SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

GGH-25
19 a 24 Outubro de 2003
Uberlândia - Minas Gerais

GRUPO I
GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH

SOLUÇÕES PARA IMPLANTAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

Eng. Glauco Vinicius de Freitas*
VOITH SIEMENS HYDRO
02995.000 – São Paulo, SP - Brasil

Dr. Eng. Gervásio Luiz de Castro Neto
VOITH SIEMENS HYDRO
02995.000 – São Paulo, SP - Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta considerações técnicas para soluções de arranjos de grupos com turbinas Francis horizontais e sobre definições de características que influem na regulação da velocidade / potência de turbinas e na regulação da tensão de geradores.

Consta ainda, considerações genéricas sobre os demais equipamentos de uma PCH.

PALAVRAS-CHAVE

Pequena Central Hidrelétrica - PCH, turbina Francis horizontal.

1.0 - INTRODUÇÃO

Devido à alta competitividade do mercado de hidrogeração e ainda motivada pela constante busca do melhor retorno para cada investimento realizado, faz-se necessário por parte dos fabricantes criar soluções, cada vez mais otimizadas do ponto de vista tecnológico para implantação de projetos e também rever alguns conceitos importantes para o dimensionamento dos grupos geradores.

Baseado neste cenário e visto que este segmento de mercado representado pelas pequenas centrais hidrelétricas tem evoluído muito nos últimos anos no Brasil, desenvolveu-se um novo conceito para implantação de PCH´s, aliando qualidade, flexibilidade e custos reduzidos. Desta forma a solução com grupos geradores compostos de turbinas Francis Horizontais são os que melhores se encaixam nessa realidade. Assim os grupos geradores com turbinas Francis Horizontais são os que mais atendem a estes objetivos.

2.0 SOLUÇÕES PARA GRUPOS COM TURBINAS FRANCIS HORIZONTAIS

2.1 Grupos Turbina Gerador com 2 (dois) Mancais.

Nesta solução o rotor da turbina está em balanço na ponta de eixo do gerador. O mancal combinado, escora-guia, está localizado entre a turbina e o gerador. O volante encontra-se na ponta de eixo do lado oposto ao da turbina, onde pode ser instalado o sistema de excitação "brush-less" do gerador.

A placa de aço de apoio da carcaça do gerador e dos mancais do grupo forma um conjunto sólido, de alta rigidez, possibilitando um alinhamento preciso entre as partes girantes, evitando vibrações nos rotores.

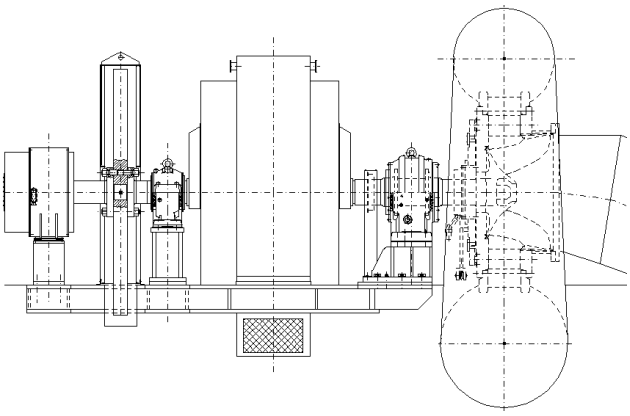

FIGURA1- CORTE TRANSVERSAL COM 2 MANCAIS.

*Rua Friedrich Von Voith, 825 - CEP 02995-000 – São Paulo - SP - BRASIL
Tel.: (011) 3944-5684 - Fax: (011) 3944-4809 - E-MAIL: glauco.freitas@vs-hydro.com

FIGURA 2 - FOTO PCH RIO DO PEIXE.

2.2 Grupos Turbina Gerador com 3 (três) Mancais

Nesta solução o gerador tem seus 2 mancais de guia, apoiados juntamente com a carcaça em uma placa de base de aço. Na extensão dessa base está apoiado um terceiro mancal combinado, escora-guia, com o rotor da turbina em balanço na ponta de eixo. No acoplamento dos eixos da turbina / gerador localiza-se o volante. A placa de base também forma um conjunto rígido. No lado não acoplado do gerador pode ser instalado o sistema de excitação "brush-less". Vide Fig. 3 e 4.

