



ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS
PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL

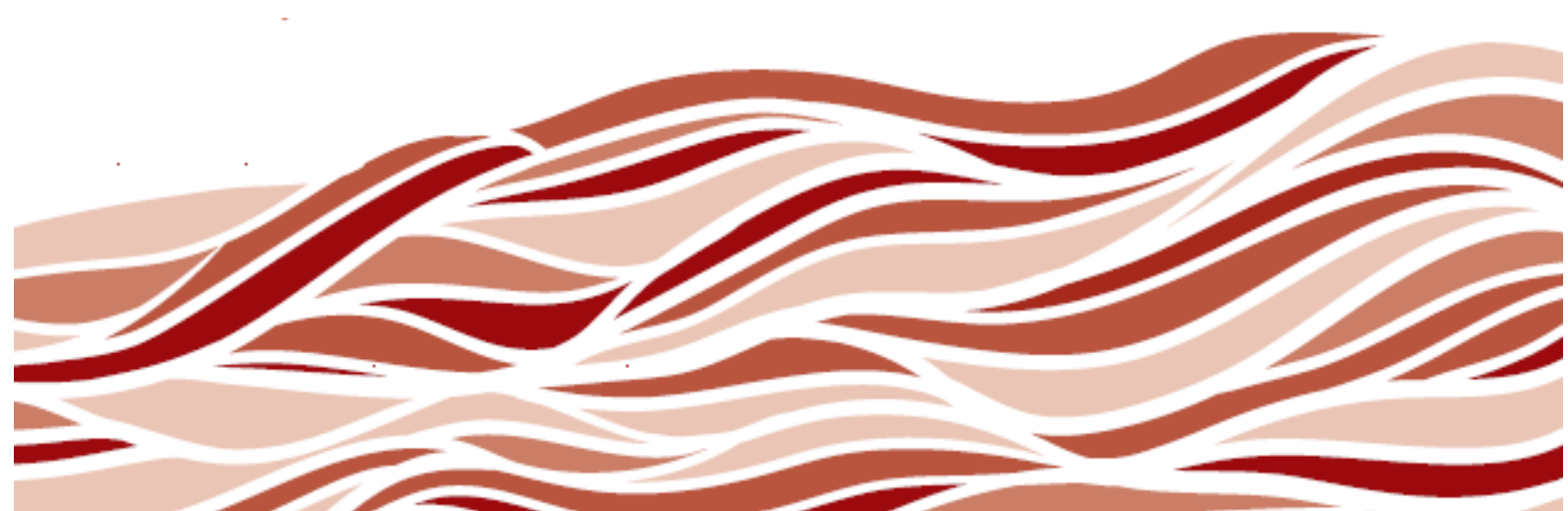


Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas
Centrais Hidroeléctricas

UNIDADES

Parte 3: sistema de controlo da turbina hidráulica

SHP/TG 003-3: 2019



DECLARAÇÃO DE EXONERAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

O presente documento foi produzido sem edição formal das Nações Unidas. As designações e a apresentação do material do presente documento não reflectem qualquer opinião do Secretariado da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) sobre o estatuto jurídico de qualquer país, território, cidade ou zona das suas autoridades, ou sobre as respectivas fronteiras ou limites, sistema económico ou grau de desenvolvimento. Designações como "desenvolvido", "industrializado" e "em desenvolvimento" são utilizadas para fins estatísticos e não reflectem necessariamente uma opinião sobre o estágio alcançado por um determinado país ou zona no processo de desenvolvimento. A menção de nomes de empresas ou produtos comerciais não constitui uma aprovação por parte da UNIDO. Apesar do extremo cuidado na manutenção da precisão das informações aqui contidas, nem a UNIDO nem os seus Estados membros assumem qualquer responsabilidade pelas consequências que possam advir do uso do material. O presente documento pode ser citado ou reimpresso livremente, mediante indicação da fonte.

© 2019 UNIDO / INSHP- Todos os direitos reservados

Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidroelétricas

UNIDADES

Parte 3: sistema de controlo da turbina hidráulica

SHP/TG 003-3: 2019

AGRADECIMENTOS

As directrizes técnicas (DT) são o resultado de um esforço de colaboração entre a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) e a Rede Internacional de Pequenas Centrais Hidroelétricas (INSHP). Cerca de 80 peritos internacionais e 40 agências internacionais estiveram envolvidos na preparação do documento e na sua revisão pelos pares, e forneceram sugestões e opiniões concretas para tornar as directrizes técnicas profissionais e aplicáveis.

A UNIDO e a INSHP estão extremamente gratas pelas contribuições recebidas durante a elaboração destas directrizes, em particular as fornecidas pelas seguintes organizações internacionais:

- O Mercado Comum da África Oriental e Austral (COMESA)
- A Rede Global de Centros Regionais de Energia Sustentável (GN-SEC), particularmente o Centro de Energia Renovável e Eficiência Energética da CEDEAO (ECREEE), o Centro de Energia Renovável e Eficiência Energética da África Oriental (EACREEE), o Centro de Energia Renovável e Eficiência Energética do Pacífico (PCREEE) e o Centro de Energia Renovável e Eficiência Energética das Caraíbas (CCREEE).

O Governo chinês facilitou a finalização destas directrizes e teve grande importância na sua conclusão.

