile.
- 5) Tous les dispositifs de protection, tels que les détecteurs de niveau, de pression ou de température d'huile ainsi que leurs relais, avec ajustement si nécessaire.
- 6) Temps d'ouverture et de fermeture des éléments de régulation et leurs fonctions, par exemple les aubes directrices, les pales de roue des turbines à pales mobiles, les pointeaux et les déflecteurs des turbines à action, les vannes de décharge et appareils de sécurité en cas d'un mauvais fonctionnement de la vanne de décharge et, si possible, la bande morte du signal de commande.
- 7) Temps d'ouverture et de fermeture des vannes (si possible) et leur fonction.
- 8) Fonctionnement des pompes de drainage et des pompes de lubrification.
- 9) Alimentation en huile, en graisse et en eau de tous les paliers et joints qui exigent une lubrification ou un refroidissement.
- 10) Fonctionnement du système de freinage du groupe.
- 11) Serrage adéquat de tous les couvercles (par exemple, trou d'homme).
- 12) Pales de roue des turbines à pales mobiles placées à une position qui évite une rotation non voulue après le remplissage des adductions en raison d'une fuite.
- 13) Fonctionnement du système de dénoyage et renoyage, et de ses dispositifs de régulation.
- 14) Fonctionnement du mécanisme d'accouplement débrayable.

15) Système de vidange.

NOTE 1 Lors de leur mise en service, les pompes de vidange et la tuyauterie et les dispositifs associés sont branchés sur leur source d'alimentation électrique définitive. Si des composants "non définitifs" sont utilisés à cette étape (pompe de drainage temporaire, alimentation électrique temporaire), ils sont soumis à essai dans des conditions réelles et démontrent une performance et une fiabilité équivalentes à celles de l'équipement définitif de la centrale.

16) Liste des diaphragmes.

NOTE 2 Tous les diaphragmes dans la turbine (que ce soit dans les circuits d'huile ou d'eau) sont énumérés avec leur diamètre mesuré et leur valeur théorique. Puisqu'ils déterminent les temps de manœuvre des vannes de garde ou des mécanismes de réglage (injecteurs, distributeur, etc.), ils sont considérés comme des dispositifs de sécurité et sont à ce titre surveillés étroitement (c'est-à-dire que toute modification apportée à un diaphragme est consignée dans la liste et que les conséquences sur la sécurité de l'exploitation sont évaluées par le spécialiste responsable).

17) Filtres à eau.

NOTE 3 Tous les filtres à eau (qu'ils se trouvent dans les systèmes d'eau de refroidissement ou dans les circuits d'eau des dispositifs de régulation) sont propres, et leur fermeture et leur fixation ont été vérifiées correctement. Les crépines ou les filtres automatiques sont soumis à des essais complets à sec avant le remplissage en eau.

18) Dispositifs de verrouillage.

NOTE 4 Tous les dispositifs de verrouillage applicables, que ce soit pour le blocage mécanique des vannes d'entrée ou du distributeur, ou pour le blocage individuel des vannes de drainage ou des purgeurs d'air, sont en place. La personne responsable du verrouillage a surveillé la position de blocage théorique et la position de blocage mesurée du dispositif. La clé des verrous (le cas échéant) reste entre les mains de la personne responsable uniquement.

19) Joint de maintenance.

NOTE 5 Le compresseur ou l'air comprimé de service utilisé pour appliquer un joint de maintenance gonflable est disponible et a été mis en service, le cas échéant.

Après les vérifications ci-dessus, les vannes principales doivent être fermées et verrouillées (le cas échéant), la machine hydraulique doit être fermée (les aubes directrices ou les pointeaux sont mis sous pression en position fermée et verrouillés, le cas échéant), les freins sont appliqués et le système de commande est opérationnel.

Une fois que toutes les conditions sont remplies, le coordinateur de mise en service doit donner des instructions pour la mise en eau de la machine.

5.3.5 Mise en eau de la machine

En général, il convient que la mise en eau de la machine commence du côté aval de celle-ci.

La machine doit être remplie lentement, de préférence en commande manuelle, soit par une tuyauterie de dérivation (de la vanne aval), soit par une légère ouverture de la vanne ou des batardeaux. Le cas échéant, il convient que les aubes directrices soient ouvertes entre 3 % et 5 % de leur ouverture maximale. Selon le niveau d'eau aval, il doit être vérifié s'il y a des fuites. Il convient que le purgeur d'air fonctionne correctement et qu'il soit vérifié. Il convient que les fuites du joint d'arbre se situent dans la plage spécifiée.

Quand la machine est suffisamment remplie ou que la pression qui y règne correspond au niveau d'eau aval, les aubes directrices doivent être fermées, la vanne aval principale doit être ouverte ou les batardeaux enlevés.

La machine peut ensuite être lentement mise sous pression jusqu'à la pression amont. Toutefois, dans le cas des installations de basse chute équipées d'une vanne aval principale conçue pour subir la pression amont, la vanne aval principale doit rester fermée jusqu'à ce que la pression dans la machine ait atteint la pression amont.

S'il existe une vanne principale à l'entrée de la turbine, la bêche de la machine doit être soigneusement remplie et mise sous pression. La bêche d'une machine équipée d'un distributeur doit être mise sous pression au moyen d'une vanne de dérivation ou d'une vanne de remplissage, ou encore en ouvrant légèrement la vanne principale amont (ouverture de "craquage" ou entrebâillement) et être inspectée avant l'ouverture ou la levée complète de la vanne principale. Le fonctionnement des dispositifs automatiques de protection qui actionnent la vanne de dérivation doit ensuite être vérifié et le fonctionnement de la vanne à proprement parler doit être soumis à essai.

Les bâches spirales des machines sans aubes directrices peuvent seulement être mises sous pression partiellement, à la pression d'eau aval.

