

Grupo de Estudo de Geração Hidráulica (GGH)

RELATÓRIO ESPECIAL PRÉVIO

Marcio Rezende Siniscalchi - CIGRE-Brasil
Érli Ferreira Figueiredo - UERJ
Mauro Uemori - GE

1.0 CONSIDERAÇÕES GERAIS

..Para o XXIV SNPTEE a quantidade de resumos enviados foi maior que o XXIII SNPTEE.

Tivemos 34 resumos aprovados e os trabalhos estão com notas muito boas pois os trabalhos deste ano estão com alto nível técnico e prático.

Para as modernizações de máquinas nota-se que as empresas estão utilizando ferramentas matemáticas de simulação sofisticadas de nível internacional. Estas ferramentas facilitam a construção dos protótipos além de chegar bem perto dos valores medidos com a máquina em operação.

Constatamos também o pequeno numero de trabalhos envolvendo as Universidades, ainda em colaboração com empresas do setor, oriundos de projetos de P&D's.

Devemos nos preocupar com o declínio desta participação, e imaginar meios de estimular estudantes, professores e pesquisadores universitários para se envolver num numero maior de trabalhos.

Os temas propostos colheram bastante adesão de trabalhos, salvo os relativos à PCH's e Contratação de bens e serviços em contratos do tipo EPC. A redução de trabalhos relativos a PCH's pode ser explicado pela recente crise politica e econômica que o Brasil convive atualmente, obrigando as empresas a otimizar seus quadros de pessoal, os remanescentes não tendo mais disponibilidade para se dedicar a escrever trabalhos técnicos.

2.0 CLASSIFICAÇÃO DOS INFORMES TÉCNICOS

- Trabalho de caráter universal;
- Trabalho inédito ou pioneiro e de caráter inovador;
- Trabalho não inédito, mas com enfoque novo no tratamento de determinado assunto e significativa contribuição para o mesmo;
- Trabalho que enfatiza experiências praticas, utilizados com sucesso, e não somente modelos teóricos de aplicação duvidosa;
- Verificamos e pontuamos também a construção lógica do trabalho, sua redação e a clareza do seu texto.

Cada relator fez a media das 5 pontuações, obtendo a nota final, e o relator coordenador fez em seguida a media das 3 notas finais. Quando um relator estava autor, ou coautor, ou trabalhava na empresa do autor, ele não pontuou o referido trabalho, ficando para este somente a pontuação dos 2 outros relatores.

O relator coordenador avaliou todas as perguntas e as inseriu no site www.xxivsnptee.com.br.

2.1 175 Aproveitamentos hidrelétricos de pequena, média ou elevada potência.

- 142 - FORÇAS ELETROMAGNÉTICAS PRECURSORAS DE VIBRAÇÃO DO NÚCLEO DO ESTATOR DE HIDROGERADORES
- 151 - ASPECTOS REGULATÓRIOS DA INSERÇÃO DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COMPOSTOS POR FONTES HIDRÁULICAS REVERSÍVEIS E FONTES INTERMITENTES NO BRASIL
- 155 - DETERMINAÇÃO NUMÉRICA DA PERDA DE CARGA DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO DE HIDROGERADORES COM VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL (MEDIÇÕES DE CAMPO)
- 208 - DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE MÁQUINAS SÍNCRONAS ATRAVÉS DO ENSAIO SSFRT E REDES NEURAIS
- 264 - INFLUÊNCIA DA RIGIDEZ DA CRUZETA SUPERIOR NO DIMENSIONAMENTO DO HOUSING DO GERADOR EM USINAS SEM A PRESENÇA DE LAJE DE CONCRETO NO NÍVEL DA PLATAFORMA DO GERADOR
- 297 - USO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA PARA CONTROLE INTELIGENTE DA DEMANDA EM PONTOS DE FRONTEIRA
- 317 - A INFLUÊNCIA DO DEFLETOR NO DESEMPENHO E CONTROLE DE TURBINAS PELTON DURANTE ILHAMENTO
- 374 - MAXIMIZAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA EM USINAS HIDRELÉTRICAS UTILIZANDO MÁQUINAS COM CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DISTINTAS
- 480 - STREAMDIVER: UTILIZANDO UM NOVO POTENCIAL HIDRELÉTRICO
- 527 - DIFICULDADES VS OPORTUNIDADES - CASO DE SOLUÇÃO PARA PROBLEMA DE RSI E CAVITAÇÃO NO LADO DE PRESSÃO DE ROTOR FRANCIS, ASSOCIADOS A GANHO DE ENERGIA
- 528 - UM ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA CARGA, DA TEMPERATURA, DO NÍVEL DE TENSÃO E DO FATOR DE POTÊNCIA NO RENDIMENTO DO GERADOR

2.2 176 Pequenas Centrais Hidráulicas

- 9 - PROSPECÇÃO DE PARQUES HIDROKINÉTICOS: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PROJETOS NOS RIOS IGUAÇU E PARANÁ
- 522 - APLICABILIDADE DOS ESTUDOS GEOINFORMAÇÃO DETALHADOS, COMO FERRAMENTAS DE APOIO PARA SUSTENTABILIDADE DOS INVESTIMENTOS NA ÁREA DA PRODUÇÃO HIDROELÉTRICA, EM PARTICULAR EM SITUAÇÕES LIMITE

2.3 177 Modernização, repotenciação de usinas hidrelétricas e equipamentos de geração

- 91 - MODERNIZAÇÃO DE TURBINAS FRANCIS COM GANHO DE GARANTIA FÍSICA - EXPERIÊNCIA COM AS UHE PONTE DE PEDRA E UHE SALTO SANTIAGO
- 164 - EMPREGO DA ANÁLISE COMPUTACIONAL NO DIAGNÓSTICO DA CAUSA RAIZ DA FALHA DOS MANCAIS DO ANEL DE REGULAÇÃO - ESTUDO DE CASO DA UHE SÃO SALVADOR
- 284 - ESTUDO PARA APROVEITAMENTO DE POTENCIAIS REMANESCENTES EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS POR MEIO DA UTILIZAÇÃO DE GRUPOS DE BAIXO CUSTO - BFT (BOMBA FUNCIONANDO COMO TURBINA)
- 292 - PROGRESSOS NO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ISOLAMENTO PARA ENROLAMENTOS ESTATÓRICOS PARA GERADORES DE ALTA TENSÃO BASEADO NO USO DE NANO-COMPÓSITOS
- 322 - UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE PARA GERENCIAMENTO DE ATIVOS EM PLANTAS HIDRÁULICAS

2.4 179 Experiência e monitoramento de desempenho de estruturas hidráulicas

- 153 - ANÁLISE DE DESCARGAS PARCIAIS, TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VITREA, TANGENTE DE DELTA E HISTÓRICO DA MÁQUINA: UMA ABORDAGEM ALÉM DO ENVELHECIMENTO DO ISOLANTE
- 215 - MONITORAMENTO REMOTO DE DESEMPENHO DE ESTRUTURAS HIDRÁULICAS ATRAVÉS DA AUTOMAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS, FERRAMENTAS DE ANÁLISE E RESULTADOS
- 308 - MONITORAMENTO DO BAIXO ISOLAMENTO NO MANCAL DO COMPENSADOR SÍNCRONO CS01 – STVTO
- 343 - ANÁLISE DE SINAIS DINÂMICOS PARA DETERMINAÇÃO DA CAUSA RAIZ DE FALHA EM UM CONJUNTO GERADOR DE 120 MW
- 463 - INTEGRAÇÃO DO SISTEMA DE SUPERVISÃO COM O SISTEMA DE MONITORAMENTO PARA ANÁLISE PREDITIVA NAS UNIDADES GERADORAS DA UHE SAMUEL

2.5 180 Aspectos de manutenção de hidrogeradores

- 100 - ANÁLISES E PROCEDIMENTOS PARA RECUPERAÇÃO DE DANOS EXTENSOS EM NÚCLEO ESTATÓRICO DE MÁQUINAS SÍNCRONAS DE GRANDE PORTE - UM CASO EM PARTICULAR.
- 147 - OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE USINAS HIDROELÉTRICAS EM ÁGUAS EXTREMAMENTE POLUÍDAS
- 156 - COMPARAÇÃO ENTRE MEDIÇÕES DE DESCARGAS PARCIAIS EM BAIXA FREQUÊNCIA E EM ALTA FREQUÊNCIA PARA OS ESTADORES DE MÁQUINAS ELÉTRICAS ROTATIVAS
- 218 - METODOLOGIA PARA O DIAGNÓSTICO DE DEFEITOS EM HIDROGERADORES ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES EM SISTEMAS DE MONITORAMENTO PERMANENTE UTILIZANDO TÉCNICAS NO DOMÍNIO DO TEMPO E FREQUÊNCIA
- 269 - DIAGNÓSTICO DE FALHAS POR MONITORAMENTO DE PARÂMETROS DA FUNÇÃO GERADORA EM HIDROGERADOR DA UHE CANASTRA: INOVAÇÃO EM HARDWARE E SOFTWARE, APLICAÇÕES E TESTES PRELIMINARES
- 289 - METODOLOGIA E RESULTADOS DA REFORMA DO GERADOR DA UG1 DA UHE GBM (FOZ DO AREIA)
- 290 - AVALIAÇÃO MECÂNICA DE GERADORES HIDROELÉTRICOS PARA MITIGAR RISCOS DE FALHA POR FADIGA
- 321 - AVALIAÇÃO DE FORMULAÇÕES DE PTFE VISANDO À APLICAÇÃO EM SISTEMA DE VEDAÇÃO DE VAPOR DE ÓLEO DE MANCAL DE UNIDADE GERADORA
- 335 - MÉTODO DE RECUPERAÇÃO DAS AVARIAS ACOMETIDAS PELO EFEITO CORONA NA SUPERFÍCIE DA ISOLAÇÃO DE BARRAS ESTATÓRICAS DE HIDROGERADORES UMA VISÃO PRÁTICA.
- 342 - ANÁLISES E PROCEDIMENTOS PARA RECUPERAÇÃO DE TRINCAS NAS ESPIRAS POLARES DO GERADOR 3 DA USINA HIDRELÉTRICA DE SALTO SANTIAGO
- 41 - AVALIAÇÃO DE BARRAMENTOS ESTATÓRICOS PARA HIDROGERADORES ELÉTRICOS SOB ESFORÇOS ELETROMECÂNICOS