O desenvolvimento destas directrizes beneficiou extraordinariamente dos pareceres, das análises e das críticas construtivas, bem como dos contributos de Adnan Ahmed Shawky Atwa, Adoyi John Ochigbo, Arun Kumar, Atul Sarthak, Bassey Edet Nkposong, Bernardo Calzadilla-Sarmiento, Chang Fangyuan, Chen Changjun, Chen Hongying, Chen Xiaodong, Chen Yan, Chen Yueqing, Cheng Xialei, Chileshe Kapaya Matantilo, Chileshe Mpundu Kapwepwe, Deogratias Kamweya, Dolwin Khan, Dong Guofeng, Ejaz Hussain Butt, Eva Kremere, Fang Lin, Fu Liangliang, Garaio Donald Gafiye, Guei Guillaume Fulbert Kouhie, Guo Chenguang, Guo Hongyou, Harold John Annegam, Hou ling, Hu Jianwei, Hu Xiaobo, Hu Yunchu, Huang Haiyang, Huang Zhengmin, Januka Gyawali, Jiang Songkun, K. M. Dhahesan Unnithan, Kipyego Cheluget, Kolade Esan, Lamyser Castellanos Rigoberto, Li Zhiwu, Li Hui, Li Xiaoyong, Li Jingjing, Li Sa, Li Zhenggui, Liang Hong, Liang Yong, Lin Xuxin, Liu Deyou, Liu Heng, Louis Philippe Jacques Tavernier, Lu Xiaoyan, Lv Jianping, Manuel Mattiat, Martin Lugmayr, Mohamedain SeifElnasr, Mundia Simainga, Mukayi Musarurwa, Olumide TaiwoAlade, Ou Chuanqi, Pan Meiting, Pan Weiping, Ralf Steffen Kaeser, Rudolf Hüpfel, Rui Jun, Rao Dayi, Sandeep Kher, Sergio Armando Trelles Jasso, Sindiso Ngwenga, Sidney Kilmete, Sitraka Zaraso Rakotomahefa, Shang Zhihong, Shen Cunke, Shi Rongqing, Sanja Komadina, Tareqemtairah, Tokihiko Fujimoto, Tovoniaina Ramanantsoa Andriampaniry, Tan Xiangqing, Tong Leyi, Wang Xinliang, Wang Fuyun, Wang Baolu, Wei Jianghui, Wu Cong, Xie Lihua, Xiong Jie, Xu Jie, Xu Xiaoyan, Xu Wei, Yohane Mukabe, Yan Wenjiao, Yang Weijun, Yan Li, Yao Shenghong, Zeng Jingnian, Zhao Guojun, Zhang Min, Zhang Liansheng, Zhang Zhenzhong, Zhang Xiaowen, Zhang Yingnan, Zheng Liang, Zheng Yu, Zhou Shuhua e Zhu Mingjuan.

Seria muito bem-vinda a formulação de recomendações e sugestões adicionais para a actualização.

Índice

Prefácio	II
Introdução	III
1 Âmbito	1
2 Referências normativas	1
3 Termos e definições	1
4 Disposições gerais	2
4.1 Selecção do modelo do controlo e do dispositivo de pressão do óleo	2
4.2 Situação operativa da unidade do gerador da turbina hidráulica	2
4.3 Constante de tempo de inércia da água e constante de tempo de inércia da unidade do gerador da turbina	2
4.4 Condições ambientais	2
4.5 Óleo do sistema de regulação da turbina hidráulica	3
4.6 Outros	3
5 Requisitos técnicos	3
5.1 Capacidade do servomotor	3
5.2 Grau de pressão do óleo	3
5.3 Características estáticas (queda de velocidade)	3
5.4 Características dinâmicas	4
5.5 Controlo	5
5.6 Dispositivo de pressão do óleo	9
6 Âmbito do fornecimento e peças sobressalentes	10
7 Documentos técnicos	11
8 Inspeção e aceitação	11
9 Placa de identificação, embalagem, transporte e armazenamento	11
9.1 Placa de identificação	11
9.2 Embalagem	12
9.3 Transporte	12
9.4 Armazenamento	12
10 Instalação, operação e manutenção	12
10.1 Instalação	12
10.2 Operação e manutenção	13
11 Período de garantia de qualidade	13
Apêndice A (Informativo)	14
Inspeção e ensaio de aceitação no local	14

Prefácio

A Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) é uma agência especializada no âmbito do sistema das Nações Unidas para promover o desenvolvimento industrial global inclusivo e sustentável (ISID). A relevância do ISID como abordagem integrada aos três pilares do desenvolvimento sustentável é reconhecida pela Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e pelos Objectivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) correspondentes, que irão enquadrar os esforços das Nações Unidas e dos países rumo ao desenvolvimento sustentável nos próximos quinze anos. O mandato da UNIDO para o ISID engloba a necessidade de apoiar a criação de sistemas energéticos sustentáveis, uma vez que a energia é essencial para o desenvolvimento económico e social e para a melhoria da qualidade de vida. A preocupação e o debate internacionais sobre energia têm crescido cada vez mais nas últimas duas décadas, com as questões da redução da pobreza, dos riscos ambientais e das alterações climáticas a assumirem agora um lugar central.

A INSHP (Rede Internacional de Pequenas Centrais Hidroeléctricas) é uma organização internacional de coordenação e promoção para o desenvolvimento global de pequenas centrais hidroeléctricas (PCH), baseada na participação voluntária de pontos focais regionais, sub-regionais e nacionais, instituições relevantes, serviços públicos e empresas, e cujo principal objectivo são os benefícios sociais. A INSHP visa a promoção do desenvolvimento global de PCH através da cooperação triangular técnica e económica entre países em desenvolvimento, países desenvolvidos e organizações internacionais, a fim de abastecer as zonas rurais dos países em desenvolvimento com energia ambientalmente saudável, acessível e adequada, o que levará ao aumento das oportunidades de trabalho, à melhoria dos ambientes ecológicos, à redução da pobreza, à melhoria dos padrões de vida e de cultura locais e ao desenvolvimento económico.

