SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

GGH 08
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO I
GRUPO DE ESTUDO DA GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH

UNIDADES GERADORAS DE PCH
MONITORAÇÃO DAS CONDIÇÕES OPERATIVAS ADVERSAS A QUE ESTÃO SUBMETIDAS

Fernando Costa Neves[1]* Sérgio Luiz Zimath[1] Anderson Fabricio Gueths[2]

REASON TECNOLOGIA[1] RISCHBIETER ENGENHARIA[2]

RESUMO

As unidades geradoras das pequenas centrais hidroelétricas (PCH) tem sido colocadas em operação com um mínimo de dispositivos de proteção, monitoração e controle no seu sistema. Isso tem sido aplicado embora sejam unidades de até 30 MW de potência. Porém sua operação normalmente está sujeita a condições talvez piores que aquelas a que estão submetidas as grandes unidades, pois as unidades de PCH operam sem assistência local, em pontas de linhas, sendo submetidas a grandes variações de cargas e altos níveis de desequilíbrio e distorções harmônicos. Esse trabalho destina-se a analisar algumas condições críticas de trabalho das pequenas unidades e propor dispositivos de monitoração que garantam um nível economicamente viável de informações para acompanhamento do desempenho e análise de problemas com o objetivo de prevenir problemas e prolongar a vida útil da unidade geradora.

São levantados os potenciais problemas que essas unidades estão submetidas, definindo-se dessa forma, os sinais que devem ser monitorados e a forma de aquisição. As características dos equipamentos de monitoração são avaliadas em relação ao tipo do dado desejado e banda desejada de freqüência, entre outros. Aspectos sobre o sincronismo temporal são abordados para definição de necessidade, precisão e mecanismos para esse atendimento.

Aborda-se a monitoração nos aspectos de monitoração da forma de onda para avaliação de eventos transitórios relacionados com a atuação da proteção e monitoração fasorial para avaliação de eventos dinâmicos relacionados com os dispositivos de controle. Também é considerada a medição contínua para avaliação das características de carga que a unidade geradora está submetida.

A análise das informações medidas localmente normalmente é realizada de maneira remota, pois muitas PCH são operadas de maneira desassistida ou quando a capacitação do pessoal presente nesse tipo de instalação é apenas para operação. Dessa forma são avaliados os mecanismos de disponibilização remota da informações utilizando os canais convencionais de comunicação.

As informações levantadas e a metodologia utilizada é aplicada em uma pequena central hidrelétrica com duas unidades geradoras. Esse arranjo é considerado típico e serve como base para outras aplicações.

PALAVRAS-CHAVE

Monitoração, registrador, PCH, manutenção preditiva

(*) Rua Delminda Silveira, 855 – CEP 88025-500 – Florianópolis, SC – Brasil
Tel: (+55 48) 2108-0300 – Fax: (+55 48) 2108-0310 – Email: fernando.neves@reason.com.br

1.0 - INTRODUÇÃO

Diversas são as pequenas centrais hidroelétricas em operação atualmente no Sistema Elétrico Brasileiro e o panorama atual indica o crescimento acelerado desse parque. Diversos fatores contribuem para isso, como a dificuldade de fazer empreendimentos de grande porte devido ao atendimento de requisitos ambientais, a possibilidade da proximidade do centro de carga, além do fomento econômico pelas linhas de crédito atualmente disponíveis.

A importâncias da PCH para a operação do sistema elétrico e a continuidade da operação para a devida remuneração do capital investido, apontam para uma crescente demanda por informações operativas das unidades das PCH de maneira a atender esses requisitos.

Os investimentos na construção de uma PCH chegam a ordem de milhões de reais e são priorizados, devido a parcela que representam no total investido, os equipamento essenciais como turbina, gerador e transformador. Assim, agravado também pela cultura histórica dos projetos desse porte, os dispositivos de proteção e controle são aplicados de maneira muito simplificada, ocasionando desligamentos ou comportamentos dinâmicos indesejáveis e com causa desconhecida.

Além das deficiências internas oriundas da simplificação da proteção e controle das unidades, diversos fatores operativos quando interligada afetam o desempenho dessas unidades. A justificativa para a ausência de equipamentos de monitoração utiliza o argumento de serem unidades de “pequeno” porte e isso só se aplica as de “grande” porte. Porém a unidades geradora da PCH está sujeita a condições talvez piores que aquelas a que estão submetidas as grandes unidades, pois operam sem assistência local, em pontas de linhas, sendo submetidas a grandes variações de cargas e altos níveis de desequilíbrio e distorções harmônicas.