2.6 181 Contratação do tipo EPC (Engineering, Procurement and Construction Contracts) para bens e**Serviços****2.1 175 Aproveitamentos hidrelétricos de pequena, média ou elevada potência.**

- 142 - FORÇAS ELETROMAGNÉTICAS PRECURSORAS DE VIBRAÇÃO DO NÚCLEO DO ESTATOR DE HIDROGERADORES
- 151 - ASPECTOS REGULATÓRIOS DA INSERÇÃO DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COMPOSTOS POR FONTES HIDRÁULICAS REVERSÍVEIS E FONTES INTERMITENTES NO BRASIL
- 155 - DETERMINAÇÃO NUMÉRICA DA PERDA DE CARGA DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO DE HIDROGERADORES COM VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL (MEDIÇÕES DE CAMPO)
- 208 - DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE MÁQUINAS SÍNCRONAS ATRAVÉS DO ENSAIO SSFRT E REDES NEURAIS
- 264 - INFLUÊNCIA DA RIGIDEZ DA CRUZETA SUPERIOR NO DIMENSIONAMENTO DO HOUSING DO GERADOR EM USINAS SEM A PRESENÇA DE LAJE DE CONCRETO NO NÍVEL DA PLATAFORMA DO GERADOR
- 297 - USO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA PARA CONTROLE INTELIGENTE DA DEMANDA EM PONTOS DE FRONTEIRA
- 317 - A INFLUÊNCIA DO DEFEITOR NO DESEMPENHO E CONTROLE DE TURBINAS PELTON DURANTE ILHAMENTO
- 374 - MAXIMIZAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA EM USINAS HIDRELÉTRICAS UTILIZANDO MÁQUINAS COM CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DISTINTAS
- 480 - STREAMDIVER: UTILIZANDO UM NOVO POTENCIAL HIDRELÉTRICO
- 527 - DIFICULDADES VS OPORTUNIDADES - CASO DE SOLUÇÃO PARA PROBLEMA DE RSI E CAVITAÇÃO NO LADO DE PRESSÃO DE ROTOR FRANCIS, ASSOCIADOS A GANHO DE ENERGIA

- 528 - UM ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA CARGA, DA TEMPERATURA, DO NÍVEL DE TENSÃO E DO FATOR DE POTÊNCIA NO RENDIMENTO DO GERADOR

2.2 176 Pequenas Centrais Hidráulicas

- 9 - PROSPECÇÃO DE PARQUES HIDROINÉUTICOS: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PROJETOS NOS RIOS IGUAÇU E PARANÁ
- 522 - APLICABILIDADE DOS ESTUDOS GEOINFORMAÇÃO DETALHADOS, COMO FERRAMENTAS DE APOIO À SUSTENTABILIDADE DOS INVESTIMENTOS NA ÁREA DA PRODUÇÃO HIDROELÉTRICA, EM PARTICULAR EM SITUAÇÕES LIMITE

2.3 177 Modernização, repotenciação de usinas hidrelétricas e equipamentos de geração

- 91 - MODERNIZAÇÃO DE TURBINAS FRANCIS COM GANHO DE GARANTIA FÍSICA - EXPERIÊNCIA COM AS UHE PONTE DE PEDRA E UHE SALTO SANTIAGO
- 164 - EMPREGO DA ANÁLISE COMPUTACIONAL NO DIAGNÓSTICO DA CAUSA RAIZ DA FALHA DOS MANCAIS DO ANEL DE REGULAÇÃO - ESTUDO DE CASO DA UHE SÃO SALVADOR
- 284 - ESTUDO PARA APROVEITAMENTO DE POTENCIAIS REMANESCENTES EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS POR MEIO DA UTILIZAÇÃO DE GRUPOS DE BAIXO CUSTO - BFT (BOMBA FUNCIONANDO COMO TURBINA)
- 292 - PROGRESSOS NO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ISOLAMENTO PARA ENROLAMENTOS ESTATÓRICOS PARA GERADORES DE ALTA TENSÃO BASEADO NO USO DE NANO-COMPÓSITOS
- 322 - UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE PARA GERENCIAMENTO DE ATIVOS EM PLANTAS HIDRÁULICAS

2.4 179 Experiência e monitoramento de desempenho de estruturas hidráulicas

- 153 - ANÁLISE DE DESCARGAS PARCIAIS, TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA, TANGENTE DE DELTA E HISTÓRICO DA MÁQUINA: UMA ABORDAGEM ALÉM DO ENVELHECIMENTO DO ISOLANTE
- 215 - MONITORAMENTO REMOTO DE DESEMPENHO DE ESTRUTURAS HIDRÁULICAS ATRAVÉS DA AUTOMAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS, FERRAMENTAS DE ANÁLISE E RESULTADOS
- 308 - MONITORAMENTO DO BAIXO ISOLAMENTO NO MANCAL DO COMPENSADOR SÍNCRONO CS01 STVT.O
- 343 - ANÁLISE DE SINAIS DINÂMICOS PARA DETERMINAÇÃO DA CAUSA RAIZ DE FALHA EM UM CONJUNTO GERADOR DE 120 MW
- 463 - INTEGRAÇÃO DO SISTEMA DE SUPERVISÃO COM O SISTEMA DE MONITORAMENTO PARA ANÁLISE PREDITIVA NAS UNIDADES GERADORAS DA UHE SAMUEL

2.5 180 Aspectos de manutenção de hidrogeradores

- 100 - ANÁLISES E PROCEDIMENTOS PARA RECUPERAÇÃO DE DANOS EXTENSOS EM NÚCLEO ESTATÓRICO DE MÁQUINAS SÍNCRONAS DE GRANDE PORTE - UM CASO EM PARTICULAR.
- 147 - OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE USINAS HIDROELÉTRICAS EM ÁGUAS EXTREMAMENTE POLUÍDAS
- 156 - COMPARAÇÃO ENTRE MEDIÇÕES DE DESCARGAS PARCIAIS EM BAIXA FREQUÊNCIA E EM ALTA FREQUÊNCIA PARA OS ESTADORES DE MÁQUINAS ELÉTRICAS ROTATIVAS
- 218 - METODOLOGIA PARA O DIAGNÓSTICO DE DEFEITOS EM HIDROGERADORES ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES EM SISTEMAS DE MONITORAMENTO PERMANENTE UTILIZANDO TÉCNICAS NO DOMÍNIO DO TEMPO E FREQUÊNCIA
- 269 - DIAGNÓSTICO DE FALHAS POR MONITORAMENTO DE PARÂMETROS DA FUNÇÃO GERAÇÃO EM HIDROGERADOR DA UHE CANASTRA: INOVAÇÃO EM HARDWARE E SOFTWARE, APLICAÇÕES E TESTES PRELIMINARES
- 289 - METODOLOGIA E RESULTADOS DA REFORMA DO GERADOR DA UG1 DA UHE GBM (FOZ DO AREIA)
- 290 - AVALIAÇÃO MECÂNICA DE GERADORES HIDROELÉTRICOS PARA MITIGAR RISCOS DE FALHA POR FADIGA
- 321 - AVALIAÇÃO DE FORMULAÇÕES DE PTFE VISANDO À APLICAÇÃO EM SISTEMA DE VEDAÇÃO DE VAPOR DE ÓLEO DE MANCAL DE UNIDADE GERADORA
- 335 - MÉTODO DE RECUPERAÇÃO DAS AVARIAS ACOMETIDAS PELO EFEITO CORONA NA SUPERFÍCIE DA ISOLAÇÃO DE BARRAS ESTATÓRICAS DE HIDROGERADORES UMA VISÃO PRÁTICA.
- 342 - ANÁLISES E PROCEDIMENTOS PARA RECUPERAÇÃO DE TRINCAS NAS ESPIRAS POLARES DO GERADOR 3 DA USINA HIDRELÉTRICA DE SALTO SANTIAGO
- 41 - AVALIAÇÃO DE BARRAMENTOS ESTATÓRICOS PARA HIDROGERADORES ELÉTRICOS SOB ESFORÇOS ELETROMECCÂNICOS

2.6 181 Contratação do tipo EPC (Engineering, Procurement and Construction Contracts) para bens e serviços

3.0 RELATÓRIO SOBRE OS INFORMES TÉCNICOS

3.1 - FORÇAS ELETROMAGNÉTICAS PRECURSORAS DE VIBRAÇÃO DO NÚCLEO DO ESTATOR DE HIDROGERADORES

MARKUS, F.V.(1);BARRROS, A.D.(1);EMMRICH, D.(1);NABETA, S.I.(2);HAMAJI, F.H.(3); - VOITH(1);ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO(2);ENBR(3);

O campo magnético estabelecido no entreferro das máquinas síncronas é responsável pela transmissão do torque e potência desejados, porém é também precursor de forças radiais inerentes. Tais forças combinadas à resposta dinâmica do sistema mecânico podem resultar em vibração excessiva do núcleo do estator, o que em geral é indesejável devido a eventuais danos e redução de vida útil decorrentes. Este artigo tem como objetivo desenvolver modelos e simulações focados nas forças eletromagnéticas atuantes no núcleo do estator de tal forma que estes possam contribuir para compreensão global dos fenômenos envolvidos bem como para refinamento de resultados já conhecidos.

Perguntas e respostas:

A) Com este método de elementos finitos para se determinar os efeitos vibracionais no núcleo do estator pode-se melhorar os novos projetos de núcleos de estadores durante o processo de modernização de uma máquina?

Sim. O método proposto é bastante adequado para cálculo comparativo das forças eletromagnéticas entre diferentes soluções para um projeto. No caso de modernizações sua utilização pode auxiliar o projetista a escolher entre diferentes possibilidades de configurações para um enrolamento fracionário ou mesmo propor uma mudança no número de ranhuras que continue compatível com o rotor existente mas que reduza alguma harmônica de pressão magnética desejada.

B) Este método não era utilizado na década de 50 ou 60 entretanto temos máquinas fabricadas nesta época com grande performance. O que se pode atribuir aos bons projetos de antigamente? Coeficientes de segurança maiores ou maior consumo de material?

Existem também máquinas do passado com histórico de questões vibracionais. Em geral o que se tinha eram práticas de projeto que eram adotadas quando possível (tais como a escolha de enrolamento não fracionário) e cálculos analíticos que foram aplicados ao longo do tempo. Contudo, o método aqui proposto contribui para uma avaliação mais assertiva dos fenômenos vibracionais e para a flexibilização das possibilidades de projeto, visando a otimização da máquina como um todo.