A UNIDO e a INSHP colaboram no Relatório Mundial de Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidroeléctricas desde 2010. Com base nos relatórios, o desenvolvimento de PCH não responde à procura. Um dos obstáculos ao desenvolvimento na maioria dos países é a falta de tecnologias. A UNIDO, em colaboração com a INSHP, através da cooperação de peritos a nível mundial e com base em experiências de desenvolvimento bem-sucedidas, decidiu desenvolver as directrizes técnicas das PCH para satisfazer a procura dos Estados membros.

Estas directrizes técnicas foram elaboradas de acordo com as regras editoriais das Directivas ISO/IEC, Parte 2 (consultar www.iso.org/directives).

Chama-se especial atenção para a possibilidade de que alguns dos elementos destas directrizes técnicas possam estar sujeitos a direitos de autor. A UNIDO e a INSHP não podem ser responsabilizadas pela identificação desses direitos de autor.

Introdução

As Pequenas Centrais Hidroeléctricas (PCH) são cada vez mais reconhecidas como uma importante solução de energia renovável para a electrificação de zonas rurais remotas. Contudo, embora a maioria dos países europeus, da América do Norte e do Sul e a China tenham elevados níveis de capacidade instalada, o potencial de uma PCH em muitos países em desenvolvimento permanece desconhecido e é prejudicado por vários factores, incluindo a falta de boas práticas ou normas globalmente acordadas para o desenvolvimento de PCH.

As presentes Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidroeléctricas (TG) vão abordar as actuais limitações das regulamentações aplicáveis às directrizes técnicas para PCH, aplicando conhecimentos especializados e as melhores práticas existentes em todo o mundo. Pretende-se que os países utilizem estas directrizes para apoiar as suas políticas, tecnologias e ecossistemas actuais. Os países com capacidades institucionais e técnicas limitadas poderão melhorar a sua base de conhecimentos no que respeita ao desenvolvimento de PCH, atraindo assim mais investimentos para projectos de PCH, encorajando políticas favoráveis e, conseqüentemente, contribuindo para o desenvolvimento económico a nível nacional. Estas directrizes técnicas serão valiosas para todos os países, mas, sobretudo, permitem a partilha de experiências e boas práticas entre países com conhecimentos técnicos limitados.

As directrizes técnicas podem ser utilizadas como princípios e fundamentos para o planeamento, estruturação, construção e gestão de PCH até 30 MW.

- Os termos e definições presentes nas directrizes técnicas especificam os termos e definições técnicas profissionais normalmente utilizados para PCH.
- As Directrizes de Concepção fornecem directrizes para os requisitos básicos, metodologia e procedimentos em termos de selecção do local, hidrologia, geologia, plano do projecto, configurações, cálculos de energia, hidráulica, selecção de equipamentos electromecânicos, construção, estimativas de custo, avaliação económica, financiamento, avaliações sociais e ambientais do projecto - com o objectivo último de obter as melhores soluções de concepção.
- As Directrizes das Unidades especificam os requisitos técnicos para turbinas, geradores, sistemas de regulação de turbinas hidráulicas, sistemas de excitação e válvulas principais, bem como para sistemas de vigilância, controlo, protecção e alimentação de corrente contínua, de PCH.
- As Directrizes de Construção podem ser utilizadas como documentos de orientação técnica para a construção de projectos de PCH.
- As Directrizes de Gestão fornecem orientações técnicas para a gestão, operação e manutenção, renovação técnica e aceitação de projectos de PCH.

Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidroelétricas - Unidades

Parte 3: Sistema de controlo da velocidade

1 Âmbito

Esta parte das Directrizes das Unidades especifica os requisitos técnicos, bem como os requisitos básicos para o âmbito do fornecimento, peças sobressalentes, documentos técnicos, inspecção e aceitação, embalagem, transporte, armazenamento, instalação, operação e manutenção do sistema de controlo da turbina hidráulica da pequena central hidroelétrica (PCH).

Este documento aplica-se ao controlo electro-hidráulico (doravante designado controlo) com uma capacidade de funcionamento de 350 N•m ou superior, bem como ao dispositivo de pressão do óleo.

2 Referências normativas

Os seguintes documentos são referidos no texto de forma a que parte ou a totalidade do seu conteúdo constitua uma exigência do presente documento. Para referências datadas, é apenas aplicável a edição citada. Para referências não datadas, é aplicável a mais recente edição do documento referido (incluindo eventuais alterações).

ISO 8068, *Lubrificantes, óleos industriais e produtos associados (Classe L) - Série T (Turbinas) - Especificação dos óleos lubrificantes para turbinas*

ISO 11158, *Lubrificantes, óleos industriais e produtos associados (Classe L) - Série H (Sistemas Hidráulicos) - Especificações das categorias HH, HL, HM, HV e HG*

IEC 61000-4-4, *Compatibilidade electromagnética (CEM) - Parte 4-4: Técnicas de ensaios e medições - Transiente rápido eléctrico/ensaio de imunidade contra ruptura*

IEC 60308, *Turbinas Hidráulicas - Ensaio dos sistemas de controlo*

IEC 61362, *Guia das especificações do sistema de controlo das turbinas hidráulicas*

SHP/TG 001, *Directrizes técnicas para o desenvolvimento de pequenas centrais hidroelétricas - Termos e definições*

3 Termos e definições

Para efeitos do presente documento, são aplicáveis os termos e definições constantes de IEC 60308, IEC 61362 e SHP/TG 001.

4 Disposições gerais

4.1 Selecção do modelo do controlo e do dispositivo de pressão do óleo

4.1.1 A selecção do modelo do controlo e do dispositivo de pressão do óleo deve ser razoável, a capacidade de funcionamento deve ser compatível com a turbina e devem poder controlar de forma segura a unidade do gerador da turbina abaixo da pressão hidrostática máxima da água e no caudal máximo e ter uma determinada tolerância.