Les dispositifs automatiques de protection qui actionnent la vanne amont ou aval doivent être vérifiés, en particulier la vanne d'urgence. Les dispositifs automatiques de verrouillage doivent être vérifiés. Si les dispositifs de protection et la vanne d'urgence fonctionnent de manière satisfaisante et si aucune fuite ou déformation inhabituelle n'est observée, un essai de fonctionnement doit être réalisé sur:

- la vanne de décharge, s'il y en a une;
- les pointeaux des turbines à action (les déflecteurs étant dans le jet);
- le système aval de dénoyage par dépression d'eau des turbines à action, le cas échéant.

Le cas échéant, d'autres essais, tels qu'une vérification du système de dénoyage et renoyage, doivent être réalisés et les dispositifs de régulation réglés.

5.3.6 Utilisation de la machine comme une pompe pour le premier remplissage de la conduite forcée

Il est recommandé de ne pas effectuer le premier remplissage de la conduite forcée en utilisant la machine hydraulique comme une pompe. Cela peut endommager la machine hydraulique en raison des risques élevés de vibrations ou de cavitation.

5.4 Premier tour de roue

Les objectifs du premier tour de roue consistent à relever les phénomènes anormaux entre les composants tournants et fixes, tels que du bruit, un frottement, une résistance ou un blocage, et à vérifier l'étanchéité.

Le coordinateur de mise en service donne l'autorisation de procéder au premier tour de roue de la turbine. Il peut être judicieux de faire tourner la machine par des méthodes manuelles avant le premier tour de roue, si cela est possible.

Il convient de faire fonctionner le système de soulèvement par injection d'huile haute pression (le cas échéant) en mode manuel et il convient de desserrer les freins manuellement; il convient que ces deux systèmes soient maintenus en mode manuel.

La vitesse instantanée maximale n'est que de quelques tours par minute. Il convient d'assurer la lubrification des paliers en fonction du type de palier. La vitesse ne doit pas être trop élevée afin de réduire le plus possible les bruits dus à l'écoulement ou à la ventilation. Cependant, la vitesse est également susceptible de ne pas être trop faible, pour éviter que la machine tourne à la vitesse critique de lubrification pour les paliers (par exemple, groupes horizontaux) ou les paliers de butée (par exemple lorsqu'il n'y a pas de système d'injection d'huile).

NOTE 1 Paliers autolubrifiants: Une lubrification manuelle à l'huile est réalisée avant le premier tour de roue pour éviter les contacts secs entre les parties tournantes et les parties fixes.

Dans le cas des machines à pales de roue réglables, il convient que la position de celles-ci pour le premier tour de roue soit convenue avant l'essai, en tenant compte des résultats de l'analyse des risques spécifiques (par exemple, charge sur le palier de butée, risque de soulèvement).

Le couple de rotation de la machine est produit par:

- le bref actionnement du dispositif d'ouverture sous commande manuelle ou par le dispositif de démarrage, le cas échéant, dans le sens turbinage;

NOTE 2 Dans le cas des pompes-turbines sans aubes directrices mobiles, ouvrir la vanne principale et/ou une tuyauterie de dérivation.

- le bref actionnement du dispositif de démarrage, dans le sens de la pompe.

Le personnel doit observer les endroits où le jeu est minimal entre les composants tournants et les composants fixes (ces endroits se trouvent généralement près des paliers et des joints d'arbre), particulièrement les entrefers dans la machine électrique (il convient que les panneaux d'accès soient ouverts, si c'est possible), et le jeu entre la roue et le bâti de la machine hydraulique.

En l'absence de phénomène anormal, le rotor décélère jusqu'à l'arrêt sans qu'il soit nécessaire d'appliquer les freins. Toute tendance du groupe à tourner sous le débit de fuite doit être notée, puis il convient d'appliquer les freins.

NOTE 3 L'état des paliers pendant l'essai est pris en compte.

Si des phénomènes anormaux ou des fuites sont constatés, la machine doit être arrêtée et verrouillée. Après correction des anomalies, il convient de répéter le premier tour de roue, à une vitesse de rotation identique ou légèrement supérieure, si cela est approprié.

5.5 Période de régime d'essai

5.5.1 Généralités

La période de régime d'essai suit le premier tour de roue et précède la marche semi-industrielle.

Dans le cas d'une centrale à groupes multiples, il convient de réaliser les essais sur chaque groupe l'un après l'autre. Cela permet de tirer parti des leçons dégagées des essais sur le premier groupe afin d'optimiser la période d'essais sur les autres groupes.

5.5.2 Essais en marche à vide

5.5.2.1 Généralités

Pendant les essais en marche à vide, la machine fonctionne sans être raccordée au réseau électrique.

NOTE Comme le fonctionnement en marche à vide augmente la fatigue de la roue, la durée de ces essais est réduite le plus possible.

5.5.2.2 Essais en marche à vide mécaniques

Les essais en marche à vide mécaniques visent à mettre à l'épreuve les paliers, à vérifier l'alignement et l'équilibrage des parties tournantes et à soumettre à essai et à régler le système de régulation de vitesse et le système de commande automatique.

La vitesse exigée équivaut généralement à 25 %, 50 %, 75 % et 100 % de la vitesse nominale. Le couple de rotation de la turbine est assuré par l'actionnement du dispositif d'ouverture, d'abord en commande manuelle puis, dans les plus brefs délais, en commande automatique. Le couple de rotation de la pompe est produit par l'actionnement du dispositif de démarrage; la roue doit être dénoyée et les jeux aux labyrinthes refroidis, si possible, sinon la vitesse ou l'échauffement de l'eau dans la pompe doivent être limités.