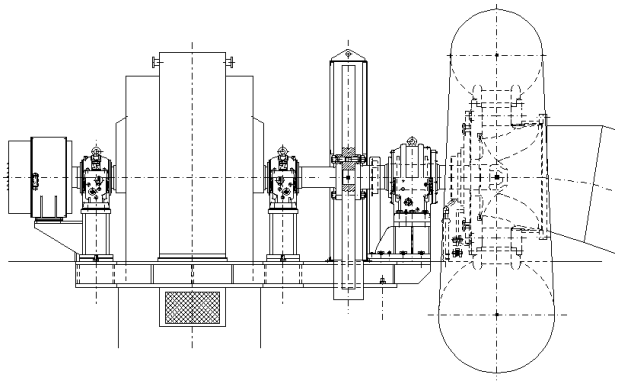

FIGURA 3-CORTE TRANSVERSAL COM 2 MANCAIS.

FIGURA 4 - FOTO PCH FUMAÇA EM MONTAGEM.

3.0 - EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS DA PCH

3.1 Turbina

3.1.1 Definição de Características de Regulação de Velocidade e Potência

A definição de algumas características de regulação da turbina são básicas para responder satisfatoriamente às variações bruscas de carga ativa do sistema elétrico.

Nas PCH´s que operam em paralelo com o sistema elétrico, as variações bruscas de carga ativa são atendidas pelo sistema elétrico e as variações de carga são repartidas entre os grupos da PCH e o sistema elétrico em paralelo. Como normalmente o sistema elétrico tem capacidade superior que a PCH, este vai absorver a maior parte da carga, resultando em variações pequenas na freqüência do sistema. O volante e a resposta do regulador de velocidade não são fundamentais na operação da turbina nas variações de carga. Lentamente, a turbina pode ter sua potência alterada para atender o degrau de carga solicitado. O transitório desta variação é executado sem grande variação de sobrepressão no conduto forçado.

Nas PCH´s que operam em sistemas isolados a definição de algumas características tornam-se essenciais na conceituação do sistema de regulação da turbina. As variações bruscas de carga ativa são compensadas pelo dimensionamento do GD^2 do volante e pela resposta rápida do sistema de regulação de velocidade. O regulador deve ser calibrado para agir em tempos curtos, ocasionando variações de pressões maiores no conduto forçado. Para não se ter grandes variações na velocidade, ou melhor, na freqüência do sistema, o dimensionamento do GD^2 do volante e a resposta do sistema de regulação de velocidade devem absorver as variações de carga do sistema elétrico. Neste caso a definição do degrau de carga a ser aplicado na turbina e a variação da freqüência do grupo são necessários.

3.1.2 Otimização dos componentes da turbina

Para um melhor dimensionamento da turbina devido ao tamanho reduzido, o distribuidor terá um arranjo com número reduzido de palhetas móveis, cuidadosamente dimensionadas para permitir um escoamento sem maiores turbulências, possibilitando uma melhor operação da turbina. As bielas responsáveis pelo acionamento das alavancas das palhetas serão do tipo “bielas flambáveis” com uma geometria especialmente construída para no caso de algum corpo estranho quiser passar pelo distribuidor ela entra em ação evitando maiores danos ao rotor da turbina.

Redução do número de virolas da caixa espiral propiciando instalações cada vez mais compactas. Testes de simulação de operação realizados na própria fábrica tais como: o teste de estanqueidade e a montagem do conjunto caixa-espiral / pré-distribuidor / distribuidor, sendo este conjunto transportado para a usina totalmente montado e ensaiado.

Alta precisão na construção do rotor da turbina empregando a mais moderna tecnologia de projeto e

usinagem, opta-se pela solução construtiva de fazer furos de alívio no cubo do rotor possibilitando a passagem da água que seguirá para um dreno que conduzirá a água até o poço de drenagem, evitando assim maiores problemas de desequilíbrio de pressão dentro da turbina e a instalação de tubulação de alívio metálico.

Implantação do tubo de sucção da turbina com arranjo inclinado, até cerca de 40º com a vertical, diminuindo sensivelmente a cota de soleira do canal de fuga visto que algumas usinas são construídas sob terreno rochoso e o alto custo de escavação e terraplanagem pode inviabilizar um projeto.

Adoção de uma unidade hidráulica comum entre a turbina e a válvula borboleta para acionamento dos respectivos servomotores visto que o volume de óleo requerido pelos equipamentos não é muito grande, facilitando o lay-out da usina por se tratar de um único kit.