Dessa forma torna-se relevante o entendimento dessas condições operativas como mecanismo para reconhecimento do melhor mecanismo de monitoração aplicado de forma a atender os demais requisitos de custo e operação da PCH.

2.0 - CONDIÇÕES ADVERSAS

São consideradas condições adversas de operação, aquelas que origem externa ou interna a PCH, que expõe a unidade geradora (considerando o conjunto turbina, gerador e transformador elevador) a operação fora das condições normais de trabalho ou mesmo causam seu desligamento.

2.1 Mudanças na topologia da rede

Não são poucas as condições adversas de operação da unidade geradora e esse panorama é agravado pela alteração do sistema a qual a mesma está conectada. As alterações do sistema ocorrem pela necessidade natural de expansão devido ao aumento da demanda e da confiabilidade da energia elétrica. Atualmente devido ao tamanho e complexidade do sistema interligado os estudos tornaram-se mais superficiais e desconsideram uma série de condições operativas.

Assim a entrada de novos produtores e consumidores de energia mudam a topologia da rede. Essas alterações raramente são repassadas para a PCH de forma que seus dispositivos de controle e proteção sejam avaliados e que melhoras necessárias sejam implementadas. Decorrente disso a possibilidade de atuação indevida da proteção por problema de ausência de coordenação ou causada por uma instabilidade oriunda do controle, torna-se uma grande realidade.

2.2 Operação com tensões desequilibradas

Devido a característica, quase que desejada de um PCH, a mesma é utilizada próximo ao centro de carga e conectada ao mesmo em níveis de tensão de distribuição. Nesse caso devido a característica monofásica das cargas e a dificuldade de um eficiente balanceamento, a unidade geradora passa a operar com altas taxas de desequilíbrio. Quando em operação nessa condição os enrolamentos do gerador são afetados e passam a operar fora dos valores de projeto. Dependendo da amplitude desse desequilíbrio pode-se, inclusive, causar um desbalanceamento elétrico que reflete no torque mecânico afetando o eixo e a turbina.

2.3 Operação com distorção harmônica

Também, como um reflexo da carga, e agravada atualmente pela larga propagação de cargas não lineares, observa-se uma forte distorção harmônica no sistema de distribuição e conseqüente refletida na unidade geradora. Ressalta-se que a maior parte dos projetos de geradores/transformadores e como reflexo da busca de redução de custos, é considerada a operação na freqüência nominal com a máxima corrente. Porém quando da presença de componentes harmônicas, a corrente total de saída do gerador/transformador pode ultrapassar

significativamente a corrente de projeto, causando aquecimento nos enrolamentos. A detecção dessa condição operativa e a desejada atuação da proteção pode não ser factível, pois a banda passante do sistema de aquisição dos relés digitais é baixa, normalmente inferior a 5a. Harmônica.

2.4 Operação fora da freqüência nominal

Esse fenômeno é facilmente presente em sistemas isolados, onde as unidades geradoras da PCH são as únicas fontes de energia do sistema. Devido aos chaveamentos da carga têm-se variações de freqüência muito maiores do que aquela presente no sistema interligado.

2.5 Falhas dos dispositivos da PCH

Obviamente não poderia estar ausente dessa lista as falhas que ocorrem durante a operação da unidade geradora, mesmo em condições normais. Diversas são as causas, porém explicitam-se o erro de projeto (mau dimensionamento dos dispositivos), falta de manutenção preventiva e como conseqüência do exposto acima, operação fora das condições esperadas.

3.0 - CARACTERÍSTICAS DA MONITORAÇÃO

Avaliando os tipos de condições adversas observa-se que o tipo e a característica da monitoração podem ser bem diversos. A má determinação do sistema de monitoração acarreta a falta de observabilidade do fenômeno e conseqüentemente a ineficiência do sistema.

A seguir são listadas as características do sistema de monitoração que possa gerar dados satisfatório para avaliação dos problemas listados. Características que super excedem em algum item não são repetidas nos demais, pois o foco por questões econômicas, é ter tudo isso integrado em apenas um equipamento (ou pelo menos um por unidade geradora).