Paramètres à mesurer:

- vitesse de rotation, vibrations du corps de palier et désalignement de l'arbre, déplacements radiaux ou axiaux;
- signal des dispositifs d'ouverture;
- paliers et circuits d'huile: températures, niveau de remplissage;
- pression statique dans la machinerie hydraulique ainsi que dans la conduite forcée (à proximité de la machine) et dans l'aspirateur.

Vérifications à faire:

- paliers: températures (stabilisées), circulation et pressions de l'huile dans les dispositifs de lubrification et de refroidissement et efficacité de l'autolubrification, le cas échéant. Si une mousse d'huile ou une odeur est constatée, la cause doit être déterminée et éliminée;
- dispositifs d'ouverture: mouvement adéquat, faibles oscillations, mouvement synchrone;
- équilibrage des parties tournantes; apporter les correctifs si nécessaires;
- mesure de vitesse: signal stable à réponse rapide, fonctionnement des contacts de vitesse;
- régulation de vitesse: bon fonctionnement, vérification des consignes de vitesse;
- fonctionnement du joint d'arbre;
- systèmes auxiliaires: fonctionnement des vannes et des pompes d'alimentation, commande des appareils de mesure;
- séquences de démarrage-arrêt, appareils de sécurité, arrêt d'urgence;
- il convient d'enregistrer la courbe de décélération et de la comparer avec la courbe théorique.

A certaines valeurs de vitesse convenues, généralement après l'essai en marche à vide à vitesse assignée, le fonctionnement du système de freinage (et des jets de freinage pour les turbines à action) doit être vérifié.

Si une température est trop élevée ou augmente trop rapidement et ne se stabilise pas après un certain temps, le groupe doit être arrêté et les causes de ce phénomène doivent être recherchées et corrigées.

Après l'essai en marche à vide mécanique à la vitesse assignée et lorsque la protection est en place, la vitesse de la turbine est progressivement augmentée, toujours sous commande manuelle, pour vérifier le déclenchement et le fonctionnement des dispositifs de protection contre la survitesse. Il convient de définir la vitesse d'ouverture (par exemple les aubes directrices) ainsi que l'accélération de la turbine avant l'essai. Il convient que la durée de l'essai soit réduite le plus possible afin d'éviter une charge excessive sur la machine.

Il convient que la première protection à soumettre à essai soit la protection électrique contre la survitesse, qui est activée par le régulateur de vitesse (ou le tachymètre auxiliaire). Afin de ne pas solliciter le groupe indûment, la consigne peut être temporairement abaissée pour vérifier si l'arrêt se déroule efficacement. L'essai peut ensuite être répété au réglage nominal.

Avant de soumettre à essai le bon fonctionnement de la protection mécanique, la consigne de protection électrique peut être définie temporairement à quelques pourcentages au-dessus de la consigne du détecteur de survitesse mécanique de manière à protéger la turbine en cas d'emballlement.

Pendant les essais, le comportement du groupe doit être surveillé attentivement (bruits, vibrations, températures, fluctuations de pression dans les adductions, courbes d'ouverture des aubes directrices, etc.).

La vitesse de réglage de chaque dispositif doit être mesurée et les ajustements nécessaires doivent être effectués.

Après l'essai des dispositifs de protection contre la survitesse, il peut être judicieux d'effectuer un examen visuel de la roue (et de l'alternateur) dans les groupes axiaux de taille importante (en cas de phénomènes inhabituels, voir 5.5.4.5).

NOTE 1 Dans certains cas, l'essai du dispositif de protection mécanique contre la survitesse peut être réalisé plus tard. Par exemple, dans le cas d'une pompe-turbine à faible vitesse spécifique, la valeur de survitesse peut être difficile à atteindre à partir de la vitesse de marche à vide en raison des instabilités. Dans ce cas et à la suite d'un accord entre l'exploitant (propriétaire) et le fournisseur, l'essai peut être reporté pour être réalisé en même temps que les essais de déclenchement. En attendant, le groupe est protégé par le dispositif de protection électrique contre la survitesse, préalablement vérifié avec une consigne abaissée, comme susmentionné.

NOTE 2 En général, un soulèvement est susceptible de se produire si les aubes directrices se ferment trop rapidement (plus particulièrement dans le cas de turbines Francis de très basse chute ou de turbines hélices).

5.5.2.3 Essais en marche à vide – systèmes électriques

Les essais en marche à vide des systèmes électriques visent à mettre à l'épreuve les systèmes d'excitation et de protection électrique, et à réaliser d'autres essais électriques.

La vitesse exigée se situe généralement entre 90 % et 110 % de la vitesse nominale en mode turbine avec le groupe sous commande automatique.

5.5.2.4 Essai en marche à vide en mode pompe

Les machines réversibles à aubes directrices mobiles sont généralement démarrées dans le sens du pompage avec la roue dénoyée. Il est alors nécessaire d'assurer le refroidissement des labyrinthes ou des joints de roue et du joint d'arbre. Les dispositions assurant ce refroidissement doivent être soumises à essai avant la marche à vide de la machine.

Les machines hydrauliques sans aubes directrices mobiles sont généralement démarrées comme des pompes avec la roue dans l'eau; dans le cas des machines réversibles ou de pompes d'accumulation avec accouplement fixe, la machine électrique doit être amenée à la vitesse assignée par le dispositif de démarrage.

Dans le cas de groupes ternaires accouplés par un mécanisme débrayable à la pompe d'accumulation, deux cas doivent être prévus:

- 1) mécanisme d'accouplement embrayable seulement groupe à l'arrêt: dans ce cas, l'accouplement se produit et la machine électrique est ensuite accélérée à la vitesse assignée par la turbine;
- 2) mécanisme d'accouplement embrayable en marche: dans ce cas, le désaccouplement se produit et la pompe d'accumulation doit être mise en marche (par exemple, par un coupleur hydrodynamique avec un taux de remplissage croissant du convertisseur) jusqu'à atteindre finalement la vitesse normale de fonctionnement. Ensuite, la machine électrique, mise en marche entre-temps par la turbine, doit être couplée.