A utilização de acumuladores de óleo tipo “bexiga” para o sistema de regulação, deverão ser dimensionados para atender a 3 (três) ciclos completos dos servomotores garantindo assim maior segurança ao sistema no caso de haver alguma pane nas bombas de óleo.

Possibilidade de definição de tempos de fechamento do distribuidor para paradas bruscas da turbina acima de 5 (cinco) segundos o que influência diretamente no dimensionamento da unidade hidráulica que deverá atender prontamente este tipo de solicitações. Porém, a confirmação dos tempos de fechamento do distribuidor dependerá das análises dos transientes hidráulicos envolvidos em cada situação, bem como os fatores de sobrevelocidade e sobrepressão a serem adotados.

O sistema de frenagem da unidade geradora poderá ser colocado no próprio volante de inércia e atuará sempre que o conjunto atingir por volta de 30% da rotação nominal.

3.2 Gerador

3.2.1 Definição de Características de Regulação de Tensão

A determinação de algumas características de regulação de tensão do gerador é função do tipo de utilização da PCH.

Quando a PCH trabalha em paralelo com um sistema elétrico de maior capacidade, o gerador pode ser dimensionado com uma relação de curto-circuito - RCC menor, resultando em uma máquina mais leve, econômica, com maiores reatâncias direta transitórias e sub-transitórias, utilizando um sistema de excitação "brush-less". As respostas às variações bruscas de carga reativa são respondidas também pelo sistema elétrico, com capacidade de curto-circuito normalmente maior que a da PCH. São utilizadas RCC´s variando de 0,6 a 0,8 e reatâncias sub-transitórias maiores que 0,3 pu.

Quando a PCH trabalha num sistema isolado, a determinação do RCC e do sistema de regulação de tensão do gerador, passam a ser muito importantes no dimensionamento da máquina. Devem ser escolhidos valores de RCC acima de 1,0 pu, resultando em um gerador mais pesado, dispendioso, com reatâncias direta transitórias e sub-transitórias menores e na necessidade de ter um sistema de excitação de resposta rápida, que atenda as variações bruscas de carga. Neste caso é importante definir qual é o degrau de carga máximo a ser aplicado ao gerador e qual é a variação de tensão admissível no sistema.

3.2.2 Outras Melhorias para o Gerador

Entre as melhorias citam-se:

- A exaustão do ar quente do gerador, nos grupos com turbinas Francis horizontais são direcionadas para o exterior, melhora a ventilação e mantém a Casa de Força com temperaturas mais baixas;

- geradores que são totalmente montados e testados na fábrica e transportados inteiros para as obras, simplificando a fase de montagem na Casa de Força;

3.3 Soluções para os Equipamentos Hidromecânicos, Levantamento e Auxiliares

3.3.1 Válvula Borboleta

Como principal solução a ser adotada é a utilização de apenas 1 (um) servomotor para as válvulas, que deverão atender às turbinas tipo Francis horizontais, o servomotor deverá ter a capacidade para suportar o peso da haste da válvula mais o contrapeso evitando assim a construção desnecessária de um suporte para apóia-los.

3.3.2 Equipamentos Hidromecânicos

Uma solução bastante econômica de automatização das grades de adução e tomada d’água é a utilização de uma máquina limpa grades com estrutura própria e rastelos que fazem eficientemente a limpeza dos detritos que impedem a passagem de água pelas grades, os detritos são retirados e colocados em uma cuba o que facilita muito a remoção posterior. Outra excelente vantagem é que este equipamento dispensa o uso de ponte ou pórticos rolantes por ser auto-operável o que reduz substancialmente o custo de implantação.

Caso no reservatório da usina hidrelétrica não houver a necessidade de um controle rigoroso de níveis é plenamente recomendada a implantação de um sistema extravasador ou vertedor do tipo de soleira livre, ao invés da adoção de um conjunto de comportas segmento e ensecadeiras, que necessitariam de um outro conjunto de equipamentos tais como: um pórtico rolante, unidade e painéis hidráulicos e toda automação.

FIGURA 5 - FOTO DA MÁQUINA LIMPA-GRADES.

3.3.3 Equipamentos de Levantamento

A ponte rolante deverá ser dimensionada para suportar a carga do rotor e/ou estator do gerador, o componente que evidentemente tiver a maior massa. Para redução de custos é recomendável que a ponte rolante seja equipada com carro do tipo talha (com velocidades de 6,3 e 25 m/min) para translação do carro e da ponte com microvelocidade para elevação o que ajuda o posicionamento dos componentes durante a fase de montagem. É desaconselhável o uso de gancho auxiliar devido a baixa utilização.