3.1 Monitoração da proteção

Com esse objetivo devem ser monitorados os mesmos sinais utilizados pela proteção. Para as proteções elétricas deve-se utilizar os mesmos transformadores de potencial e de corrente. Assim o equipamento de monitoração deve ter entradas de tensão e corrente, em número idêntico aos sinais conectados aos relés de proteção. A característica deve ser a mesma, ou seja, com tensão de até 2 PU e corrente até 20 PU (ou valor inferior desde a máxima corrente de curto-circuito seja conhecida, garantindo que não haja saturação dessa medição. É importante observar a impedância de entrada do equipamento de monitoração, pois como ele estará conectado aos mesmos TP e TC da proteção, ele não deve interferir durante uma perturbação, afetando o desempenho da proteção.

A Figura 1 mostra esses sinais tipicamente encontrados em uma unidade geradora.

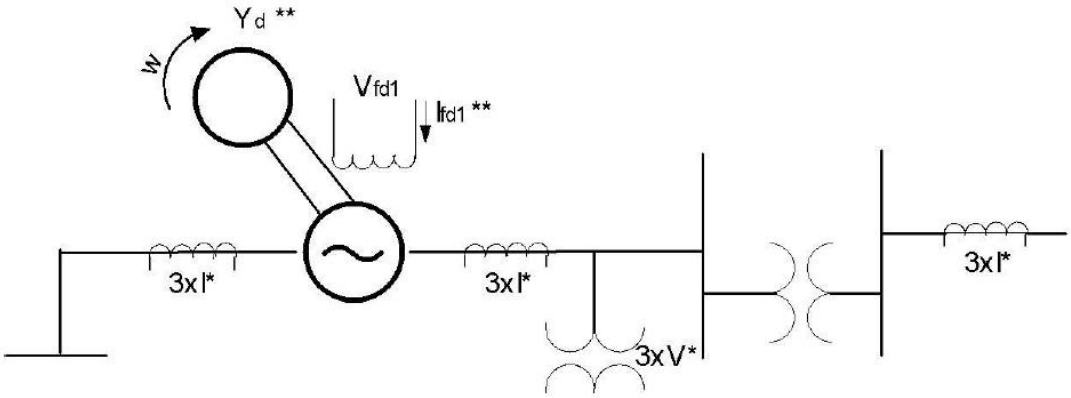

Figura 1 – Sinais monitoradas na unidade geradora

Tipicamente são necessários 9 entradas de corrente e 3 entradas de tensão. Eventuais proteções de sobre-tensão na alta do trafo elevador e proteções que utilizem a corrente de neutro do gerador causam o aumento para 10 entradas de corrente e 6 entradas de tensão.

Também devem ser monitorados os eventos digitais, como a atuação do relé de bloqueio e a abertura do disjuntor. Caso os relés de proteção tenham contatos disponíveis, recomenda-se a inclusão dos mesmos.

Na existência de proteções mecânicas, como sobre velocidade, deve-se ter o contato da mesma monitorada e também a rotação (obtida da mesma forma como será visto para medição da dinâmica) ou pelo menos a freqüência obtida a partir das tensões nominais.

Deve ser possível ajustar os disparos do equipamento de monitoração de forma equivalente aos relés de proteção, prevendo flexibilidade na combinação de disparos, como pode estar sendo utilizado nos relés. Essa característica é importante para que, o que é considerado o pior dos problemas, possa ser estudadas as perturbações onde a proteção não atuou.

Os tempos de registro nesse caso devem ser da ordem de segundos, abrangendo todo o evento pré e pós atuação da proteção, que pode chegar a mais de 10 segundos de duração.

A resposta em freqüência deve ser superior a observada pelos relés, que tipicamente é de 40 a 500 Hz. Recomenda-se que as entradas tenham resposta até 1200 Hz permitindo que a presença de componentes de maior grau sejam observadas e avaliadas, pois o fato da proteção não “medir” essas componentes pode afetar a forma de atuação. Além disso, essa resposta deve iniciar com sinais DC pois correntes de curto-circuito apresentam uma componente de baixa freqüência nos primeiros ciclos da falta.

3.2 Monitoração da dinâmica

A observação da dinâmica da unidade geradora, e conseqüentemente a eficiência de seus controles, é obtida da medição dos fasores das tensões e correntes de saída do gerador e se possível da alta tensão do trafo elevador. As informações de potência ativa e reativa, bem como a freqüência pode ser derivada das tensões e correntes.