Si un bruit anormal, un frottement ou d'autres phénomènes anormaux sont observés, ou si un représentant accrédité de l'un des fournisseurs le demande, le groupe doit être immédiatement arrêté.

5.5.3 Premier couplage au réseau électrique

La première synchronisation vise à mettre à l'épreuve le système électrique de la machine et le réseau électrique, ainsi qu'à synchroniser le premier avec le second.

5.5.4 Déclenchement et marche en charge

5.5.4.1 Généralités

Le présent paragraphe décrit les mesures à prendre aux niveaux de charge stabilisés et les vérifications à effectuer pour s'assurer que le groupe réagit en toute sécurité en cas de perte soudaine de charge.

NOTE Les essais de déclenchement sont réalisés avant le prochain palier d'augmentation de charge et après avoir atteint le régime permanent.

5.5.4.2 Essais de déclenchement

5.5.4.2.1 Généralités

Des précautions doivent être prises relativement à toute contrainte due aux adductions, telles que la synchronisation et les taux de variation du débit, susceptibles d'entraîner des pressions et des niveaux trop élevés ou trop bas (par exemple, dans la chambre d'équilibre).

Les essais de déclenchement sont principalement réalisés dans le but de vérifier les variations de pression dans la conduite forcée et/ou la bâche spirale, la vitesse du rotor, le soulèvement possible de la roue et la pression dans l'aspirateur dans les conditions transitoires de déclenchement. Ces valeurs doivent être comparées aux valeurs calculées issues de la simulation des conditions transitoires ainsi qu'avec les valeurs contractuelles. Cela peut supposer de modifier les réglages du régulateur de vitesse ou les diaphragmes de sécurité à des valeurs différentes des valeurs de conception. Lorsque des modifications sont apportées au régulateur ou aux diaphragmes de sécurité, tous les essais dont les résultats sont susceptibles d'être impactés doivent être répétés.

Dans le cas d'une modernisation, les mesures prises lors des essais de déclenchement peuvent être comparées aux valeurs avant la modernisation (si elles existent).

De plus, le temps de réponse et la performance du régulateur de la turbine lors des déclenchements à différentes puissances doivent être vérifiés.

NOTE 1 Le paragraphe 5.5.4.2 est valable pour tous les types de machines hydrauliques.

Pour les essais en régime transitoire, y compris les changements de mode de fonctionnement:

- vérifier le fonctionnement du régulateur et des dispositifs de régulation, ainsi que du groupe au complet;
- déterminer les variations instantanées de pression et de vitesse du groupe afin de trouver leurs valeurs extrêmes;

NOTE 2 Les temps de fermeture et d'ouverture des joints d'étanchéité des principaux robinets sphériques sont pris en considération. Ils influent sur les valeurs dynamiques (par exemple, la pression).

- régler les temps de fermeture des aubes directrices, des vannes à pointeau, des pales de roue et des déflecteurs et les temps d'ouverture des vannes de décharge pour réduire le plus possible la survitesse du groupe dans la limite admissible des variations de pression; les mesures doivent être comparées et, en cas d'écarts importants, les calculs en régime transitoire doivent être revus;
- réaliser des essais de fonctionnement des autres équipements hydrauliques et électriques (par exemple, disjoncteurs, transformateurs), y compris les dispositifs de protection et autres dispositifs automatiques.

5.5.4.2.2 Procédure en mode turbine

La charge doit être augmentée par paliers. Des essais de déclenchement doivent être réalisés à chaque palier de charge jusqu'à la charge maximale attendue pour le groupe (par exemple, des déclenchements peuvent être faits à 25 %, 50 %, 75 % et 100 % de la charge assignée, ainsi qu'à la charge maximale ayant pu faire l'objet d'un accord). Des essais supplémentaires doivent être réalisés si des transitoires plus importants se produisent à différentes positions des vannes ou des pointeaux (par exemple turbines Pelton avec petites ouvertures de pointeau, ou avec différentes séquences d'arrêt).

NOTE 1 La durée des essais en conditions transitoires est réduite le plus possible, car ceux-ci accroissent les dommages à la roue causés par la fatigue. Une autre approche peut consister à réaliser des essais en conditions transitoires à charge réduite en vue d'étalonner les simulations numériques. Celles-ci peuvent alors être effectuées à la charge maximale ou dans des conditions extrêmes pour déterminer si les critères de conception critiques sont remplis.

Il convient de réaliser deux déclenchements à chaque charge prédéfinie: il convient que l'un soit contrôlé par le régulateur jusqu'à l'ouverture de marche à vide, et il convient que l'autre résulte d'un arrêt d'urgence commandé par le solénoïde d'arrêt.

S'ils sont spécifiés, les essais de déclenchement doivent également être réalisés au moyen de la vanne d'urgence ou de tout autre dispositif d'arrêt d'urgence.

Après chaque essai de déclenchement, les variations de pression et de vitesse de la turbine doivent être analysées pour s'assurer que les valeurs limites spécifiées ne sont pas dépassées au cours de l'essai de déclenchement exécuté à la charge immédiatement supérieure.

NOTE 2 L'essai d'échauffement à pleine charge de l'alternateur commence habituellement après l'essai de déclenchement.

5.5.4.2.3 Procédure en mode pompe

Avant de commencer les essais de déclenchement (perte d'alimentation du moteur), il convient qu'aucun essai sans refoulement (à débit nul) ne soit réalisé.

Le refoulement est amorcé à partir d'un fonctionnement sans refoulement:

- pour les machines hydrauliques sans distributeur, par l'ouverture de la vanne principale selon des règles d'ouverture appropriées;
- pour les machines hydrauliques avec distributeur, par l'ouverture de la vanne principale et (en général) ensuite du distributeur selon une séquence et des règles d'ouverture appropriées.