FIGURA 6 – PONTE ROLANTE PCH FUMAÇA.

Para a tomada d'água e/ou para a sucção é conveniente a utilização de monovia com talha elétrica ao invés de um pórtico rolante para isto, os painéis da comporta, geralmente o elemento mais pesado da comporta, são projetados para que sua massa não ultrapasse aproximadamente 15 toneladas (capacidade de uma talha standard).

FIGURA 7 - MONOVIA COM TALHA ELÉTRICA PARA A SUCÇÃO DA PCH FUMAÇA, EM CONSTRUÇÃO.

3.3.4 Equipamentos Auxiliares Mecânicos

Para o sistema de drenagem do poço da turbina é recomendável a adoção de bombas do tipo submersíveis e não as trabalhosas bombas verticais de engrenagem devido a facilidade de operação e o baixo tempo de manutenção.

A ventilação da casa de força pode ser feita somente com a instalação de janelas e existe ainda uma contribuição bastante importante do sistema de refrigeração do gerador que induz o ar de dentro da casa de força a sair pelo túnel de exaustão existente, não necessitando assim a implantação de um sistema mais apurado de ventilação. Porém é imprescindível que na sala e comando seja instalado um sistema de ar condicionado comum do tipo self-cotainer que permitirá a refrigeração de todos os painéis elétricos.

Outra solução que tem sido bastante adotada é a não utilização de hidrantes de combates a incêndios, para evitar que a água danifique todos os equipamentos elétricos e o custo de implantação deste sistema é enorme. Tem sido apenas utilizados extintores adequados à cada caso.

3.3.5 Soluções para Otimização da Casa de Força

Uma outra solução utilizada para construção de casas de forças é o emprego do arranjo dos grupos geradores inclinados em planta, o que permite uma economia no volume de construção a ser realizado e uma redução significativa no comprimento do vão da ponte rolante, vide figuras 2 e 8.

Outra solução possível é a utilização da Casa de Força com escotilha, utilizando-se de um Pórtico Rolante ou simplesmente de um Guindaste que operaria somente na época de montagem da usina, o que reduz a construção civil no projeto.

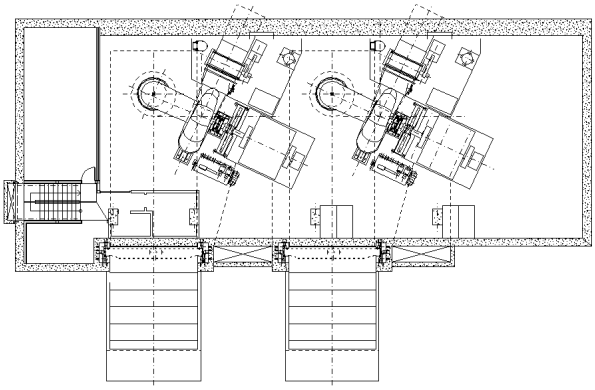

FIGURA 8: EXEMPLO DE CASA DE FORÇA COM UNIDADES GERADORAS INCLINADAS.

3.4 Cubículos de Média Tensão

A padronização dos cubículos de média tensão das PCH´s leva a soluções econômicas na parte elétrica. Os cubículos são apresentados da seguinte forma:

3.4.1 Cubículo de Neutro

Cada gerador tem seu cubículo de fechamento de neutro, onde estão instalados TC´s de proteção e regulação e transformador de neutro com a resistência de aterramento.

3.4.2 Cubículo de Surtos

Na saída do gerador está implantado o cubículo de surtos, onde estão instalados os capacitores e pára-raios para a proteção de surtos. Neste cubículo também pode ser instalado o transformador de excitação, quando o sistema de regulação de tensão for estático.

3.4.3 Cubículo do Disjuntor Principal

Este cubículo tem instalado o disjuntor principal do grupo, os TC´s e TP´s de medição e proteção.

3.4.4 Cubículo de Entrada do Transformador

Normalmente, neste cubículo é instalado um secionador de entrada do transformador, TC´s de proteção e medição, TP's das barras de média tensão.
Alternativamente, dependendo da solução apresentada o secionador de entrada do transformador pode ser substituído por disjuntor extraível.