Também devem ser monitoradas as informações de controle do gerador, como tensão e corrente de campo, abertura do distribuidor (e posição da roda para máquinas kaplan) e também a rotação. Nesse caso devem ser aplicados transdutores específicos com tempo de resposta da ordem de 20 ms, pois os transdutores normalmente utilizados para indicação apresentam tempo de resposta de até 1 s. A saída do transdutor deve ser compatível com a entrada do equipamento de monitoração e em função de distâncias e minimização de ruídos, recomenda-se utilizar 4 a 20 mACC.

Os tempos de registro nesse caso devem ser da ordem de minutos para avaliação de todo o evento, seja oscilação ou sobre elevação e o retorno ao valor normal. Os sinais adquiridos devem ter uma taxa de pelo menos 1 ponto por ciclo.

3.3 Média histórica

Para avaliação de operação fora do ponto nominal da unidade, não basta utilizar disparos, pois nesse caso somente ter-se-ia o ponto de entrada no evento e não os valores máximos e o tempo de duração. Assim para monitoração da distorção harmônica, freqüência, potências, tensões e correntes o equipamento de monitoração deve gravar continuamente essas grandezas. Essa característica, chamada gravação da média histórica, deve utilizar a média quadrática ou aritmética conforme o tipo da grandeza.

Para a perfeita monitoração de harmônicas o equipamento deve ter resposta em freqüência plena até 3 kHz. A taxa de aquisição deve ser superior ao filtro anti-recobrimento utilizado, que para uma resposta plena dessa magnitude chega a 15 kHz ou mais.

3.4 Monitoração dos estados digitais

Uma das informações mais relevantes para avaliação de falhas dos dispositivos da PCH são os estados das digitais, pois é relevante o perfeito entendimento do sequenciamento do evento de falha. Nesse caso trabalha-se com resolução da ordem de 1 ms, pois normalmente a proteção atua em cerca de 4 ms, tendo-se dessa forma uma boa precisão para avaliação do desempenho ou determinação de causa-efeito.

3.5 Sincronismo temporal

Caso seja um requisito a comparação dos dados gerados com os provenientes de outros equipamentos (dentro da PCH ou do sistema) é imperativo o uso de uma base única de tempo. A solução mais utilizada é o sincronismo por satélites GPS. Nesse caso deve ser utilizado um receptor com a respectiva antena e que envie um sinal apropriado para o equipamento de monitoração. O sinal mais comum é o IRIG-B DC shift com as extensões conforme IEEE1344.

Embora como comentado a utilização de 1 ms para sincronismo visando comparação de eventos digitais é adequada. Porém caso o foco seja comparar a forma de onda ou o registro fasorial entre equipamentos ou locais distintos (como eventos ocorridos na empresa de transmissão/distribuição e na PCH) essa precisão é inadequada, pois representa 21,6 graus elétricos. Normalmente para esse caso se aceita um erro de 1 grau (0,0463 ms) embora os equipamentos de monitoração atuais já permitam um erro de 0,1 graus.

3.6 Comunicação de dados

Esse requisito passa a ser preponderante, pois o pessoal técnico habilitado a avaliação da informação e prescrição de soluções encontra-se normalmente distante da PCH. O deslocamento para obtenção do dado localmente chega a horas e a ausência de informação prévia impossibilita a adequada provisão de materiais e equipamentos caso seja necessária alguma intervenção. Além disso, a análise dos dados gerados continuamente se torna onerosa, caso implique na presença do pessoal para coleta.

De qualquer forma a tecnologia de comunicação de dados está muito difundida, tornando-se economicamente viável. Além disso, muitas vezes já está presente na PCH para operação a distância.

O equipamento de monitoração deve estar provido de interface ethernet (pelo menos de 100 Mbps), pois com isso é possível utilizar recursos padronizados de rede de comunicação, seja OPGW, rádio, ou serviço provido por terceiros.

A funcionalidade do equipamento deve abranger acesso multi-usuário e conectividade a rede WAN, permitindo que as informações e ajustes sejam possíveis sobre a internet, flexibilizando o acesso aos dados. Independência de softwares específicos através de interfaces WEB é desejável, pois não limita a plataforma computacional utilizada para coleta e análise dos dados, simplificando o acesso e reduzindo custos.