C) Com base neste método de análise seria possível melhorar a localização de sensores de vibração instalando-os em locais previamente calculados?

Isso seria possível utilizando este modelo para cálculo das forças eletromagnéticas em conjunto com um modelo mecânico capaz de prever a resposta do núcleo às forças de excitação considerando os detalhes construtivos do núcleo, carcaça e outras eventuais particularidades de cada máquina. Com isso seria possível se prever, após superposição de todas as harmônicas de força calculadas pelo modelo eletromagnético, qual seria a maior amplitude de deslocamento de vibração e onde ela aconteceria. Em alguns casos o perfil de resposta do núcleo mesmo para uma dada frequência e ordem espacial pode não seguir exatamente o mesmo perfil das forças devido a particularidades ou assimetrias mecânicas (por exemplo, número de colunas da carcaça não ser múltiplo ou divisível pela ordem espacial da uma harmônica de força importante) fazendo com que um modelo mecânico suficientemente preciso seja importante para determinação do ponto de maior amplitude de vibração.

3.2 - ASPECTOS REGULATÓRIOS DA INSERÇÃO DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COMPOSTOS POR FONTES HIDRÁULICAS REVERSÍVEIS E

FONTES INTERMITENTES NO BRASIL

PINHEIRO, V.D.C.N.(1);LIBANORI, G.H.D.(1);FRANCATO, A.L.(1); - UNICAMP(1);

A associação de Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHRs) a usinas eólicas e fotovoltaicas, que estão em franca expansão no Brasil, pode ser uma forma eficaz de mitigar a intermitência destas fontes. Nestas usinas híbridas, a energia das fontes intermitentes pode ser armazenada na UHR e esta pode gerar eletricidade nos horários mais convenientes. Esta tecnologia ainda não foi implementada no Brasil, mas poderia beneficiar consideravelmente seu sistema elétrico principalmente no atendimento a picos de demanda. Este trabalho propõe um modelo regulatório para empreendimentos híbridos de geração compostos por UHRs, usinas fotovoltaicas e/ou eólicas no Brasil visando, principalmente, sua viabilidade econômica.

Perguntas e respostas:

A) Na década de 80 foram realizados estudos sobre o potencial das UHR's no Brasil e não havia ainda a utilização de geração eólica e solar como nos dias atuais. Por que não rever estes estudos e verificar a viabilidade técnica para aplicação na próxima década?

Na ocasião, as UHRs foram cogitadas para atendimento de ponta e estudos indicavam um potencial de 200 GW somente no estado de São Paulo. Atualmente, além de auxiliar no atendimento da ponta, as UHRs teriam a finalidade de mitigar a intermitência das fontes eólicas e solares. Acreditamos que os estudos mencionados devem sim ser revistos e que o principal empecilho para a implantação de UHRs no Brasil não é técnico, mas sim regulatório.

B) Já existem máquinas em usinas reversíveis que tem capacidade de ajustar a frequência gerada para compensar as intermitências das fontes renováveis. Este poderia ser um fator para que valorizassem mais a energia gerada pelas UHR em momentos de queda de frequência?

Sim, a operação com velocidade ajustável em UHRs já pode ser considerada uma tecnologia madura. Este advento permite que a UHR forneça regulação de frequência inclusive durante bombeamento.

C) Os custos de construção e aspectos ambientais foram avaliados neste estudo para que sejam viáveis as novas UHR's?

Aspectos ambientais foram avaliados e podem ser considerados baixos se comparados, por exemplo, aos de hidrelétricas convencionais (UHEs) com potências instaladas semelhantes. Isto acontece porque as UHRs não necessitam de grandes reservatórios como os das UHEs. Os custos de construção e operação das UHRs são semelhantes aos de UHEs. Se aproveitadas UHEs existentes para transformá-las em UHR, os custos podem ser ainda menores. Para a avaliação da viabilidade econômica das UHRs no Brasil, é preciso que seja discutida e definida a regulamentação da remuneração destas usinas para que se possa comparar os custos de implantação e operação com o retorno financeiro dos empreendimentos.

3.3 - DETERMINAÇÃO NUMÉRICA DA PERDA DE CARGA DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO DE HIDROGERADORES COM VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL (MEDIÇÕES DE CAMPO)

ALTEA, C.D.M.(1);MIRANDA, M.D.S.(1);YANAGIHARA, J.I.(2); - VOITH(1);USP(2);

Neste trabalho apresenta-se a validação de um método numérico aplicado ao sistema de ventilação de hidrogeradores, comparando os resultados numéricos e dados experimentais obtidos a partir de medições de campo. O objeto de estudo é limitado à região mais importante do sistema de ventilação (canais de ventilação do núcleo do estator) para obter resultados de coeficiente de perda de carga. São apresentadas informações básicas sobre os parâmetros do cálculo numérico e estende-se com mais detalhes sobre a pioneira medição de campo da pressão do sistema de ventilação, realizada em um protótipo de hidrogerador a fim de se obter a perda de carga do escoamento entre os diâmetros interno e externo do núcleo do estator. Efetuada a comparação entre resultados numéricos e experimentais e observada considerável diferença entre eles, fica evidenciado que a hipótese mais razoável para este resultado é atribuída às altas incertezas das medições de campo. Finalmente, conclui-se que os resultados da comparação ajudam no entendimento do sistema de ventilação e que o potencial de melhoria deste estudo passa pela minimização das incertezas de medição por meio do desenvolvimento de tomadas de pressão definitivas.

Perguntas e respostas:

A) Verificou-se que os valores experimentais não foram muito próximos dos valores calculados. Entretanto, só se utilizou um sistema de medição. Não seria conveniente numa próxima oportunidade se instalar um outro sistema de medição para se obter mais valores e se fazer uma comparação entre as medidas?

Ter valores de medições obtidos de dois diferentes sistemas seria muito interessante. Seria possível validar (por comparação) um sistema de medição pelo outro e validar o modelo numérico com os dois conjuntos de valores experimentais. No entanto, um dos objetivos do artigo era mostrar o caráter desafiador desta medição pioneira em campo (não em modelo de laboratório), as dificuldades de executá-la e os resultados atingidos, que mostram problemas de qualidade de medição (altas incertezas do tipo A). Ou seja, o esforço para termos dois sistemas de medição seria, no mínimo, dobrado, com o risco de se ter dois sistemas com problemas de qualidade. Por esta razão, os autores entendem que, antes de se cogitar aplicar dois sistemas de medição, deve-se dar prioridade em aprimorar o primeiro sistema já desenvolvido, já que o mesmo se mostrou adequado e promissor, conforme sugestão de trabalhos futuros no último parágrafo da conclusão.

B) Teria como fazer uma engenharia reversa com os dados obtidos de temperatura do estator durante a operação para validar os métodos numéricos?

Neste artigo a simulação numérica considera um escoamento isotérmico. Vale lembrar que as medições de pressão foram realizadas durante o comissionamento dinâmico da máquina, sem carga, ou seja, sem grandes variações de temperatura. A forma como o atual sistema de medição foi concebido, não é possível efetuar as medições com a máquina operando com carga. Em uma oportunidade futura, desenvolvendo um sistema de medição de pressão permanente, isso seria possível. Neste caso, teríamos medições de pressão (perda de carga) e temperatura ao mesmo tempo, o que seria extremamente útil para validação de um cálculo numérico termodinâmico do problema.

C) Como ter certeza que o método de cálculo numérico está totalmente correto?

Métodos numéricos funcionam muito bem quando o modelo geométrico e as condições de contorno estão bem próximas da realidade. No entanto, sempre terão incertezas (assim como medições), que podem ter diferentes causas e ser estimadas por diferentes métodos. Além disso, o modelamento de um problema sempre requer uma validação experimental, que pode ser obtida através de um cálculo numérico similar. Na primeira referência bibliográfica do artigo (Altea et al., 2016), apresenta-se uma estimativa de incertezas de discretização pela extrapolação de Richardson para um cálculo numérico muito similar ao apresentado neste artigo, com resultados muito satisfatórios. Nesta mesma referência bibliográfica o cálculo numérico é validado (para uma região superior do intervalo de número de Reynolds estudado) por dados experimentais obtidos em um ensaio de modelo. No presente trabalho, a análise das incertezas das medições por si só já mostra que as mesmas têm baixa confiabilidade. Logo, considerando ainda o histórico do modelo numérico na referência bibliográfica (Altea et al., 2016), conclui-se que a disparidade entre os resultados experimentais e numéricos neste trabalho está mais relacionada à problemas das medições do que incertezas do modelo numérico.

3.4 - DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE MÁQUINAS SÍNCRONAS ATRAVÉS DO ENSAIO SSFRT E REDES NEURAIS

KORNRUMPF, L.H.D.(1);NABETA, S.I.(1); - EPUSP(1);

O ensaio de resposta em frequência em geradores síncronos vem ganhando espaço nas últimas décadas, porém o alto custo dos equipamentos empregados para realização do ensaio ainda é um empecilho, tanto para fabricantes como para consumidores finais. Este trabalho tem por objetivo propor uma metodologia de obtenção de parâmetros, através do uso de redes neurais e uma combinação de algoritmos de tratamento de dados. Esta combinação trata os resultados concebidos através de ensaios frequenciais, nos quais a proposta foi a utilização de equipamentos de baixo custo para a realização dos mesmos. Adicionalmente, foi proposto durante o desenvolvimento deste trabalho um processo de otimização da rede neural utilizada.

Perguntas e respostas:

A) Os autores fizeram a comparação entre os dois métodos de ensaio: Curto circuito brusco e SSFR. Qual dos dois métodos é segundo os autores, o que mais se aproxima dos valores reais?

Os autores entendem que, comparado aos valores de ensaio, ambos os métodos fornecem resultados com boa aproximação. O SSFRT apresenta a vantagem de fornecer, além dos parâmetros do eixo D, parâmetros no eixo Q com procedimentos idênticos. Além disso, o ensaio SSFRT permite obter as constantes de tempo; enquanto o ensaio de curto-circuito permite obter as constantes.

B) Para alguns proprietários o ensaio de curto circuito brusco, além de servir para determinação de parâmetros, serve também para testar a eficácia do projeto da máquina. Os autores poderiam comentar?