4.1.2 A abertura máxima real da lâmina-guia deve corresponder, no mínimo, a mais de 80% do curso máximo do servomotor.

4.2 Situação operativa da unidade do gerador da turbina hidráulica

4.2.1 A turbina deve operar nas condições especificadas pelo fabricante.

4.2.2 A unidade do gerador da turbina deve operar de forma estável em várias condições manuais. Quando opera na condição manual sem carga (o excitador do gerador funciona no modo automático), o valor relativo da oscilação da velocidade da unidade do gerador da turbina não deve exceder $\pm 0,3\%$.

4.3 Constante de tempo de inércia da água e constante de tempo de inércia da unidade do gerador da turbina

4.3.1 A constante de tempo de inércia da água T_w do sistema de desvio de água da turbina não deve ser superior a 4 s.

4.3.2 A constante de tempo de inércia da unidade do gerador da turbina T_a não deve ser inferior a 4 s para a turbina de reacção, nem inferior a 2 s para a turbina de impulso.

4.3.3 A relação específica entre a constante de tempo de inércia da água T_w e a constante de tempo de inércia da unidade do gerador da turbina T_a não deve ser superior a 0,4.

4.4 Condições ambientais

As condições ambientais devem cumprir os seguintes requisitos:

- a) A altitude não deve exceder os 2500 m. Quando o equipamento for utilizado em locais com uma altitude superior a 2500 m, a redução da propriedade dieléctrica e a diminuição do efeito de arrefecimento do ar devem ser ponderadas, e o utilizador deve negociar com o fornecedor;
- b) A temperatura ambiente deve situar-se entre 5 °C e 40 °C;

- c) A humidade relativa máxima mensal não deve exceder os 85% (sem condensação) durante o mês mais húmido. A temperatura média mensal mínima não deve ser superior a 25 °C durante o mês em causa.

4.5 Óleo do sistema de regulação da turbina hidráulica

O grau de viscosidade do óleo utilizado no sistema de regulação da turbina hidráulica deve coincidir com o do óleo utilizado na turbina. A faixa de temperatura do óleo deve situar-se entre 10 °C e 50 °C e devem ser cumpridos os seguintes requisitos:

- a) Quando o grau de pressão do óleo não for superior a 12,5 MPa, deve ser escolhido o óleo hidráulico L-HL e a qualidade do óleo deve respeitar as disposições da ISO 8068;
- b) Quando o grau de pressão do óleo for superior a 12,5 MPa, deve ser escolhido o óleo hidráulico L-HM e a qualidade do óleo deve respeitar as disposições da norma ISO 11158.

4.6 Outros

Se as condições ambientais de serviço não cumprirem os requisitos, os índices de desempenho podem ser negociados pelo fornecedor e pelo utilizador.

5 Requisitos técnicos

5.1 Capacidade do servomotor

A capacidade do servomotor do sistema de regulação da turbina hidráulica deve corresponder aos requisitos de concepção da turbina.

5.2 Grau de pressão do óleo

O grau de pressão do óleo do controlo e do dispositivo de pressão do óleo deve ser (MPa): 2,5, 4,0, 6,3, 10,0, 12,5 e 16,0.

5.3 Características estáticas (queda de velocidade)

5.3.1 A curva característica estática deve ser praticamente uma linha recta.

5.3.2 Quando o coeficiente de diferença permanente b_p for de 4%, consultar a insensibilidade do regulador de velocidade medida no servomotor principal no Quadro 1.

Quadro 1 Insensibilidade do regulador de velocidade do sistema de controlo da turbina

Elemento	Tipo de controlo			
	Controlo em grande escala ($A > 75\,000\text{ N}\cdot\text{m}$)	Controlo em média escala ($18\,000\text{ N}\cdot\text{m} \leq A \leq 75\,000\text{ N}\cdot\text{m}$)	Controlo em pequena escala ($3000\text{ N}\cdot\text{m} \leq A < 18\,000\text{ N}\cdot\text{m}$)	Controlo em escala ultra pequena ($350\text{ N}\cdot\text{m} \leq A < 3000\text{ N}\cdot\text{m}$)
Insensibilidade do regulador de velocidade i_x (%)	0,02	0,06	0,10	0,20

5.3.3 Para o sistema de controlo da turbina hidráulica da turbina Kaplan, a i_a (imprecisão do servo sistema das pás) não deve exceder 0,8% e o desvio admissível da curva de combinação medida e da curva de combinação teórica deve ser de 1% do curso total do servomotor das pás.

5.3.4 Para o sistema de controlo da turbina hidráulica da turbina de impulso de bicos múltiplos, o desvio de posição entre quaisquer duas agulhas não deve exceder 1% do curso total e o desvio de posição de cada agulha em relação ao valor médio de todas as posições da agulha não deve exceder 0,5% no estado estacionário.

5.4 Características dinâmicas

5.4.1 O controlo deve garantir a estabilidade da unidade do gerador da turbina em várias condições de serviço e em vários modos de operação e deve cumprir os seguintes requisitos:

- a) Quando o controlo estiver a funcionar automaticamente sem carga, aplicar um sinal de comando de velocidade com jacto de corte separado e observar o processo de transição. Depois de estabilizar, registar o valor relativo da oscilação da velocidade:
 - 1) O valor relativo não deve exceder $\pm 0,25\%$ no controlo em média e pequena escala;
 - 2) O valor relativo não deve exceder $\pm 0,3\%$ no controlo em escala ultra pequena;
- b) Se o valor relativo da oscilação da velocidade manual sem carga da unidade do gerador da turbina for superior ao valor especificado, o valor relativo da respectiva oscilação de velocidade automática sem carga não deve ser superior ao valor relativo da oscilação de velocidade manual sem carga;
- c) Para a unidade do gerador da turbina cuja inércia rotacional não cumpra os requisitos de cálculo de garantia da regulação, o valor relativo da respectiva oscilação da velocidade automática sem carga é negociado separadamente entre o fornecedor e o utilizador.