Si la machine est équipée de pales réglables, celles-ci doivent être réglées à l'angle approprié.

Il convient de réaliser les essais de refoulement à différents niveaux des réservoirs et donc à différentes hauteurs de chute de la pompe.

Généralement, l'arrêt normal en mode pompe est soumis à essai avant tout essai de déclenchement (perte d'alimentation du moteur), ce qui correspond à un essai de déclenchement à faible ouverture (des aubes directrices ou de la vanne principale). Il convient de réaliser au moins deux essais de déclenchement (interruption de l'approvisionnement énergétique), à des hauteurs de chute élevées et basses de la pompe.

Dans le cas d'une pompe-turbine à aubes directrices mobiles, un essai à faible ouverture du distributeur et un essai à ouverture optimale du distributeur sont nécessaires. Une comparaison avec les résultats prévus peut indiquer s'il convient de soumettre d'autres conditions à essai.

S'ils sont prescrits, ces essais doivent également être réalisés avec la fermeture du dispositif d'arrêt d'urgence et avec des aubes directrices inopérantes, le cas échéant.

L'essai et les réglages doivent être répétés jusqu'à ce que toutes les séquences se succèdent automatiquement de manière satisfaisante et fiable durant l'exploitation courante.

Après chaque essai de déclenchement, les variations de pression et de vitesse de la pompe doivent être analysées.

NOTE L'essai d'échauffement à pleine charge du générateur-moteur commence habituellement après l'essai de déclenchement.

5.5.4.2.4 Procédure lorsque plusieurs machines sont raccordées à une adduction commune

Si plusieurs machines sont raccordées à une adduction commune, il convient de procéder aux déclenchements dans les conditions les plus défavorables (par exemple, pression, vitesse, etc.), sur la base des calculs en régime transitoire. Les résultats d'essai doivent être comparés aux valeurs calculées.

Il est recommandé d'atteindre ces conditions théoriques les plus défavorables de manière graduelle.

5.5.4.3 Marche en charge

Les essais en régime permanent, y compris en mode compensateur synchrone, prévoient les tâches suivantes:

- comparer, avec une précision convenue, la puissance fournie (absorbée) par le groupe, la pression et le débit du groupe avec les valeurs spécifiées dans les documents énumérés en 4.2;
- vérifier la présence d'instabilités, de vibrations ou de cavitation et de fluctuations de pression dans le groupe, dans la plage d'exploitation garantie.

En dehors de la plage d'exploitation garantie, il n'est pas recommandé de faire fonctionner le groupe dans des zones à fortes vibrations et à risque élevé de cavitation.

NOTE Il peut être judicieux de réaliser des essais en dehors de la plage d'exploitation garantie dans le but de vérifier ou d'augmenter les limites de fonctionnement.

5.5.4.4 Essai sans refoulement (uniquement pour les pompes et les pompes-turbines)

Dans le cas des pompes-turbines réversibles, l'essai sans refoulement (à débit nul) vise à mettre à l'épreuve le système de démarrage du générateur-moteur et à dénoyer/noyer la roue de la pompe-turbine.

Dans le cas des groupes ternaires, il vise à mettre à l'épreuve le système de démarrage, d'accélération et d'embrayage/de débrayage de la roue de la pompe.

La pompe doit fonctionner avec sa vanne principale ou ses aubes directrices fermées (sans refoulement) pour une courte période seulement (généralement moins de 1 min), afin d'éviter un échauffement dangereux de l'eau dans la pompe. Cette période dépend de la conception de la machine, de sa hauteur de chute et de sa puissance absorbée et doit être définie précisément au préalable. Le groupe doit être arrêté avant la fin de la durée limite de fonctionnement à débit nul convenue.

NOTE En fonction des séquences d'ouverture des aubes directrices et de la vanne d'entrée principale, la pression dans la bache spirale peut être différente.

Le groupe doit fonctionner à la vitesse assignée avec le générateur-moteur raccordé au réseau. La température de tous les paliers, de l'huile et de l'eau de refroidissement doit être enregistrée en continu. Si une température devient trop élevée ou augmente trop rapidement, le groupe doit être arrêté et les causes de ce phénomène doivent être recherchées et corrigées.

Pour ces essais:

- si la machine hydraulique a été mise en marche avec la ou les roues noyées dans l'eau, la vanne principale et la vanne de dérivation doivent être fermées;
- si la machine hydraulique a été mise en marche avec la ou les roues dénoyées, elle doit être remplie de nouveau. Le remplissage doit être effectué avec précaution de sorte que la pression et la puissance absorbée augmentent en douceur et qu'il n'y ait pas de pression excessive ou de pics de puissance.

Le temps nécessaire pour atteindre le mode de fonctionnement sans refoulement et la hauteur de refoulement à débit nul (pression dans la bêche spirale ou en amont des aubes directrices) doit être enregistré.

Ces essais sans refoulement doivent être répétés en vue d'effectuer les réglages nécessaires des différents dispositifs de démarrage, tels que les mécanismes d'accouplement, les vannes de dénoyage et renoyage, etc.

Les mesures et les vérifications mentionnées en 5.5.2.2 pour les essais en marche à vide sont les mêmes que pour les essais sans refoulement. Les mesures supplémentaires suivantes peuvent également être prises:

- vibrations et déformation des couvercles et des supports de palier;
- vibrations dans la machine hydraulique, en particulier de l'arbre, des aubes directrices et du générateur-moteur.

5.5.4.5 Observations, mesures et enregistrements

Pendant ces essais, le coordinateur de mise en service doit s'assurer, dans la mesure du possible, que les observations et les mesures suivantes sont effectuées et consignées.