Correto, no entanto, acreditamos que esses ensaios para teste da eficácia da máquina podem ser realizados através de outros ensaios, já que o ensaio de curto circuito possui um caráter destrutivo e submete a máquina ao estresse eletromecânico. Ademais, esse ensaio pode ser mais danoso a geradores que se encontram em operação a vários anos.

C) Os autores comentaram que o ensaio de SSFR utilizam equipamentos caros. Os equipamentos são específicos para cada máquina ou o conjunto de equipamentos devidamente dimensionados podem executar ensaios em qualquer máquina. Assim os custos poderiam ser diluídos em vários projetos. Os autores poderiam comentar?

Sim, o conjunto de equipamentos pode ser usado em diversas máquinas e também poderia ser diluído em diversos projetos. No entanto, os autores entendem que faz parte da academia desenvolver pesquisas que possam oferecer alternativas economicamente mais acessíveis e com dispositivos nacionais, haja vista que os instrumentos padrões utilizados no ensaio SSFRT são importados e de aquisição e manutenção onerosas.

3.5 - INFLUÊNCIA DA RIGIDEZ DA CRUZETA SUPERIOR NO DIMENSIONAMENTO DO HOUSING DO GERADOR EM USINAS SEM A PRESENÇA DE LAJE DE CONCRETO NO NÍVEL DA PLATAFORMA DO GERADOR

LEAL, S.D.(1);GARCIA, F.J.(1);MAZER, T.T.(1); - GE(1);

Este artigo apresenta um estudo simplificado sobre a influência da consideração da estrutura da cruzeta superior de um gerador vertical no dimensionamento da flexibilidade do barril de concreto, em arranjos em que a presença de laje no nível da plataforma superior é limitada ou inexistente. Dependendo da abordagem aplicada no cálculo da flexibilidade, a espessura do barril e o arranjo da casa de força podem ser otimizados.

Perguntas e respostas:

A) A ausência de laje elimina um nível da casa de força facilitando a instalação de equipamentos periféricos. No trabalho é mencionado que há casos em que isto nem sempre seria a melhor solução. Poderiam os autores mencionar exemplos desses casos?

Em casas de força abrigadas em caverna o espaço para arranjo de equipamentos periféricos pode ser bastante restrito devido aos custos envolvidos neste tipo de instalação, como escavação em caverna, sistema de resfriamento dos painéis, ar condicionado, etc... Ao se eliminar um nível da casa de força, o espaço para alocação de auxiliares elétricos e mecânicos pode não ser suficiente, motivo pelo qual se recomenda um estudo detalhado de distribuição dos equipamentos para a confirmação da viabilidade da solução.

B) Considerando que a força resultante aplicada pela cruzeta superior influencia o valor da flexibilidade do concreto, como é feito o dimensionamento da cruzeta?

O dimensionamento da cruzeta (tensões mecânicas) é feito atribuindo um valor de rigidez elevado na região dos apoios na fundação, ou até mesmo apoios com rigidez infinita. Esta abordagem é a favor da segurança e não penaliza a cruzeta, uma vez que as tensões mecânicas relevantes para o dimensionamento ocorrem na parte central da mesma ou na ligação com os braços. O cálculo da flexibilidade da cruzeta pode ser feito com ou sem a presença da fundação, porém deve ser respeitada a associação das rigidezes, caso a fundação esteja presente.

C) Para o cálculo da flexibilidade das barras de concreto porque na abordagem mais adequada foi adotado o mesmo valor da força radial total no ponto A da Tabela 1?

Foi utilizado o valor total (resultante na direção A) por ser uma associação em série dos elementos de rigidez da cruzeta e fundação. Considerando este sistema em série, a força a ser utilizada no cálculo da flexibilidade deve ser necessariamente a força total, e não a resultante no braço, como é mostrado na página 3.

3.6 - USO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA PARA CONTROLE INTELIGENTE DA DEMANDA EM PONTOS DE FRONTEIRA

GARCIA, C.K.Z.(1);ASSIS, B.F.(1);CAMPOS, L.(1);MORETTI, M.(1); - IPE(1);

Concessionárias de energia possuem topologias com geração distribuída e pequenas centrais hidrelétricas e pontos de fronteira que permitem importação e exportação de energia. Dois modelos visam auxiliar o operador no monitoramento dos pontos de interligação para a demanda não ser extrapolada e não propagar um problema para todo o sistema interligado. O sistema implementa um modelo de análise hídrica de otimização de pequenas centrais hidrelétricas, que calcula a energia, fornecendo um panorama da geração em uma topologia de rede. O operador recebe um cenário otimizado da topologia, sugerindo usinas para geração aumentada para minimizar carga nas fronteiras, balanceando a rede.

Perguntas e respostas:

A) Uma vez que o programa considera as equações clássicas de fluxo de potência, para a otimização de recursos computacionais costumeiramente considera-se o desacoplamento entre variáveis (tensão - ângulo de carga / frequência da rede - potência reativa). Isso foi considerado na implementação do programa proposto?

Sim, foi considerado. A solução proposta analisa cada variável separadamente dentro de seus limites nominais ou sugeridos, aplicando-os ao fluxo de potência objetivando como resposta a melhor configuração de rede capaz de solucionar os desvios de intercâmbio.

B) O controle do despacho de carga pode acarretar que uma PCH ou outra seja mais exigida. Como os autores consideram a possibilidade de utilizar tal resultado como indicador de necessidade de investimentos na área das usinas mais "atuantes"?

O ponto de vista de ampliação da capacidade não foi considerado, mas apenas o ponto de vista de utilização ótima dos reservatórios uma vez que a principal restrição era a disponibilidade de recursos hídricos.

C) O controle do despacho de carga pode permitir avaliar o momento de paradas de manutenção das unidades geradoras. Como os autores consideram a possibilidade de utilizar os resultados do programa como dados para planejamento de paradas de manutenção?

A análise do histórico de utilização não fez parte do escopo do projeto e portanto tal análise não foi realizada.

3.7 - A INFLUÊNCIA DO DEFLETOR NO DESEMPENHO E CONTROLE DE TURBINAS PELTON DURANTE ILHAMENTO

PAIVA, R.B.D.(1);SILVA, L.M.D.(1);MENARIN, H.A.(1);BRANDL, B.B.(1); - REIVAX(1);

Este Informe Técnico apresenta as dificuldades de controle de turbinas Pelton em condições onde a carga é reduzida rapidamente, como em Ilhamentos e rejeições de carga. Nessas ocorrências o torque mecânico precisa se adaptar à nova carga. Quando a velocidade atinge o novo regime permanente as agulhas estão posicionadas de forma a fornecer a vazão de água necessária para o novo ponto de operação. Como, em geral, o tempo de fechamento das agulhas é longo, é necessário utilizar os defletores para reduzir rapidamente o torque mecânico, a fim de reduzir a sobrevelocidade da máquina. Logo que os defletores fecham, desviando completamente o jato d'água, a velocidade cai de forma abrupta. Dessa forma, é preciso abrir novamente os defletores para que a máquina não desacelere abaixo de um limite pré-determinado. Nessa situação tem-se um problema de controle muito distinto daquele para o qual a malha de controle de velocidade convencional foi projetada e sintonizada. Neste Informe Técnico será discutida a influência dos defletores em casos de Ilhamentos e rejeições de carga e será proposta uma topologia alternativa de controle utilizando Defletores Proporcionais.

Perguntas e respostas:

A) Tipicamente a utilização de controladores PID acarreta o surgimento de zeros adicionais na função de transferência do sistema considerado, e consequente diminuição do tempo de acomodação. No entanto, um efeito indesejável é o aumento do sobre-sinal. No entanto, a redução do mesmo e a escala das figuras 3 e 9 induzem à conclusão de se tratar de um sistema de fase não-mínima. Essa conclusão está correta? Em caso afirmativo, qual o mecanismo de correção adotado pelos autores para evitar a instabilidade da resposta?

É conhecido que a resposta dinâmica do conduto possui característica de fase não-mínima, como se pode ver nos diagramas de blocos das figuras 1 e 2. Isso não traz dificuldades ao sistema de controle, pois o pólo dessa função de transferência está no semi-plano esquerdo. Essa característica apenas causa uma resposta reversa inicial no torque mecânico da turbina, cuja influência é desprezível sobre a velocidade da máquina nas respostas a rejeição de carga, tema deste artigo. O controlador PID introduz dois zeros na função de transferência entre a Referência de frequência e a Frequência controlada ($w(s)/RefW(s)$) ? um pela ação derivativa e outro pela realimentação pólo em 0 do integrador. No lugar das raízes de malha fechada, pode-se concluir que o zero da ação derivativa não possui dinâmica dominante, e sua função é inserir fase para amortecimento do sobressinal: logo, atua para redução de sobressinal em malha fechada. Já o zero resultante da realimentação do integrador em geral fica próximo ao pólo dominante da resposta em malha fechada, e por isso causa um sobressinal na resposta ao degrau na referência. É de conhecimento da engenharia de controle que este zero não aparece na resposta da variável controlada a uma perturbação. Para comprovar isso, basta calcular a função de transferência de malha fechada $w(s)/v(s)$, onde $v(s)$ é uma perturbação inserida entre o sistema de controle e a variável de saída. Este último é o caso das respostas a rejeição de carga, tema deste artigo. Portanto, o zero introduzido pelo integrador na resposta à referência não interfere na resposta em malha fechada da perturbação de rejeição de carga. Este zero tampouco possui efeito prático na resposta à referência do regulador de velocidade, porque a referência é variada na forma de rampa cuja taxa está fora da zona espectral de atuação do zero. Logo, também não ocorre sobressinal. O efeito do zero é observado apenas nas respostas ao degrau utilizadas como testes padronizados dos sistemas de controle nos procedimentos de comissionamento.

B) Para o problema de sintonia do PID existem vários métodos disponíveis na literatura, bem como seus critérios de performance associados. Qual foi o método adotado pelos autores para a sintonia do PID?

O ajuste sugerido no artigo "Hydraulic Turbine and Turbine Control Models for System Dynamic Studies", publicado pelo Working Group on Prime Mover and Energy Supply Models for System Dynamic Performance Studies no IEEE Transactions on Power Systems em 1992. São fornecidas expressões dos ganhos do regulador PID baseadas na constante de tempo T_w do conduto e de inércia da máquina 2H.