5.4.2 O tempo morto do servomotor não deve ser superior a 0,2 s.

5.4.3 A qualidade dinâmica da unidade do gerador da turbina após a rejeição de carga deve cumprir os seguintes requisitos:

- a) Após uma rejeição de carga total, o coroamento que estiver 3% acima do valor da velocidade de rotação nominal no estado estacionário não aparece mais de duas vezes no processo de variação de velocidade;
- b) O tempo de regulação cumpre um dos seguintes requisitos:
 - 1) O tempo de regulação, a partir do momento em que o servomotor começa a deslocar-se para a direcção de abertura pela primeira vez após a rejeição de carga até ao momento em que o valor relativo da oscilação de velocidade não é superior a $\pm 1\%$, não é superior a 40 s;
 - 2) A relação entre o tempo de regulação t_E do início da rejeição de carga e o momento em que o desvio entre a velocidade de rotação e o valor nominal é inferior a $\pm 1\%$, até ao tempo t_M entre o início da rejeição de carga no momento em que a velocidade de rotação aumenta até ao valor máximo deve cumprir os seguintes requisitos:
 - não deve ser superior a 8 na turbina de reacção com pressão hidrostática média e baixa da água;
 - não deve ser superior a 12 na turbina Kaplan com um tempo de fecho das pás relativamente longo;
 - não deve ser superior a 15 na turbina de reacção com elevada pressão hidrostática da água e na turbina de impulso;
- c) Para a unidade do gerador da turbina que fornece energia à central hidroeléctrica depois de desligada da rede eléctrica, a velocidade mínima relativa da unidade do gerador da turbina após a rejeição de carga não deve ser inferior a 0,85 (excepto nas unidades da turbina de bolbo com controlo de irrupção e um tempo de fecho das pás relativamente longo).

5.5 Controlo

5.5.1 Os parâmetros de controlo baseado no PID (identificador de parâmetros) devem ser ajustáveis no âmbito da concepção:

- a) O valor mínimo do ganho proporcional K_P não deve ser superior a 0,5 e o valor máximo não deve ser inferior a 20;
- b) O valor mínimo do ganho integral K_I , não deve ser superior a $0,05 \text{ s}^{-1}$ e o valor máximo não deve ser inferior a 10 s^{-1} ;
- c) O valor mínimo do ganho diferencial K_D é 0 e o valor máximo não deve ser inferior a 5 s.

5.5.2 O coeficiente de queda de velocidade permanente b_p deve ser ajustável de forma adequada dentro da faixa de 0 a 10%.

5.5.3 O alcance do ajustamento do sinal de comando de velocidade deve ser de $\pm 10\%$ da velocidade nominal.

5.5.4 A limitação da abertura (carga) deve ser ajustável dentro da faixa de 0 até à abertura máxima (carga).

5.5.5 O tempo de fecho T_r e o tempo de abertura T_g do servomotor deve ser ajustável de forma adequada dentro do âmbito da concepção.

5.5.6 O controlo deve poder realizar o arranque, a paragem e a paragem de emergência da unidade do gerador da turbina nos modos automático e manual.

5.5.7 O controlo deve poder definir a insensibilidade do regulador artificial, o seu alcance é de $\pm 1\%$ da velocidade nominal e pode ser definido de forma adequada dentro do âmbito da concepção.

5.5.8 Quando o sinal de entrada do detector de velocidade, o sinal da pressão hidrostática da água, o sinal de potência ou o sinal de posição do servomotor desaparecer, a unidade do gerador da turbina deve poder manter a carga de corrente e o desvio admissível da variação de abertura do servomotor principal da turbina deve ser de $\pm 1\%$ do curso total. No entanto, a paragem ordenada e a paragem de emergência da unidade do gerador da turbina não serão afectadas.

5.5.9 Requisitos básicos do projecto de software:

- a) O software deve utilizar a concepção estruturada e modular e respeitar os regulamentos e os requisitos de controlo da unidade do gerador da turbina em várias condições de serviço;
- b) O sistema de software deve ser composto pelos seguintes módulos: Medição de frequência, regulação do PID, processamento de entrada/saída, visualização, diagnóstico e detecção de falhas.

5.5.10 Além das funções básicas, o controlo baseado em microcomputador também deve ter as funções de diagnóstico de falhas e de controlo de tolerâncias de falhas e deve dispor da interface de comunicação e do protocolo de comunicação aberta.

5.5.11 O detector de velocidade deve cumprir os seguintes requisitos:

- a) Dentro de um intervalo de $\pm 10\%$ da velocidade nominal, a curva característica estática deve aproximar-se de uma linha recta e a insensibilidade do regulador de velocidade deve respeitar o valor das especificações de concepção;
- b) Numa faixa de $\pm 2\%$ da velocidade nominal, o valor permitido do valor medido do coeficiente de amplificação deve ser de $\pm 5\%$ do valor de concepção.

5.5.12 O conversor electro-hidráulico e electromecânico deve cumprir os seguintes requisitos:

- a) Nas condições de serviço especificadas, o conversor deve poder trabalhar de forma adequada e segura;

- b) Na insensibilidade do regulador dos conversores electro-hidráulicos, a derivação da pressão do óleo, o desvio medido, o coeficiente de amplificação e o consumo de óleo não devem exceder o valor de concepção e o alcance do serviço não deve ser inferior ao valor dos requisitos de concepção;
- c) A resistência de serviço e o curso do conversor electromecânico não devem ser inferiores ao valor de concepção;
- d) Os conversores electro-hidráulicos e electromecânicos devem poder voltar à posição neutra após o corte de energia. No estado estável, o desvio admissível da variação do curso do servomotor deve ser $\pm 1\%$ do seu curso total quando a energia é desligada.