4.0 - APLICAÇÃO

No caso de uma PCH com duas unidades geradoras pode-se optar por ter um único equipamento de monitoração, com pelo menos 32 entradas analógicas e número equivalente de digitais. Eventualmente o uso de dois equipamentos, um por unidade, pode ser mais econômico, pois minimiza o lançamento de cabos, ficando junto dos dispositivos de proteção e controle.

O uso de sincronismo por GPS pode ser maximizado, atendendo não apenas a monitoração, mas agregando relés de proteção, controladores e remotas, a fim de que em uma análise mais apurada, esses dados possam ser comparados e validados quanto ao desempenho.

5.0 - CONCLUSÃO

As condições adversas apresentadas, embora adequadamente justificadas, são desconsideradas na operação da PCH. As condições econômicas dos atuais empreendimentos e uma maior profissionalização desse segmento tem apontado para que essas questões sejam abordadas.

Diversos outros tipos de monitoração, como vibração, descargas parciais e medição do entreferro são aplicados atualmente em unidades de grande porte, porém não foram abordados aqui pois ainda tem um custo tanto de implementação como de operação elevados.

Obviamente a condução de ensaios específicos para avaliação e minimização desses problemas tornam-se ineficazes, pois um ensaio pontual não reproduz todas as condições operativas possíveis.

Onde já estão disponíveis monitorações, em muitos casos, observa-se uma inadequação na obtenção dos dados devido a qualidade do equipamento empregado. Nesse caso o sistema não apenas torna-se ineficiente como acaba demonstrando não haver problemas e impedindo uma correta atuação da manutenção corretiva e preventiva.

Nos novos empreendimentos sugere-se que as questões levantadas sejam abordadas já na etapa de projeto, de maneira que um sistema de monitoração eficiente seja previsto com menor impacto econômico.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) ZIMATH, S.L., NEVES, F.C., ESPÍNDOLA, T.S. Monitoração de Eventos com Registro de Longa Duração – Configuração e Aplicação. VIII Seminário Técnico de Proteção e Controle – STPC, Rio de Janeiro, RJ, 2005

(2) ZIMATH, S. L. ; ESPINDULA, T. S. . A experiência da Tractebel Energia com registradores de longa duração. , X SEPOPE - Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica, 2006, Florianópolis, 2006

(3) KUNDUR, P. Power System Stability and Controls, Electric Power Research Institute, Power System Engineering Series, McGraw-Hill, 1994

(4) IEEE 1344-1995 Standard for Synchrophasors for Power Systems

(5) Fitzgerald, Kingsley, Kusko. Electric Machinery, 3a. Edição, McGraw-Hill, 1971

(6) Kosow. I.L. Máquinas Elétricas e Transformadores, Ed. Globo

(7) ZIMATH, S. L., VIEIRA, G. R. Abordagem prática para redes de sincronismo temporal baseadas no sistema GPS – VIII Seminário Técnico de Proteção e Controle - STPC, Rio de Janeiro, RJ, 2005

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Fernando Pedrassani Costa Neves
Nascido em Caçador, SC em 13 de setembro de 1968
Graduação (1993) em Engenharia Elétrica: UFSC. Trabalha desde 1994 no Setor Elétrico com atividades de controle e proteção em geração, transmissão e distribuição.
Empresa: Reason Tecnologia S.A. Desde 2000
Sócio e Diretor responsável pela comercialização e aplicação de produtos de tecnologia ao setor elétrico

Sérgio Luiz Zimath
Nascido em Joinville, SC em 23 de dezembro de 1971, graduou-se em Engenharia de Controle e Automação em 1997 pela UFSC. Trabalha desde 1995 na Reason Tecnologia S.A. da qual atualmente é sócio. Foi o responsável pelo desenvolvimento de produtos como os relógios sincronizados por GPS modelos RT1000 e RT2000, e do registrador de perturbações RPIV, vencedor do Prêmio Finep de Inovação Tecnológica de 2002, dentre outros. Trabalhou em diversos projetos de pesquisa com artigos publicados em congressos nacionais e internacionais.
Atualmente coordena a área de Prospecção de Novos Negócios.

Anderson Fabrício Gueths
Nascido em Blumenau, SC em 15 de dezembro de 1981, graduou-se em Engenharia de Elétrica em 2005 pela FURB. Trabalha desde 2003 na Rischbieter Engenharia e Serviços S.A. da qual atualmente é sócio e diretor técnico.
Atualmente coordena o departamento de Gestão de Projetos na área de implantação de PCH's.