C) Foi considerada a sinal frequência/potência ativa para o controle da posição das agulhas. De fato, essa é a escolha mais intuitiva para o controle da unidade geradora. Entretanto, no caso de unidades geradoras acionadas por turbinas Pelton, tanto torque quanto potência mecânica possuem expressões bem definidas pela literatura e, portanto, também poderiam atuar como sinais adicionais para o controle da posição das agulhas. Esse aspecto foi considerado pelos autores na escolha da malha de controle da posição das agulhas?

Os autores não levaram esse aspecto em consideração. De fato, um controle que calculasse o torque resultante das agulhas poderia realizar um controle mais refinado, utilizando uma estrutura de controle de modelo interno ou com preditores. Esse aspecto poderia ser explorado em trabalhos futuros.

3.8 - MAXIMIZAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA EM USINAS HIDRELÉTRICAS UTILIZANDO MÁQUINAS COM CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DISTINTAS

CÉSAR, T.C.(1);MAKISHI, A.(1);PILLAR, R.V.(1); - EPE(1);

A sazonalidade das vazões associada à utilização de usinas a fio d'água demandam maior flexibilidade operativa ao projeto das unidades geradoras, sendo em alguns casos conflitante à otimização de outras características relacionadas ao custo e desempenho. A adoção de máquinas com comportamentos distintos em uma usina hidrelétrica pode proporcionar, além da versatilidade operacional, um melhor aproveitamento para as variadas condições de operação, utilizando projetos específicos

para condições restritas e levando a melhores relações custo-benefício. O presente trabalho propõe uma metodologia de cálculo para a expectativa de produção de energia da usina permitindo comparar alternativas durante fase de estudos de motorização.

Perguntas e respostas:

A) Porque na determinação do cálculo energético não foram consideradas as taxas de indisponibilidade programada e forçada. Esta consideração não poderia afetar os resultados obtidos?

As taxas de indisponibilidade programada e forçada de fato influenciam a produção de energia. A forma tradicional de tratar essas indisponibilidades em simulações com discretização mensal é limitar a geração de energia pelo valor esperado da potência disponível. A rigor, para a representação detalhada empregada no informe, seria mais adequado representar probabilisticamente os possíveis estados das máquinas. No entanto, tal abordagem não é usual em estudos de dimensionamento (mas sim de confiabilidade), pois elevaria muito e desnecessariamente o tempo computacional. Adicionalmente tais valores podem estar intrinsecamente associados a tecnologia e concepção construtiva das unidades geradoras e da usina, além das particularidades locais de cada empreendimento, cuja avaliação excede o escopo do trabalho. Desta forma, o estudo restringiu-se a analisar os efeitos da eficiência, potência e faixa operativa das máquinas sobre a produção de energia, deixando a avaliação das taxas de indisponibilidade para estudos futuros.

B) A comparação entre a configuração de referência e uma configuração alternativa com geradores de potências diferentes, mostrou que esta última configuração possibilita obter-se um maior rendimento global. Entretanto, máquinas de potências diferentes não poderiam ocasionar diferentes esforços nas fundações, além da necessidade de diferentes peças sobressalentes, fatores estes que aumentariam a complexidade desta solução?

A utilização de máquinas distintas pode ocasionar um aumento da complexidade da solução, com reflexos no projeto, construção e operação da usina, cujo grau é variável em função da natureza desta distinção (rotação, potência, diâmetro do rotor da turbina, passagens hidráulicas, etc.). Assim, para a definição da solução mais adequada, devem ser levados em conta tanto os eventuais ganhos energéticos quanto os efeitos em custos, cronograma e riscos associados, conforme as características específicas do aproveitamento, como mencionado na conclusão do informe técnico. Para um estudo detalhado de custos, deve-se considerar ainda, além de características específicas do projeto, a tecnologia e a capacidade de cada fornecedor de equipamentos ou construtor civil. Por este motivo, o trabalho limitou-se a avaliar os aspectos relacionados a produção de energia, buscando caracterizar como os ganhos energéticos podem ser obtidos.

C) O trabalho apresenta uma metodologia de cálculo da geração de energia para usinas a fio d'água. As turbinas Kaplan são usualmente utilizadas neste tipo de usina. Porque nas simulações foi considerada como referência uma configuração com geradores de 166,67 MW, cujas turbinas são usualmente do tipo Francis?

A configuração de referência utilizada para os estudos é de seis unidades geradoras, do tipo Kaplan vertical, com potência de 116,67 MW cada, havendo um erro de digitação na figura 05, que indica o valor de 166,67 MW. As unidades geradoras Kaplan são normalmente utilizadas para usinas cujas quedas operativas encontram-se entre a faixa de 15m a 50m, podendo alcançar potências unitárias superiores a 160MW, tendo como exemplos a UHE São Manoel (4 x 175MW, em construção), UHE São Luiz do Tapajós (36 x 215 MW, estudo de viabilidade) , UHE SINOP (2 x 204 MW, em construção), PH Tocoma - Venezuela (10 x 240 MW, em construção), Iron Gate I ? Romênia/Servia (12 x 194 MW, em operação), CH Yacretá ? Paraguai/Argentina (20 x 160 MW, em operação) e D?Erjiang - China (2 x 176MW + 5 x 129 MW, em operação). De qualquer forma, embora o caso apresentado utilize turbinas do tipo Kaplan, devido as quedas líquidas operativas, a metodologia desenvolvida permite o estudo para qualquer tipo de máquina à reação.

3.9 - STREAMDIVER: UTILIZANDO UM NOVO POTENCIAL HIDRELÉTRICO

MARKUS, F.V.(1);ALVES, F.(1); - VOITH(1);

Desenvolvimentos inovadores tornaram-se uma raridade no mercado hidrelétrico. Mas um deles vem se mostrando cada vez melhor: a turbina compacta StreamDiver. Projetada para operar em baixas quedas hidráulicas, esta máquina se caracteriza por ser excepcionalmente compacta, ecológica e rentável. Depois de quatro anos em operação na usina hidrelétrica de Nussdorf, em Viena, seu balanço convence tanto quanto os quase dois anos de operação desta solução na usina hidrelétrica sueca de Bruksfors. No final do ano anterior, foi comissionada ainda a StreamDiver da usina "Alte Bleiche" na Alemanha. Já era hora de uma usina hidrelétrica de baixa queda, completamente isenta de óleo ou graxa e sem reguladores de velocidade e tensão ser difundida no mercado.

Perguntas e respostas:

A) Qual o rendimento que pode ser obtido com as unidades StreamDiver?

85% em média.

B) Como se comparam as dimensões de uma StreamDiver com unidades Kaplan usadas também em baixas quedas?

Se compararmos a maior Stream Diver (1310mm) com uma Kaplan S Horizontal Padrão (3000mm) temos uma relação de aprox. 1/2.

C) Quais são os tipos de sensores usados para o monitoramento da unidade geradora? Quais os equipamentos auxiliares que não existiriam em unidade geradora StreamDiver?

Sensores internos comuns em unidades geradoras (PT100, proximetros, sensores de vibração, etc.) todos internos à Stream Diver. Não irão existir os seguintes auxiliares: ? Reguladores de Velocidade e de Tensão; ? CCM; ? Sistema de Esvaziamento; ? Sistema de Ar-Comprimido; ? Sistema de Lubrificação de Mancais; ? Sistema de Resfriamento; ? Sistema Anti-incêndio; ? Sistema de Ventilação/Exaustão; ? Sistema de Águas de Serviço, de vedação ? Sistema de Drenagem e Esgotamento; ? Ponte Rolante; ? Parcela da Casa de Força de sistemas comuns como: CFTV e Controle de Acesso, Controle de Enchente, Iluminação e Tomadas, Aterramento, SPDA, etc.

3.10 - DIFICULDADES VS OPORTUNIDADES - CASO DE SOLUÇÃO PARA PROBLEMA DE RSI E CAVITAÇÃO NO LADO DE PRESSÃO DE ROTOR FRANCIS, ASSOCIADOS A GANHO DE ENERGIA

STRAATMANN, R.(1);FELLENBERG, S.V.(1);MONETTE, C.(1);CIBULSKI, L.J.(2);HAIN, F.L.(2);FERRETTI, A.P.(2); - Andritz Hydro(1);TBLE(2);

Todo investimento em tecnologia e projeto de turbinas é um processo de melhoria contínua, e cada execução é única com suas particularidades e riscos inerentes ao mesmo. Desta forma ocorre, ainda que raramente, necessidades de melhoria identificadas no protótipo. A UHE de Ponte de Pedra foi objeto de problemas e importantes melhorias relacionadas à RSI (Rotor Stator Interaction ? Interação entre Rotor e Estator), erosão por cavitação atípica no lado de pressão das pás do rotor da turbina, juntamente com aumento do rendimento que foi oportunizado na ocasião.

Perguntas e respostas:

A) Esta ferramenta de cálculo e simulação pode ser utilizada em todos os projetos de modernização e repotencialização de unidades geradoras?

Sim. Trata-se de um conjunto de ferramentas, algumas desenvolvidas in house, outros comerciais. Estas ferramentas demandam constante desenvolvimento, e são utilizadas tanto em modernização e repotenciação quanto em novos projetos, assim como tanto para turbinas tipo Francis, quanto para Kaplan e Bulbo. Vale dizer que foram realizados ensaios de modelo reduzido em laboratório próprio da Andritz, no Brasil, para validar os resultados das ferramentas de simulação e comprovar o desempenho. Atualmente, em alguns casos particulares, e em função das garantias estabelecidas, é possível realizar o desenvolvimento hidráulico da turbina sem a necessidade de uma comprovação através de ensaios em modelo reduzido, porém com comprovações através de ensaios de campo.

B) Com o aumento de 1,44% da capacidade de geração o gerador não apresentou alterações de elevação de temperatura e vibração?

Não houve alterações na temperatura nem na vibração. Cabe lembrar que o aumento da capacidade de geração foi obtido pelo aumento do rendimento através da otimização da turbina para as condições operacionais reais, bem como pequenas mudanças na faixa operacional, porém a potência máxima da unidade foi mantida, de maneira que não houve impacto na temperatura. Quanto a vibração o comportamento geral é semelhante, com pequenas alterações em função da condição operacional devido a mudança da turbina, ressaltando, contudo, que houve uma melhora nas instabilidades de origem hidráulica devido ao novo projeto do rotor.

C) Em quanto tempo o investimento realizado poderá ser recuperado com o aumento de 1,44% da energia disponível?