5.5.13 As características de fluxo da válvula de distribuição principal com a queda de pressão especificada devem respeitar o valor de concepção.

5.5.14 O controlo pode dispor de um dispositivo de fecho por fases de acordo com a regra de fecho da lâmina-guia. O seu ponto inicial deve ser ajustável na faixa de abertura de 0 a 60%, a acção deve ser estável e segura e o desvio de posição do ponto inicial não deve exceder $\pm 3\%$ do curso completo do servomotor.

5.5.15 A válvula de distribuição de emergência deve cumprir os seguintes requisitos:

- a) A configuração do tempo de paragem não deve ser inferior ao tempo de paragem mínimo do servomotor na condição de paragem de emergência rápida;
- b) O atraso desde a acção da válvula de distribuição de emergência até à acção do servomotor principal não deve ser superior a 0,5 s;
- c) O sinal de posição que reflecte o estado da acção do núcleo da válvula deve ser definido.

5.5.16 Após a montagem dos componentes hidráulicos, as fugas de óleo não devem exceder o valor de concepção à temperatura do óleo especificada e à pressão nominal do óleo.

5.5.17 O transdutor de deslocamento altamente confiável próximo do servomotor deve ser utilizado como dispositivo de retroacção do servomotor. Os sinais de saída do transdutor de deslocamento podem ser do tipo de tensão -10 V a 0 V, 0 V a 10 V ou do tipo de corrente 4 mA a 20 mA. O nível de precisão do sensor de deslocamento não deve ser inferior a 0,5.

5.5.18 O controlo deve utilizar fontes de alimentação de corrente contínua e de corrente alternada ao mesmo tempo, que servem de reserva uma para a outra. Se alguma falhar, será comutada automaticamente e o sinal de alerta será accionado. Quando a alimentação é comutada, o desvio admissível da variação do curso do servomotor deve ser de $\pm 1\%$ do curso total. Pode garantir o funcionamento contínuo e estável do controlo dentro da seguinte fonte de alimentação e faixa de frequência:

- a) Fonte de alimentação de corrente alternada:

Faixa de tensão de entrada: 380/220 x (85% a 110%)V

Desvio de frequência admissível: $\pm 10\%$

b) Fonte de alimentação de corrente contínua:

Faixa de tensão de entrada: $220/110 \times (85\% \text{ a } 110\%)V$

5.5.19 A resistência de isolamento e a tensão suportável à frequência industrial devem cumprir os seguintes requisitos:

- a) A resistência de isolamento entre os ciclos eléctricos e entre o circuito eléctrico e o invólucro ou o solo não deve ser inferior a $1 \text{ M}\Omega$ no ambiente com uma temperatura entre $15 \text{ }^\circ\text{C}$ e $35 \text{ }^\circ\text{C}$ e uma humidade relativa entre 45% e 75% ;
- b) Quando os ensaios forem realizados entre a parte activa separada e a parte condutora exposta e entre o circuito e o invólucro de metal (ou solo) no ambiente com uma temperatura entre $15 \text{ }^\circ\text{C}$ e $35 \text{ }^\circ\text{C}$ e uma humidade relativa entre 45% e 75% , devem poder executar a tensão de ensaio suportável especificada no Quadro 2 durante 5 s em função da tensão de serviço.

Quadro 2 Tensão de ensaio suportável do sistema de controlo da turbina hidráulica

Unidade: Volt (V)

Tensão nominal U_i	Tensão de ensaio à frequência industrial (valor quadrático médio da corrente alternada)
$U_i \leq 60$	1000
$60 < U_i \leq 300$	2000
$300 < U_i \leq 690$	2500

- c) O circuito auxiliar que não seja adequado para ser alimentado directamente a partir do ciclo principal deve poder executar a tensão de ensaio suportável especificada no Quadro 3 durante 5 s.

Quadro 3 Tensão de ensaio suportável do circuito auxiliar do sistema de controlo da turbina hidráulica

Unidade: Volt (V)

Tensão nominal U_i	Tensão de ensaio à frequência industrial (valor quadrático médio da corrente alternada)
$U_i \leq 12$	250
$12 < U_i \leq 60$	500
$U_i > 60$	$2 U_i + 1000$, o valor mínimo é 1500

5.5.20 O dispositivo eléctrico deve poder suportar a interferência da fonte de alimentação, da fonte do sinal e da porta de controlo, assim como a interferência do campo electromagnético irradiado do ambiente. No entanto, a interferência electromagnética do próprio dispositivo deve ser minimizada, e o ensaio eléctrico transitório rápido deve ser realizado de acordo com a norma IEC 61000-4-4. Quando a interferência for aplicada, a função e a acção do dispositivo eléctrico devem estar correctas e o servomotor não deve executar acções anormais.

5.6 Dispositivo de pressão do óleo

5.6.1 O reservatório de pressão deve estar em conformidade com as especificações de concepção e utilizar as especificações do contentor de pressão.

5.6.2 Quando a pressão de serviço do óleo exceder os 6,3 MPa, o contentor de pressão do dispositivo de pressão do óleo deve adoptar o acumulador tipo bexiga com o óleo e o gás separados. Quando a pressão de serviço do óleo não exceder os 6,3 MPa, pode ser utilizado o reservatório de pressão normal com o óleo e o gás em contacto ou o acumulador tipo bexiga.

5.6.3 No limite superior da pressão de serviço normal do óleo, a razão entre o volume de óleo e o gás no contentor de pressão não isolado deve estar entre 1/3 e 1/2.