3.4.5 Cubículo de Serviços Auxiliares

Neste cubículo estão implantadas duas saídas em média tensão que alimenta 2 transformadores de serviços auxiliares.

3.4.6 Cubículo de Serviços Externos da Usina

O cubículo de serviços externos da Usina está conectado a um "transformador elevador" ou apenas "isolador", ligação □□ aterrado, que fornece energia elétrica a uma pequena linha de 13,8 kV, para alimentar a Tomada de Água, residências de usina e serviços em geral.

3.5 Automação

O sistema de automação apresenta as seguintes características:

- Cada grupo tem seu painel de comando, controle e supervisão.
- Para a subestação, serviços auxiliares e sincronização utiliza-se mais um painel elétrico.

Cada conjunto pode ser operado de duas formas:

- Operação Manual: os equipamentos da usina podem ser operados na parte frontal dos painéis, sem atuação dos automatismos internos dos PLC´s, e os sistemas automáticos de parada dos grupos são eletromecânicos e independentes dos PLC´s. Por uma IHM na frente do painel é apresentado todas as grandezas elétricas que permitem saber o estado de operação dos equipamentos. Em cada painel é instalado um sistema condensado de alarmes, também independente do sistema automático, que registrará qualquer defeito de funcionamento dos equipamentos.

FIGURA 9 – EXEMPLO DE PAINÉIS ELÉTRICOS.

- Operação Automática: Os equipamentos podem ser operados pela parte frontal dos painéis de comando e controle ou remotamente por dois PC's instalado, na sala de comando e supervisão, ou ainda a distância pelo COS, sempre através dos automatismos existentes nos PLC´s de cada painel. Este sistema está acoplado ao sistema de proteção, permitindo que remotamente seja possível ajustar os valores de proteção de cada equipamento.

A operação remota da PCH é comandada e controlada pelo sistema supervisivo "Elipse". Os PLC´s utilizados trabalham com tempos menores que 10ms e permitem a instalação de SOE.

Os dois PC`s para operação da PCH trabalham em regime de "hot standy bye".

Como alternativa pode ser oferecido um sistema de automação mais econômico, com tempos maiores, sem SOE e PC em "hot standy-bye". A proteção também não está conectada com o PLC, porém a PCH pode ter comando e supervisão remoto por PC.

3.6 Sistema de Proteção.

A proteção elétrica das PCH's se caracteriza por um sistema de última geração que permite ligação serial com o sistema de automação, comunicando todas as informações sobre a operação dos relés aos PLC's.

Em paralelo com o sistema supervisivo de automação está em operação um "software" que possibilita ajustar a distância as características das proteções e oscilografar as grandezas elétricas que envolvem a proteção.

Alternativamente também pode ser instalado um sistema de proteção mais econômico, sem conexão com a automação, não possibilitando o ajuste a distância das características da proteção.

3.7 Serviços Auxiliares Elétricos

3.7.1 Serviços Auxiliares de Corrente Alternada

Na PCH é implantado um quadro de corrente alternada para alimentação de todas as bombas, cubículos, painéis e equipamentos da PCH. Neste painel está o centro de controle dos motores - CCM com automatismos para comando a distância. Os serviços auxiliares de corrente alternada são alimentados por 2 transformadores auxiliares.

3.7.2 Serviços Auxiliares de Corrente Contínua

Os serviços de corrente contínua são alimentados por 1 bateria, 2 carregadores e 1 painel de distribuição.

FIGURA 10 - QUADROS DE SERVIÇOS AUXILIARES .

3.7.3 Gerador Diesel de Emergência

Nas usinas que trabalham isoladas ou que são básicas para a partida do sistema elétrico desenergizado, devem ser instalado 1 gerador diesel de emergência.

3.7.4 Sistema de Medição de Nível de Água

Na PCH é instalado um sistema automático de medição de níveis de água na Tomada d'água e na sucção das turbinas, que informam o volume de água armazenado (quando existir reservatório) e o desnível bruto sob as turbinas.

3.8 Subestação

A solução mais econômica para subestação é a utilização de apenas 1 transformador elevador e 1 "bay" de saída composto por 1 Disjuntor, 1 Secionador com lâmina de terra, 3 Pára-raios, 3 TC's e 3 TP's sendo uma para cada fase. Os TC's de linha em alguns casos podem ser substituídos pelos TC's de buchas do transformador elevador.

FIGURA 11 – SUBESTAÇÃO DA PCH FUMAÇA, EM CONSTRUÇÃO.