Lembramos que no caso da modernização da UHE Ponte de Pedra, a modernização teve como principal motivação a correção de um problema de desempenho da turbina quanto a cavitação. Desta forma não foi realizada uma análise de viabilidade focando o retorno neste caso em particular. Uma outra particularidade neste caso é que o investimento não reflete o custo de mercado efetivo de um novo rotor, visto que os rotores originais estavam em garantia por não atendimento do desempenho. Houve um acordo entre as partes e os valores foram inferiores aos de mercado.

3.11 - UM ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA CARGA, DA TEMPERATURA, DO NÍVEL DE TENSÃO E DO FATOR DE POTÊNCIA NO RENDIMENTO DO GERADOR

COSTA, L.L.H.(1); - Andritz Hydro(1);

De acordo com a definição da norma IEC60034-2-1, Edition 1.0 2007-09 (3), o rendimento corresponde à razão entre a potência de entrada e a potência de saída. Assim, é possível dizer que a eficiência da máquina corresponderá à razão entre a potência ativa de saída e a potência ativa somada às perdas. A menos das perdas mecânicas, as perdas eletromagnéticas do gerador síncrono estão sujeitas a variações. Tais variações se dão em função, basicamente, da temperatura, da carga, do nível de tensão terminal e/ou do fator de potência. Assim, o rendimento do gerador variará ao longo dos pontos em que operará. As características particulares intrínsecas a cada uma das perdas eletromagnéticas se refletem no projeto do gerador. Isso porque, cada máquina apresenta uma distribuição de perdas diferente, de modo que cada gerador apresentará uma sensibilidade diferente para a variação de cada um dos fatores de influência no seu rendimento. Este trabalho apresentará um estudo de maneira a demonstrar, através de exemplos, da influência da temperatura, da carga, do nível de tensão e do fator de potência no rendimento real do gerador. Além disso, será apresentada uma comparação entre o rendimento real do gerador síncrono e o rendimento nominal declarado nos dados de placa da

máquina.

Perguntas e respostas:

A) Porque no trabalho não foram consideradas as perdas por atrito e somente as perdas por ventilação? A não consideração das perdas por atrito não levaria ao cálculo incorreto do rendimento?

Durante o desenvolvimento dos trabalhos de cálculos e implementações de novas máquinas ou modernizações de máquinas existentes, todas as perdas devem ser levadas em consideração de maneira a refletir o correto rendimento da unidade geradora em questão. No entanto, a alocação das perdas nos mancais depende dos mancais associados ao gerador propriamente dito, assim como depende de um acordo entre fabricantes e compradores (principalmente no que se refere às perdas do mancal de escora). Esse entendimento está recomendado na seção 8.3.6 da norma IEEE C50.12 de 2005. Lá encontramos a seguinte definição e recomendação a respeito das perdas nos mancais: The friction and windage loss, including brush mechanical friction, is the power required to drive the unexcited machine at rated speed with the brushes in contact, deducting that portion of the loss that results from the following: a) Forcing the air through any part of the ventilating system that is external to the machine and cooler (if used). b) The driving of direct-connected flywheels or other direct connected apparatus. However, when requested by the purchaser, these additional losses will be furnished as a separate item. c) In the case of machines furnished with a complete set of bearings, only that portion of the friction and windage loss produced by the bearing load due to the generator or generator/motor itself shall be included. In the case of machines not furnished with a complete set of bearings, only that portion of the friction and windage loss associated with the equipment supplied with the generator or generator/motor shall be included. Where losses are apportioned between equipment or between manufacturers, the method of allocation of the losses shall be subject to agreement between the manufacturer and purchaser. Dessa forma, como a alocação das perdas nos mancais depende da configuração dos mancais associados ao gerador síncrono em questão, assim como de um eventual acordo entre fornecedores e compradores, decidiu-se por não levar em conta as perdas nos mancais no estudo apresentado no informe técnico. Porém, vale ressaltar, que todas as perdas da unidade geradora são levadas em conta em trabalhos relacionados a instalação de novas máquinas ou modernizações, como anteriormente mencionado.

B) As perdas no núcleo, sendo função do fluxo resultante, seriam uma perda variável, ou seja, iriam variar com a tensão resultante, isto é, com a potência de saída (corrente da armadura) para uma tensão terminal e fator de potência constantes, e portanto não seriam constantes conforme mostrado no gráfico da Figura 2?

As perdas no ferro, apresentadas no artigo com a sigla OCCL, dependem unicamente da tensão terminal. Isto significa dizer que, ao manter-se a frequência e a tensão nos terminais do gerador síncrono constantes, não haverá variação nessa perda, independente da potência, corrente de armadura ou do fator de potência. É possível afirmar, realmente, que as perdas no ferro dependem do fluxo magnético que circula no circuito magnético da máquina. No entanto, para que a tensão terminal seja mantida constante, o fluxo resultante também deverá ser mantido constante. Durante a operação do gerador síncrono, a corrente de armadura que circula nos enrolamentos trifásicos (considerando operação com fator de potência atrasado) gera um fluxo magnético desmagnetizante. Essa parcela desmagnetizante é compensada por um aumento do fluxo magnético de excitação. Porém, o fluxo magnético resultante é o mesmo, de forma a manter-se a tensão terminal constante. Dessa forma, as perdas no ferro de uma máquina síncrona, também denominadas perdas em circuito aberto (OCCL), independem da potência aparente ou fator de potência. Essas perdas variam somente em função da tensão terminal (tensão no enrolamento de armadura), considerando que a frequência elétrica é constante, como está evidenciado na seção 4.3 do informe técnico.

C) Na Figura 7 é mencionado que as perdas somente variam com as perdas na resistência do rotor para um fator de potência constante, mantendo-se a potência e tensão terminal constantes. Para cada curva como a corrente da armadura varia?

Na Figura 7 está evidente a variação do rendimento do gerador em função do fator de potência. Isto significa dizer que as máquinas operando com fator de potência menor possuirão consequentemente um rendimento também menor. Esse decréscimo de rendimento se dá basicamente devido ao aumento da corrente de campo (ou excitação). E o aumento da corrente de campo é proveniente da característica desmagnetizante da corrente de armadura. Considerando que a tensão terminal (V), a frequência (Hz), e a potência aparente (VA) são constantes para qualquer fator de potência atrasado, tem-se que a corrente de armadura possuirá um mesmo módulo (ou amplitude), independente do fator de potência. A variação na corrente de armadura, para essas mesmas condições, proveniente de uma variação no fator de potência se dá em seu ângulo de defasagem. Isto é, quanto menor o fator de potência que o gerador síncrono operar, maior será o ângulo de defasagem entre a tensão terminal e a corrente de armadura. É justamente esse aumento no ângulo de defasagem, considerando um fator de potência atrasado, que proporciona uma maior solitação da corrente de campo e consequentemente um aumento nas perdas no enrolamento do rotor. Em compensação, como o módulo da corrente de armadura se mantém constante, não há variação nas perdas no enrolamento do estator.

3.12 - PROSPECÇÃO DE PARQUES HIDROCINÉTICOS: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PROJETOS NOS RIOS IGUAÇU E PARANÁ

ARAUJO, M.A.D.(1); - UNILA(1);

Neste trabalho é apresentado uma análise preliminar e comparativa entre dois estudos de prospecção de parques hidrocinéticos, um no rio Iguaçu e outro no rio Paraná. Cada parque desta proposta comportará duas turbinas de 500 kW, totalizando 1 MW de potência instalada. O propósito do estudo é relacionar os pontos que influenciam na prospecção de um parque hidrocinético, fornecendo as ferramentas necessárias para fazer uma avaliação preliminar, evitando com isso investimentos desnecessários em estudos que podem ser realizados em um projeto mais detalhado. Analisando os resultados, constata-se que o empreendimento no rio Paraná aproveita melhor a capacidade das turbinas hidrocinéticas.

Perguntas e respostas:

A) Seria possível fazer medições em outros locais do rio a fim de se encontrar um com maior velocidade de fluxo da água e reduzir o tamanho da turbina?

Sim. Através da fluidodinâmica computacional (CFD) pode-se investigar o perfil de velocidade em diferentes seções transversais no trecho do rio de interesse.

B) Seria possível fazer um modelo reduzido em um laboratório desta TCH a fim de se determinar um perfil específico de pá de turbina para este tipo de aplicação?

Um modelo reduzido poderia inclusive revelar qual a melhor combinação de perfil hidrodinâmico das pás em conjunto com o difusor, o que faria converter a energia das correntezas em energia mecânica acima do limite de Betz.

C) Seria viável a utilização do método de medição de velocidade da corrente através de sensores de ultra som? Quais seriam as dificuldades?

No método acústico, usando por exemplo o Perfilador Doppler Acústico de Corrente (ADCP), obtém-se uma maior precisão da velocidade da água, com isso, define-se o posicionamento da turbina hidrocinética no local onde a produção de energia é maior. É interessante usar esse método na etapa do projeto onde os interessados estão convencidos que se trata de um bom negócio o uso dessa forma de obter energia elétrica, devido aos custos envolvidos.

3.13 - APLICABILIDADE DOS ESTUDOS GEOINFORMAÇÃO DETALHADOS, COMO FERRAMENTAS DE APOIO À SUSTENTABILIDADE DOS INVESTIMENTOS NA ÁREA DA PRODUÇÃO HIDROELÉTRICA, EM PARTICULAR EM SITUAÇÕES LIMITE

RODRIGUES, P.J.F.(1);Clemente, D.(2);Clemente, M.K.(3);Alvarado, D.H.S.(4); - SENOGRAFIA(1);SENOGRAFIA(2);SENOGRAFIA(3);SENOGRAFIA(4);

A possibilidade de atualmente, através das novas tecnologias, coletar dados de forma massiva, consistente e integrada, em localizações remotas de tradicional dificuldade operacional, sem acessibilidades, clima instável e forte cobertura vegetal; dando subsídio rigoroso a estudos de viabilidade, concepção, projeto, construção, operação, manutenção, monitoramento, e também na modernização, repotenciação e desempenho de hidrelétricas, abre mais e melhores perspectivas no planejamento da operação e do negócio.

Perguntas e respostas:

A) Porque o arquivo Hipsometria/Intensidade e o arquivo Ortofoto/Restituição, além do produto agregado, não foram considerados inicialmente na execução do geoprocessamento da UHE Prainha? Hove algum impacto nos custos do projeto?