Pendant les essais d'exploitation en régime permanent (y compris l'exploitation en compensateur synchrone) et les essais de déclenchement:

- niveaux d'eau (ou pressions) amont et aval;
- puissance fournie/absorbée par le générateur-moteur;
- course et temps de fermeture des aubes directrices ou des pointeaux (et des pales de roue ou des déflecteurs, s'il y a lieu), règles et temps d'ouverture et de fermeture de la vanne principale;
- pression à l'entrée et à la sortie de la turbine ou de la pompe;
- poussée axiale, le cas échéant;
- pressions et niveaux dans les systèmes à pression d'huile;
- rythme de fonctionnement des pompes à pression d'huile;
- différence de pression au niveau des servomoteurs (par exemple, pour vérifier la marge de sécurité) exigée pour ouvrir et fermer les aubes directrices ou les pointeaux. Réglage de déclenchement de la vanne d'urgence (et des pales de roue ou des déflecteurs, le cas échéant) en corrélation avec cette différence de pression, s'il y a lieu;
- températures dans les paliers et les joints;
- paramètres de fonctionnement du joint d'arbre (par exemple pression, débit d'alimentation du joint, débit de fuite), le cas échéant;
- niveau de bruit, si des limites sont spécifiées par le contrat;
- bruits anormaux, le cas échéant;
- vibrations et autres déplacements des parties tournantes et des parties fixes (par exemple, vibrations des supports de palier d'arbre, déplacements radiaux et/ou axiaux de l'arbre et vibrations des aubes directrices, le cas échéant);
- fonctionnement des dispositifs d'admission d'air, le cas échéant;

- délais entre les injections d'air du système de dénoyage par dépression, le cas échéant.

En plus, en régime transitoire (y compris les changements de mode d'exploitation):

- variations de niveau à la prise d'eau et aux cheminées d'équilibre;
- variation de vitesse du groupe en fonction du temps;
- poussée axiale maximale et minimale, le cas échéant;
- course d'ouverture et temps d'ouverture et de fermeture de la vanne de décharge, le cas échéant;
- baisse de pression dans le système de pression d'huile pendant la manœuvre du régulateur et variation de niveau dans le réservoir à huile sous pression;
- fonctionnement des vannes d'aération, le cas échéant;
- fonctionnement de la vanne d'urgence avec coupure du débit, si cela est spécifié;
- séquence de changement de mode d'exploitation et temps nécessaire;
- consommation d'air pendant une opération de dénoyage.

NOTE Afin d'optimiser la durée de vie utile du matériel, il peut être utile de prendre des mesures de contrainte au moyen d'extensomètres sur les pièces fortement sollicitées (voir l'IEC 62256).

Si cela est possible, il convient d'effectuer une estimation du débit de fuite dans la turbine avec les aubes directrices ou les pointeaux fermés, de préférence juste après les essais de déclenchement.

Après la période de régime d'essai, il est recommandé de procéder à une inspection du groupe, par exemple pour déceler les contacts ou frottements intempestifs ayant pu se produire.

Si, pendant cette période, des phénomènes inhabituels ou des vibrations potentiellement dangereuses sont observés, ou si un essai d'emballement est réalisé, cette inspection doit être effectuée avant la poursuite des essais.

Il convient de déterminer des limites et des restrictions de fonctionnement préliminaires, en tenant compte du niveau de vibrations et de bruit, des variations de fréquence du réseau et des conditions de puissance absorbée.

5.5.5 Essais supplémentaires pour la machinerie hydraulique à vitesse ajustable (variable) combinée à un alternateur/générateur-moteur à double alimentation

En ce qui concerne la vitesse variable de la machinerie hydraulique, il y a deux objectifs contrôlés: l'un est la puissance active et l'autre la vitesse. La relation entre la puissance active et la vitesse repose sur la loi de la conservation de l'énergie. Le paramètre de régulation est soit la puissance active, soit la vitesse.

En mode pompe, il est difficile de réguler la puissance absorbée en modulant l'ouverture des aubes directrices, car cette puissance dépend principalement de la vitesse.

La puissance d'entrée du moteur est régulée par l'excitatrice. La différence entre la puissance d'entrée du moteur et la puissance absorbée par la pompe a un effet sur la vitesse, et un changement de vitesse survient lorsque ces deux paramètres atteignent l'équilibre.

Deux possibilités se présentent en général: la régulation de puissance ou la régulation de vitesse. L'excitatrice régule la puissance d'entrée du moteur au moyen d'une consigne de puissance ou de vitesse.

L'ouverture des aubes directrices est optimisée selon la puissance absorbée par la pompe et la hauteur de chute de la pompe.

En mode turbine, la puissance fournie par la turbine dépend principalement de l'ouverture des aubes directrices, commandée par le régulateur. Pendant ce temps, l'excitatrice peut réguler la sortie de l'alternateur.

Le temps de réponse de l'excitatrice est beaucoup plus court que celui du régulateur.

Il existe deux méthodes de régulation: la loi de la conservation de l'énergie et le temps de réponse.

Dans la première méthode, l'excitatrice régule la sortie de l'alternateur et le régulateur contrôle la vitesse. Dans la seconde, l'excitatrice régule la vitesse et le régulateur contrôle la puissance fournie par la turbine. En général, pour optimiser le fonctionnement, on alterne entre ces deux méthodes.

L'Annexe B donne de plus amples renseignements sur les essais pour les systèmes d'accumulation par pompage à vitesse variable et à double alimentation.

5.5.6 Modes d'exploitation et changements de mode

Il convient de soumettre à essai les modes d'exploitation et les changements de mode. Pendant ces essais, il convient d'enregistrer les paramètres mentionnés en 5.5.4.5.

Il convient de définir clairement les responsabilités de chaque fournisseur (machine hydraulique, alternateur, systèmes de commande, etc.) à chaque étape de transition avant les essais, et de les vérifier en conséquence.