5.6.4 A faixa da pressão de serviço normal do óleo do dispositivo de pressão do óleo deve estar entre $\pm 2\%$ e $\pm 5\%$ da pressão de serviço nominal. A pressão da paragem de emergência (pressão mínima da paragem de emergência) deve ser seleccionada para que a pressão não caia abaixo da pressão de funcionamento mínima após a paragem.

5.6.5 No limite inferior da pressão de serviço normal do óleo e quando a bomba de óleo não estiver ligada, o volume do reservatório de pressão deve poder, pelo menos, fornecer a quantidade exacta de cursos do servomotor, na condição de a queda de pressão não exceder a diferença entre o limite inferior da pressão de serviço normal do óleo e a pressão de funcionamento mínima do óleo;

- a) Para a turbina Francis, deve fornecer 3 cursos do servomotor com lâminas-guia;
- b) Para a turbina de impulso, também devem ser considerados (1,5 a 2) cursos do servomotor com agulha, além de 3 cursos do servomotor deflector;
- c) Para a turbina Kaplan, também devem ser considerados (1,5 a 2) cursos do servomotor de pás, além de 3 cursos do servomotor com lâminas-guia;
- d) Para o controlo com a válvula controladora de pressão, também devem ser considerados (1,5 a 2) cursos do servomotor da válvula controladora de pressão, além de 3 cursos do servomotor com lâminas-guia;
- e) Em relação ao sistema de controlo utilizado na operação do sistema de alimentação isolado, o volume de óleo disponível pode ser aumentado de forma adequada, que é normalmente de 1,5 a 2 vezes os valores referidos.

5.6.6 Requisitos técnicos da bomba de óleo:

- a) O dispositivo de pressão do óleo deve dispor de bombas de óleo duplas, uma para serviço e outra de reserva;
- b) A velocidade de serviço da bomba de óleo não deve exceder as 1500 r/min. Quando o controlo está em condições de funcionamento estáveis, o tempo de aumento da pressão do limite inferior da pressão de serviço normal até ao limite superior da pressão de serviço normal não deve ser superior a 100 s. Em relação ao controlo em serviço no sistema de alimentação isolado, o tempo de aumento da pressão do limite inferior da pressão de serviço normal até ao limite superior da pressão de serviço normal não deve ser superior a 40 s;
- c) Com a unidade do gerador da turbina no estado estático ou estável, o intervalo de arranque da bomba de óleo em funcionamento intermitente do dispositivo de pressão do óleo deve ser superior a 20 minutos.

5.6.7 Requisitos técnicos da válvula de segurança:

- a) Quando a pressão do óleo for 2% superior ao limite superior da pressão de serviço do óleo, a válvula de segurança deve começar a drenar o óleo. Antes que a pressão do óleo seja 10% superior ao limite superior da pressão de serviço do óleo, a válvula de segurança deve ser completamente aberta de forma a que a pressão do óleo no reservatório de pressão não aumente ainda mais;
- b) A taxa de fuga da válvula de segurança não deve ser 1% superior à quantidade de óleo fornecida pela bomba de óleo;
- c) A válvula de segurança deve estar a funcionar correctamente e não deve apresentar sinais de vibração forte e ruídos.

5.6.8 O erro de acção admissível do valor definido do indicador de pressão individual do dispositivo de pressão do óleo deve ser $\pm 2\%$ do valor definido.

5.6.9 O caudal de óleo na tubagem do sistema de controlo não deve exceder os 5 m/s.

6 Âmbito do fornecimento e peças sobressalentes

O âmbito de fornecimento e as peças sobressalentes devem incluir os seguintes elementos:

- a) Âmbito do fornecimento: Controlo, dispositivo de pressão do óleo, transmissores de posicionamento e cabos especiais entre a parte electrónica do controlo e a unidade hidráulica;
- b) Peças sobressalentes: peças de desgaste rápido necessárias a fornecer;

- c) Outros equipamentos e peças sobressalentes a negociar entre o fornecedor e o utilizador e especificados no contrato.

7 Documentos técnicos

O fornecedor deve facultar os documentos técnicos necessários ao utilizador, incluindo principalmente:

- a) Diagrama esquemático do sistema e diagramas esquemáticos da operação;
- b) Vista exterior e desenho da instalação;
- c) Plano da disposição e diagrama de fiação dos componentes principais no armário do painel;
- d) Documentos anexos ao equipamento subcontratado (incluindo o hardware);
- e) Relatório de inspeção da entrega e certificado de conformidade (1 conjunto/unidade);
- f) Instruções de instalação, utilização e manutenção;
- g) Especificações de entrega.

8 Inspeção e aceitação

Consultar os elementos de inspeção e aceitação no Quadro A.1.

9 Placa de identificação, embalagem, transporte e armazenamento

9.1 Placa de identificação

A placa de identificação do produto deve estar afixada numa posição bem visível em cada produto. Os materiais de construção e o método de gravação das placas de identificação devem garantir que o texto não é apagado durante todo o período de serviço. Os conteúdos principais devem incluir:

- a) Nome e modelo;
- b) Pressão nominal do óleo (MPa);
- c) Capacidade de serviço ($N \cdot m$);
- d) Tamanho nominal da válvula de distribuição principal;
- e) Volume do reservatório de pressão (m^3);
- f) Nome do fabricante, data de entrega e número do produto.

9.2 Embalagem

9.2.1 Caso existam requisitos especiais, estes devem ser indicados no contentor da embalagem.

9.2.2 O produto deve ter contentores de embalagem internos e externos. A caixa deve estar bem travada e presa. O contentor de embalagem deve ser protegido por medidas anti-poeiras, de impermeabilização e anti-vibração. Deve dispor de dispositivo e sinalizações de elevação.