Na consulta original e consequente contrato, documentos fechados até ser formalizada a contratação, somente foram considerados os produtos mais usuais, possivelmente na perspectiva de alargar a possibilidade de consulta e fornecimento a um maior número de fornecedores. A decisão do fornecimento desses produtos resultou das reuniões técnicas posteriores à assinatura do contrato. Com base na experiência da contratada, nos materiais disponíveis decorrentes do software e hardware utilizados, e principalmente uma total sintonia quanto às vantagens de fornecer o melhor suporte para a realização dos estudos subsequentes do projeto. O fato da decisão de inclusão ter ocorrido em tempo útil, a produção foi otimizada por forma a minimizar o impacto nos custos da contratada. Para a contratante a inclusão dos produtos não representou qualquer agravamento do custo.

B) Quais foram as fases subsequentes do projeto da UHE Prainha após as etapas previstas nos levantamentos realizados e execução dos produtos complementares?

A Endesa Brasil, tal como era denominada a holding à data do projeto, hoje ENEL, obteve registro na Aneel para a realização de estudos dos projetos AHE Prainha (796 MW) e UHE Sumaúma (458 MW) no Rio Aripuanã, no Estado do Amazonas, e solicitou autorização para os estudos ambientais ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). A companhia participou da chamada pública da Eletronorte e foi selecionada para desenvolver conjuntamente os estudos. A expectativa era que os projetos fizessem parte de leilões de energia nova a partir do ano de 2017. A contratação da etapa de levantamentos se inseriu nesse processo.

C) Porque mesmo após todos os levantamentos realizados foram solicitados um maior detalhamento das curvas de nível, anteriormente obtidas com equidistância de 1 metro, para 0,5 metro, no projeto de geoprocessamento do aproveitamento da UHE Santo Antônio?

Nos produtos entregues, correspondentes à solicitação original, foi entregue o MDT que originou o subproduto curvas de nível com equidistância de um metro; pela consistência do MDT (que permitia, geração de curvas mais detalhadas, não obstante a densa vegetação) e pela necessidade identificada de existir do documentação de apoio mais intuitiva e fácil de visualizar, (cruzamento de informação de áreas potencialmente inundáveis, com as curvas de nível, nomeadamente limites

administrativos com algum grau de incerteza), a contratante optou por solicitar a entrega das curvas geradas e editadas com equidistância de meio metro, ao invés de gerar internamente o que poderia fazer mas com envolvimento de meios humanos e técnicos que considerou como não conveniente. Assim a solicitação e consequente fornecimento, se deveu a uma decisão não técnica de otimização dos processos internos da contratante e não à ausência de informação, uma vez que o DTM fornecido representava de forma integral e tridimensional a área de estudo.

3.14 - MODERNIZAÇÃO DE TURBINAS FRANCIS COM GANHO DE GARANTIA FÍSICA - EXPERIÊNCIA COM AS UHE PONTE DE PEDRA E UHE SALTO SANTIAGO

FERRETTI, A.P.(1);FRARI, R.V.D.(1);FEITOSA, P.H.S.(1);SANTOS, M.C.D.(1);HAIN, F.L.(1);CIBULSKI, L.(1); - ENGIE(1);

A Engie Brasil Energia tem aplicado em seu parque gerador uma filosofia de manutenção e melhoria de desempenho das unidades geradoras baseado em análises de vida útil, viabilidade técnica e econômica. Este trabalho trata dos aspectos e características que resultaram em aumento do desempenho, disponibilidade e consequentemente geração nas UHEs Ponte de Pedra e Salto Santiago. Serão descritas as principais características alteradas, projetos, resultados parciais e finais do desenvolvimento dos equipamentos, incluindo ensaios de laboratório em modelos reduzidos das turbinas. São apresentadas as informações que permitiram as revisões das garantias físicas, destacando os principais resultados, lições aprendidas e conclusões.

Perguntas e respostas:

A) Quais testes foram realizados para se determinar que a vida útil do gerador estava chegando ao fim?

Após a ocorrência de 3 falhas monofásicas consecutivas no intervalo de 8 meses, foram realizadas as seguintes ações para avaliação do fim de vida útil do gerador: 1. Análise do histórico de evolução das descargas parciais no enrolamento; 2. Ensaio de corona probe em todo o enrolamento; 3. Retirada de barras em operação e dissecação da isolação para avaliação visual do isolante; 4. Análise do histórico de resistência de isolamento; 5. Análise do histórico de ocorrências em operação e manutenção das unidades; 6. Mapeamento histórico do comportamento térmico. Além dos testes acima, haviam outros indícios físicos que contribuíram para a conclusão do fim de vida útil, com destaque para: 1. Verificações e medições da altura do pacote durante as manutenções preventivas; 2. Necessidades frequentes de reaperto do núcleo, com a redução do intervalo na necessidade de reaperto; 3. Necessidade de calço na parte traseira da chapa de prensagem inferior (dedos de prensagem) devido a redução da altura do pacote; 4. Verificação do início de efeito buckling na parte externa do núcleo (chaparia); 5. Redução da altura dos dutos de ventilação devido aos excessivos reapertos e ao efeito buckling.

B) Foram instalados novos sistemas de monitoramento da turbina e gerador? Quais sistemas foram adicionados?

As unidades geradoras já possuíam sistemas de monitoramento antes das respectivas modernizações com o foco em monitoramento de vibração e oscilação de eixo, entreferro do gerador, temperaturas, vazão e descargas parciais (este último apenas para UHE Salto Santiago). Durante as modernizações os sistemas sofreram algumas melhorias pontuais, como fixação, reajustes dos transdutores e calibrações, mas poucas mudanças, foram realizadas verificações constantes da instrumentação do Sistema de Monitoramento comparando-o com a instrumentação da Equipe de Comissionamento da modernização e particularmente o sistema de monitoramento de descarga parciais no gerador que passou a ser um sistema online após a modernização. Especificamente para a UHE Ponte de Pedra foram instalados 8 sensores para o monitoramento do entreferro do gerador, sendo 4 no plano superior e 4 no plano inferior.

C) Em quanto tempo o custo da modernização com o aumento da potência gerador será recuperado?

Ressaltamos que os ganhos de garantia física, mencionados nos dois projetos, foram decorrentes de aumento de rendimento das unidades geradoras, sem aumento de potência instalada. Lembramos também que no caso da modernização da UHE Ponte de Pedra, a modernização teve como principal motivação a correção de um problema de desempenho da turbina quanto a cavitação. No caso da UHSS a análise de viabilidade indicou que o investimento atenderia aos critérios econômicos e financeiros da empresa (VPL e TIR), dentro do período de concessão que se encerra em 2028. Posteriormente, o resultado do projeto foi afetado: a) positivamente pelo desempenho alcançado ser superior ao desempenho previamente homologado junto a ANEEL; b) negativamente pelo atraso nas primeiras unidades geradoras, impactando o fluxo de caixa. Contudo o resultado final superou a previsão da análise de viabilidade.

Comentário: Há necessidade de uma revisão pois tem alguns erros de digitação

3.15 - EMPREGO DA ANÁLISE COMPUTACIONAL NO DIAGNÓSTICO DA CAUSA RAZ DA FALHA DOS MANCAIS DO ANEL DE REGULAÇÃO - ESTUDO DE CASO DA UHE SÃO SALVADOR

HAIN, F.L.(1);CIBULSKI, L.J.(1);COSTA, F.F.D.(1);IHA, E.K.(2);MARIANO, M.T.(2); - ENGIE(1);Andritz Hydro(2);

Em 2011, durante inspeção de 8.000h da Unidade Geradora 01 (UG01), constatou-se visualmente significativa quantidade de particulados provenientes dos mancais do anel de regulação, indicando o desgaste excessivo dos segmentos autolubrificantes. Esta indicação foi confirmada após desmontagem parcial e inspeção detalhada, onde se constatou a ruptura dos parafusos de fixação dos segmentos radiais e axiais, e o roçamento entre na tampa da turbina e anel de regulação. Posteriormente a mesma situação foi constatada na UG02. Imediatamente o fabricante, Andritz Hydro, providenciou a recuperação dos danos e posteriormente iniciou estudos detalhados para avaliação estrutural dos componentes envolvidos, utilizando análises computacionais.

Perguntas e respostas:

A) É possível instalar um sistema de monitoramento on line para monitorar as folgas radiais dos segmentos dos mancais?

Sim. Porém entendemos que esta solução não evitaria o problema, pois os mancais têm função de guia e assim sendo, existe um contato constante em algumas regiões de segmentos e a região de contato se altera de acordo com a direção e posição de movimento do anel de regulação. Adicionalmente é mais importante o contato uniforme, que garante a distribuição adequada da pressão sobre os mancais autolubrificantes, do que uma folga mínima.

B) Como causa do dano foi atribuída como uma discrepância no ajuste das taxas de amortecimento de fim de curso dos servomotores que provocavam a distribuição desproporcional das forças atuantes sobre o anel de regulação e, por consequência, sobre seus mancais de deslizamento. Pergunta-se: Os controladores foram modificados? Como pode ser garantido que esta discrepância não ocorra novamente?

Primeiramente esclarecemos que a discrepância citada foi a primeira suspeita levantada pelo fabricante, porém que não se confirmou como causa do evento. Após as análises computacionais o fabricante concluiu que a causa raiz do problema é a baixa rigidez do anel de regulação que possibilita a sua deformação elástica além do estimado em projeto e causa pressões localizadas nos mancais lubrificantes acima do tolerado pelo material. Quanto aos controladores, os mesmos foram apenas reajustados. Nas inspeções bienais são realizados testes para monitorar individualmente a pressão nas quatro câmaras dos servomotores, bem como o curso de esmagamento de cada servomotor.

C) Quais ensaios de campo serão realizados para validação do modelo computacional?

Serão instalados sensores de deslocamento (proximidade) radiais e axiais e "strain gages" para medições das deformações e tensões mecânicas atuantes no anel de regulação em várias condições operativas. Com estes dados o modelo matemático será ajustado e validado.