Selon le type de machine hydraulique, différents modes d'exploitation peuvent être mis en place.

En commençant par le mode:

- arrêt – prêt à démarrer;
- arrêt – systèmes auxiliaires en marche.

La turbine avec un seul sens de rotation peut être exploitée dans les modes suivants:

- marche à vide;
- mode compensateur synchrone – sens turbinage;
- mode turbine (entre la marche à vide et la marche à pleine charge).

NOTE 1 Un mode particulier, la mise sous tension de lignes (voir 5.5.8).

Une pompe-turbine réversible avec inversion de rotation pour le turbinage et le pompage peut également être exploitée dans les modes suivants:

- mode compensateur synchrone – sens pompage;
- mode pompe.

Les groupes ternaïres à roues de turbine et de pompe indépendantes peuvent également être exploités dans le mode suivant:

- court-circuit hydraulique.

NOTE 2 Dans ce mode, une pompe d'un groupe ternaïre peut fonctionner, même si la puissance de réseau disponible est inférieure à la puissance nécessaire à l'exploitation de la pompe. La différence de puissance est fournie directement par la turbine agissant sur la même ligne d'arbre. Une partie du débit de la pompe est utilisée pour entraîner la turbine (voir A.21).

La Figure 3 représente les différents modes de fonctionnement d'une pompe-turbine réversible. Les flèches accompagnées de chiffres donnent la direction des changements de mode possibles.

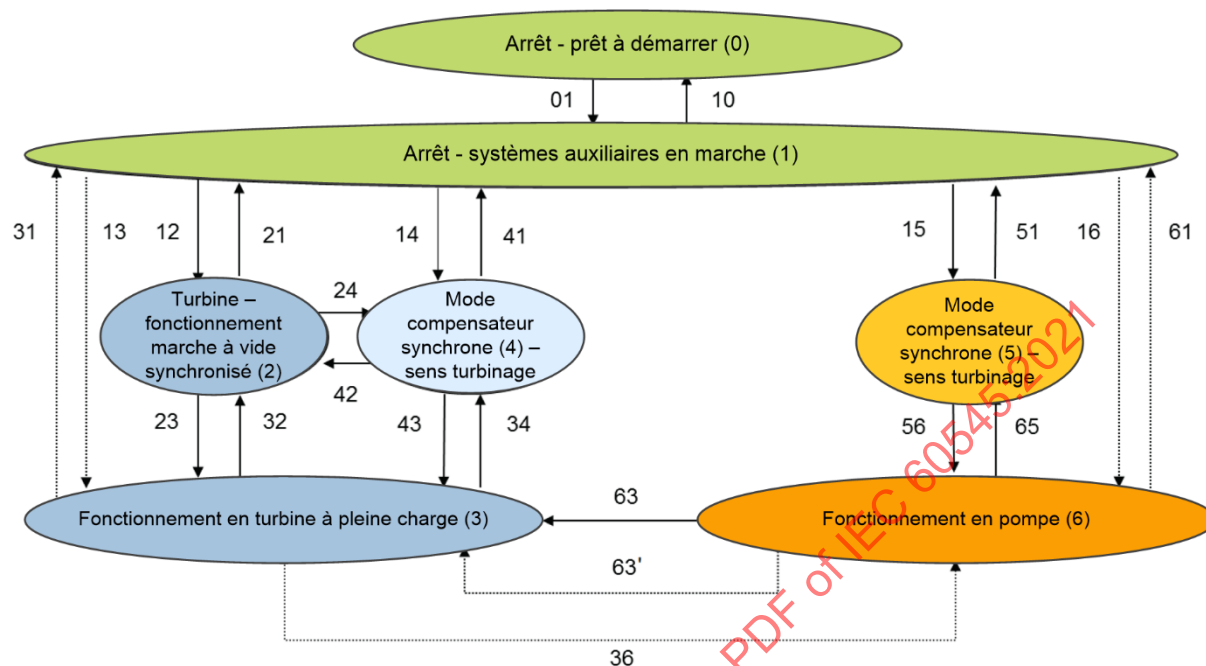


Figure 3 – Modes de fonctionnement d'une pompe-turbine réversible

Les différents changements de mode sont décrits dans l'Annexe A. Dans les changements de mode composés, par exemple de l'arrêt au fonctionnement en mode turbine à pleine charge [13 = 12 et 23] ou du fonctionnement en mode turbine au fonctionnement en compensateur synchrone – sens turbinage [34 = 32 et 24], l'étape intermédiaire (marche à vide turbine) peut être ignorée en tant que mode séparé, même si cette situation survient concrètement pendant un court laps de temps. Cette procédure raccourcit la durée totale du changement de mode.

5.5.7 Modes de régulation

Les essais concernant les différents modes de régulation sont décrits dans l'IEC 60308, le cas échéant, sinon ils font l'objet d'un accord entre le fournisseur et le propriétaire.

Il peut être judicieux de réaliser des essais supplémentaires sur les systèmes ne faisant pas partie de la turbine.

5.5.8 Modes d'exploitation avec fonctions particulières

Voici des exemples de modes d'exploitation avec des fonctions particulières.

Démarrage autonome:

- description: démarrage d'une machinerie hydraulique en mode turbine sans l'assistance du réseau électrique; l'alimentation électrique peut provenir d'une source d'alimentation autonome, d'un moteur diesel de secours ou d'une batterie;
- essais: il convient de procéder au démarrage de la machinerie hydraulique avec tous les éléments branchés sur l'alimentation auxiliaire (sans branchement au réseau), et il convient de procéder ensuite à une commutation électrique sur un jeu de barres vide. Il convient ensuite de soumettre à essai le réglage et la régulation de la fréquence et de la tension. Enfin, il convient de synchroniser le système et de le raccorder au réseau électrique.