9.2.3 As inspecções do produto antes da embalagem incluem principalmente:

- a) Verificação de se os acessórios, as peças sobressalentes, o certificado de conformidade e os documentos técnicos relevantes do produto estão completos;
- b) Verificação de se a aparência do produto está danificada.

9.2.4 A embalagem dos produtos para exportação deve estar em conformidade com o disposto na regulamentação nacional em matéria de inspecção e quarentena.

9.2.5 O prazo de garantia da embalagem não deve exceder os doze (12) meses a contar da data de entrega.

9.3 Transporte

O fornecedor e o utilizador devem especificar as ferramentas de transporte adequadas para o equipamento e os requisitos do processo de transporte. O transporte e o manuseamento devem ser efectuados de acordo com a marcação dos contentores de embalagem.

9.4 Armazenamento

9.4.1 Os produtos devem ser guardados em armazéns sem poeiras e impermeáveis à chuva, com temperatura ambiente entre -25 °C e +55 °C, humidade relativa não superior a 85% e sem ácidos, álcalis, sal e gases corrosivos ou explosivos, ou campo electromagnético forte.

9.4.2 A partir da data de entrega pelo fornecedor, este deve garantir que os produtos não apresentam sinais de corrosão e de redução da precisão devido a embalagem inadequada nos doze (12) meses seguintes, nas condições de armazenamento especificadas no ponto 4.4.

10 Instalação, operação e manutenção

10.1 Instalação

O produto deve ser instalado por profissionais experientes, competentes e qualificados.

10.2 Operação e manutenção

10.2.1 Antes de entrar em funcionamento formalmente, devem ser realizados os ensaios relevantes e cumpridos os requisitos especificados.

10.2.2 A operação e a manutenção devem cumprir o disposto nas referências normativas, as instruções de instalação, utilização e manutenção fornecidas pelo fornecedor, bem como as especificações de funcionamento relevantes da central hidroeléctrica.

10.2.3 O fornecedor deve providenciar o suporte técnico para a solução dos problemas que ocorrem durante a instalação, a utilização e a manutenção do equipamento e deve dar formação à equipa do utilizador relativamente à instalação, utilização e manutenção do equipamento.

11 Período de garantia de qualidade

Sob a premissa de que o produto é convenientemente armazenado, instalado e utilizado, o período de garantia de qualidade do produto é de um ano após a data do funcionamento experimental de 72 horas ou dois anos após a data de entrega do último lote de mercadorias, consoante a que ocorrer primeiro. Se o equipamento estiver danificado ou não funcionar correctamente devido à qualidade de fabrico durante o período de garantia de qualidade, o fornecedor deve repará-lo ou substituí-lo gratuitamente.

Apêndice A
(Informativo)

Inspeção e ensaio de aceitação no local

Quadro A.1 Elementos do ensaio de aceitação no local e de inspeção de fábrica do sistema de controlo da turbina hidráulica

N.º	Elementos de ensaio	Inspeção de fábrica	Aceitação no local
1	Inspeção da aparência	√	√
2	Inspeção do medidor	√	√
3	Inspeção da ligação eléctrica	√	√
4	Ensaio de isolamento do circuito eléctrico	√	
5	Inspeção da função de comunicação	√	√
6	Inspeção e ensaio da fonte de alimentação	√	√
7	Ensaio de estanquidade do reservatório de pressão	√	
8	Ensaio da bomba de óleo	√	
9	Ensaio de fugas do dispositivo de pressão do óleo	√	√
10	Verificação dos valores de regulação da pressão do óleo e dos sinais de nível de óleo do dispositivo de pressão do óleo	√	√
11	Ensaio da simulação do funcionamento automático do dispositivo de pressão do óleo	√	√
12	Inspeção e ensaio do detector de velocidade	√	
13	Ensaio do conversor electro-hidráulico	√	
14	Ajuste do tempo de fecho T_f , e do tempo de abertura T_g do servomotor	√	√
15	Medição da faixa do tempo de fecho e de abertura do servomotor	√	
16	Ensaio da acção do circuito operativo	√	√
17	Ensaio da comutação dos modos de regulação e de controlo	√	√
18	Medição do ganho em malha aberta prático e do ensaio de ajuste do ganho em malha aberta	√	√
19	Verificação do sinal de comando da velocidade de rotação, sinal de comando de abertura, sinal de comando de potência e do coeficiente de diferença permanente b_p	√	
20	Verificação do ganho proporcional K_P , ganho integral K_I , e ganho diferencial K_D	√	
21	Medição e ensaio das características estáticas (incluindo a insensibilidade do controlo de velocidade) e da insensibilidade do regulador de velocidade i_x do controlo	√	√

Quadro A. 1 (continuação)

N.º	Elementos de ensaio	Inspeção de fábrica	Aceitação no local
22	Medição e ensaio da curva de combinação e imprecisão i_a do servo sistema das pás		
23	Ensaio de sincronização entre as lâminas-guia (agulhas)		√
24	Medição e ensaio do tempo morto do servomotor T_q	√	√
25	Medição do consumo total de óleo do controlo	√	
26	Ensaio da comutação da simulação de falhas e dos modos de controlo	√	√
27	Ensaio de arranque/paragem automático		√
28	Ensaio sem carga		√
29	Ensaio de descarga		√
30	Ensaio do fecho da lâmina-guia à pressão de disparo mais baixa do óleo		√
31	Ensaio do funcionamento contínuo com carga durante 72 horas		√
NOTA 1	Os pontos sinalizados com "/" no quadro devem ser executados.		
NOTA 2	Se o equipamento testado não apresentar a estrutura e a função relevantes para um determinado elemento do ensaio, esse elemento não precisa de ser testado.		