Mise sous tension de lignes:

- description: mise sous tension d'un système à haute tension (par exemple, transformateur avec ligne ou câble de transmission) avec une charge nulle ou faible. En raison de l'effet Ferranti, la tension du côté récepteur du système est susceptible d'être nettement supérieure à la tension du côté émetteur (c'est-à-dire la machine); des phénomènes électriques transitoires sont donc susceptibles de se produire;
- essais: le démarrage, autonome ou non, de la machinerie hydraulique est effectué avec commutation électrique sur un jeu de barres raccordé au système haute tension. Le réglage et la régulation de la fréquence et de la tension doivent ensuite être soumis à essai (avec des mesures prises aux deux côtés du système haute tension). Enfin, le système doit être synchronisé et raccordé au réseau électrique.

Exploitation des pompes-turbines dans la plage inférieure de la hauteur de chute de la centrale:

- description: à faible hauteur de chute, les pompes-turbines de faible vitesse spécifique peuvent présenter une zone d'instabilité (en S), en particulier à faible ouverture. Il est possible d'améliorer la stabilité, par exemple par l'actionnement non synchronisé des aubes directrices individuelles;
- essais: le cas échéant, l'exploitation dans cette zone doit être soumise à essai: il peut s'agir de vérifier la vitesse en marche à vide et la synchronisation ou l'arrêt des machines. Dans le cas où plusieurs machines sont raccordées au même conduit sous pression, il convient d'étudier l'effet des autres machines sur la zone d'instabilité (en S).

5.5.9 Essais d'emballlement

Pour éviter l'emballlement, de multiples mesures de sécurité sont généralement prévues dans la conception du système de régulation. Le risque qu'une machine hydraulique s'emballe au cours de sa durée de vie utile est généralement très faible. Si l'exploitant décide de réaliser un essai d'emballlement en régime permanent sur place ou si cet essai est défini dans le contrat, il doit être considéré comme un essai exigeant, qu'il convient de n'effectuer que sur un seul groupe dans une centrale à plusieurs groupes. Il convient également de ne réaliser l'essai qu'une seule fois, sauf dans des circonstances exceptionnelles.

Il convient que l'exploitant évalue la nécessité de réaliser un essai d'emballlement (ainsi que les avantages, les impacts sur la durée de vie utile et les risques associés) dès le début du projet, et que ses exigences soient consignées dans le ou les contrats relatifs à la machinerie hydraulique et électrique. L'essai ne doit être réalisé que sur un groupe neuf ou un groupe entièrement remis à neuf.

Toutes les précautions appropriées doivent être prises avant l'essai, et la procédure d'essai doit faire l'objet d'un accord entre toutes les parties concernées. Au minimum, les points suivants doivent être pris en compte:

- tous les auxiliaires doivent être entièrement opérationnels;
- le dispositif d'arrêt d'urgence manuel doit être opérationnel et avoir été soumis à essai;
- l'essai doit être réalisé uniquement pendant la période de mise en service;
- les limites d'entrefer, de température et de vibration doivent être déterminées et faire l'objet d'un accord avant l'essai;
- augmentation de la vitesse par palier, avec surveillance des valeurs critiques (vibrations, température, entrefers, etc.). L'essai à chaque palier de vitesse doit être limité à la durée minimale;
- une inspection des machines hydrauliques et électriques doit être effectuée après l'essai afin de déceler tout dommage ou toute irrégularité.

5.5.10 Autres essais

Voir les conditions de fonctionnement spéciales décrites en 6.3.3.

5.6 Fin de la mise en service

Un rapport documentant la mise en service doit être produit. Il convient qu'il comprenne les données enregistrées pertinentes, les valeurs des paramètres importants tels que les diaphragmes, etc., et si possible, les paramètres, valeurs et points à observer énumérés en 5.5.4.5.

Il convient de fournir des données d'essai préliminaires, dans la mesure où elles sont utiles pour l'exploitant (par exemple afin de ne pas retarder le début de la période de marche semi-industrielle).

Il est recommandé de documenter la fin de la mise en service et le début de la période de marche semi-industrielle.

6 Exploitation

6.1 Généralités

Le présent article porte sur l'exploitation de la machinerie hydraulique. Il décrit la période de marche semi-industrielle et la période de marche industrielle et donne des conseils et des recommandations les concernant.

La période d'exploitation comprend:

- la marche semi-industrielle;
- la marche industrielle, comportant la période de garantie et la période postérieure à la garantie.

Les paragraphes relatifs à la marche semi-industrielle et à la période de garantie doivent s'appliquer aux groupes neufs, après leur premier montage et leur mise en service, ou bien à n'importe quel groupe, après réparation ou révision.

6.2 Période de marche semi-industrielle

6.2.1 Généralités

Il convient que la période de marche semi-industrielle soit assez longue pour donner à l'exploitant l'assurance que tous les éléments fonctionnent de manière satisfaisante. Après une révision ou une modification, la période de marche semi-industrielle peut être écourtée ou même supprimée. La durée de cette période est généralement définie dans le contrat. L'exploitant doit utiliser la machine conformément à la spécification.

6.2.2 Responsabilités

Si rien d'inhabituel n'est observé pendant la période de régime d'essai, elle doit être suivie de la période de marche semi-industrielle. Le fournisseur est généralement responsable de son équipement pendant la période de marche semi-industrielle, ainsi que de la manière dont il est exploité. L'exploitant produit le plan d'exploitation. Pendant cette période de marche semi-industrielle, il est recommandé au personnel exploitant de faire fonctionner l'équipement en suivant les recommandations du fournisseur.

6.2.3 Indisponibilités et interruptions

Il convient que les conditions d'indisponibilité ou d'interruption autorisées pendant la période de marche semi-industrielle fassent l'objet d'un accord et soient consignées dans le contrat.