3.16 - ESTUDO PARA APROVEITAMENTO DE POTENCIAIS REMANESCENTES EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS POR MEIO DA UTILIZAÇÃO DE GRUPOS DE BAIXO CUSTO - BFT (BOMBA FUNCIONANDO COMO TURBINA)

VASCONCELLOS, B.T.C.D.(1);SANTOS, I.R.B.D.(1);JÚNIOR, O.H.D.S.(1);FILHO, G.L.T.(1);PROCOPIAK, L.A.J.(2); - UNIFEI(1);COPEL(2);

Este artigo propõe a implementação de Bombas Funcionando como Turbinas (BFT) e Geradores de Indução (GI) como alternativa de exploração do potencial remanescente em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH). Esta alternativa pode ser aplicada também nos casos de instalações de máquinas novas, complementação e/ou em substituição a unidades geradoras mais antigas de menor rendimento, ou mesmo máquinas cuja operação tenha sido limitada a condições parciais de funcionamento devido a fatores externos relacionados à afluência de vazão. Objetiva-se também avaliar os gargalos e os problemas inerentes à esta implementação, propondo soluções que visem a manutenção dos padrões pré-estabelecidos de geração para usinas hidrelétricas.

Perguntas e respostas:

A) Qual a eficiência de BFTs e Geradores de Indução (GIs) em relação a turbinas e geradores convencionais de mesma potência?

Em relação à eficiência de Bombas Funcionando como Turbinas (BFTs) e Geradores de Indução (GIs), é importante salientar que o rendimento de um grupo BFT é inferior, ou no máximo, igual ao da bomba funcionando como tal. Dessa maneira, para se obter o mesmo rendimento, o grupo BFT deve operar com vazão e queda superiores aos valores nominais da bomba (com a mesma rotação). Portanto, a comparação entre BFT e geradores de indução em relação a turbinas e geradores convencionais de mesma potência não é a análise adequada para a verificação da possibilidade de sua implantação. O ideal é selecionar um grupo BFT, em função da altura e queda disponíveis, que propicie a mesma eficiência de uma turbina, independente da potência. Além do mais, a literatura científica traz diversos avanços em relação à utilização das BFTs, tais como: o aumento da eficiência da sua operação, os quais já superam 85 [%], e diversas adaptações no rotor e na caixa espiral, permitindo-se ainda mais este tipo de aplicação. Acrescenta-se também que, como a alternativa apresentada se trata da aplicação no aproveitamento de potenciais remanescentes de centrais, o enfoque é agregar mais potência instalada às centrais, bem como ter um ganho de eficiência na geração, e a implantação de novas turbinas é inviável economicamente para estes casos.

B) Como poderia ser feito o controle de tensão em Geradores de Indução em condições normais de operação e durante perturbações? Poderiam citar exemplos de aplicação de BFT no sistema elétrico nacional?

No Brasil existem instaladas e em operação duas Centrais de Geração Hidráulica (CGHs) com Bombas Funcionando como Turbinas (BFTs) e Geradores de Indução (GIs). Os dois casos foram pesquisas realizados por meio de um Convênio de Cooperação Técnica ? Financeira, firmado entre a Universidade Federal de Itajubá e o

Ministério das Minas e Energia, para atender o Programa Luz para Todos. O primeiro caso ocorreu em um aproveitamento na Fazenda Boa Esperança, localizada no município de Delfim Moreira/MG, com potência de 40 [kW], e o segundo no Parque Estadual da Ilha Anchieta, em Ubatuba/SP, cuja potência gira em torno de 6 [kW]. No Brasil, são crescentes os estudos desse tipo de aplicação como microgeração distribuída. Entretanto essa técnica ainda é pouco explorada no formato que está sendo proposto neste artigo, como sendo uma alternativa de aproveitamento de potenciais remanescentes em centrais interligadas no Sistema Interligado Nacional (SIN), havendo necessidade de estudos mais aprofundados para tal. Para geração de energia em micro-aproveitamentos, em sistemas isolados, têm-se geralmente a utilização de geradores síncronos. Os geradores nacionais com rotação de 1800 [rpm] para potências inferiores a 50 KW, alimentando circuitos trifásicos têm rendimentos de 75 [%] a 90 [%]. No caso do controle da rotação, para esse tipo de alternativa, na qual se deseja ter um custo reduzido, a melhor maneira é operar com válvula de entrada totalmente aberta, fornecendo a máxima energia hidráulica. Quanto à regulagem de carga, a literatura científica, bem como os trabalhos realizados na Fazenda Boa Esperança/MG e Ilha Anchieta/SP, apresenta a regulagem do sistema sendo feita por meio de um regulador de carga simples e de baixo custo, que mantém a energia elétrica constante, utilizando em função da curva de carga da propriedade rural a energia excedente para outros fins agrícolas como secagem de grãos, aquecimento de água, entre outros. Neste regulador, são usados circuitos eletrônicos de controle para manter a frequência e tensão constantes e também a rotação do grupo. Em relação à utilização de geradores de indução assíncronos na geração de energia, tem-se que esta alternativa vem crescendo nos últimos anos, principalmente com a expansão dos geradores eólicos, os quais operam com frequência variável. No entanto sua aplicação em sistemas de geração hidráulica deve ser melhor analisada, buscando definir as especificidades desta aplicação visando sua viabilidade técnica e econômica. Comparado ao gerador síncrono tradicionalmente utilizado o gerador assíncrono apresenta como vantagens como o custo reduzido e a simplicidade de sincronismo ao sistema interligado. No entanto o controle de tensão e frequência deve ser analisado, visto que o gerador de indução é mais susceptível a variações de carga.

C) Considerando que muitos fabricantes não fornecem a curva de desempenho para uma BFT, este não seria um fator limitante para a sua utilização?

O não fornecimento da curva de desempenho para a BFT pelos fabricantes não é um fator limitante para a sua utilização, visto que os fabricantes fornecem as curvas de desempenho para a bomba, sendo isto suficiente para maioria dos métodos de seleção de BFT.

3.17 - PROGRESSOS NO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ISOLAMENTO PARA ENROLAMENTOS ESTATÓRICOS PARA GERADORES DE ALTA TENSÃO BASEADO NO USO DE NANO-COMPÓSITOS

HILDINGER, T.(1); - VOITH(1);

O rápido crescimento do segmento de energia renováveis intermitentes e/ou voláteis alterou e continua alterando solicitações dos operadores do sistema elétrico para as usinas elétricas em operação e em construção ou planejamento. O regime de carga de ponta altamente flexível combinado à queda dos preços da energia em vários mercados de eletricidade exigem novas soluções de projeto de geradores para atender às atuais e futuras demandas do mercado. Como os enrolamentos estatóricos de alta tensão são os componentes mais importantes dos geradores de grande porte, há alguns anos foi iniciado um programa de pesquisa fundamental para a utilização da nanotecnologia com o objetivo de melhorar as propriedades do sistema de isolamento, mais especificamente a isolamento principal. Foram realizados testes de triagem química e elétrica com nano-partículas esféricas de SiO₂ para descobrir um nano-compósito compatível com a matriz epóxi-mica que pudesse ser utilizado no sistema de impregnação a vácuo e pressão (VPI). Quando testada e comparada em corpos-de-prova de formato tubular de 0,6 m de comprimento e revestidos com o sistema original de isolamento em epóxi-mica, a nova isolação com nano-compósitos de SiO₂ apresentou uma curva de vida útil elétrica com menor inclinação em comparação com o sistema de referência (Micalastic®) já estabelecido e comprovado para enrolamentos, resultando em uma significativa melhoria da vida útil nas tensões (elétricas) nominal e operacional. Como passo seguinte no desenvolvimento, foram fabricadas barras estatóricas originais com parâmetros de projeto típicos para hidrogeradores. Foram realizados testes de envelhecimento em diferentes tensões para a determinação das curvas de vida útil elétrica. Os primeiros resultados comprovam uma vida útil significativamente maior da isolação contendo os nano-compósitos em comparação com os sistemas de isolação atualmente utilizados. A utilização de nano-partículas de SiO₂ na isolação de epóxi-mica permitirá criar um sistema de isolação para enrolamentos estatóricos mais eficiente, o que não apenas melhorará a sua potência específica, como também se adequará com perfeição às novas demandas de alta flexibilidade das redes elétricas sem qualquer prejuízo da vida útil da isolação.

Perguntas e respostas:

A) Primeiramente gostaríamos de parabenizar os autores e a empresa pelo desenvolvimento apresentado neste artigo. Os autores citam que o ganho em MVA pode ser na ordem 10 a 15%. Em serviços de reabilitação com aumento de potência, quando se substitui um enrolamento em Classe B para F, com tecnologia de isolação atual estima-se ganho de 20 % e com a tecnologia apresentada neste artigo, o ganho pode chegar a 35 %. Os autores poderiam comentar?

Inicialmente, gostaríamos de agradecer as honrosas palavras de apoio do relator a esse desenvolvimento. De fato um aumento de potencia da ordem de 15% a 20% é bastante comum em projetos de modernização envolvendo a substituição do enrolamento antigos (eventualmente em conjunto com o núcleo) do estator por novos enrolamentos em Classe 155 (ou F). A tecnologia em desenvolvimento, visando aperfeiçoar o sistema Micalastic® atual (Classe 155), através do uso de nano-partículas, tem como objetivo permitir um aumento de até 30% na solicitação dielétrica (kV/mm) da isolação principal, sem diminuir a expectativa de vida útil. Assim, em tese, no caso de modernização envolvendo a troca do enrolamento do estator, seria possível combinar os dois efeitos e atingir um ganho na faixa de 35%, sob o ponto de vista técnico. No entanto, como haverá um aumento de torque na mesma medida se os demais componentes do gerador podem suportar esse aumento. Da mesma forma, a corrente de excitação também irá aumentar (na ordem de 15% a 20% se o fator de potencia e o entreferro forem mantidos) e, portanto, é preciso se o enrolamento de excitação, as escovas e a excitatriz são ainda adequados para a nova potencia; eventualmente precisarão ser alterados, adaptados ou mesmo substituídos. E, finalmente, é preciso considerar que, embora as grandezas características (reatâncias, constante de inercia etc.) permaneçam (aproximadamente) constantes em unidades físicas, os valores relativos (pu) irão se alterar e o impacto dessas alterações na estabilidade da máquina e nas falhas (curtos etc.).

B) Para máquinas novas este ganho de 10 a 15 % em MVA pode ser revertido em máquinas mais leves com custos menores ou em máquinas com mesmo dimensional e com rendimento melhor. Os autores poderiam comentar sobre o ganho porcentual em custo, e também em rendimento?

Alcançado o objetivo do projeto de desenvolvimento, i.e., aumento de até 30% na solicitação dielétrica (kV/mm) da isolação principal, sem diminuir a expectativa de vida útil e explorando-se todo o potencial de uma isolação principal mais fina no sentido de aumentar a densidade de energia e reduzir o volume e a massa da máquina como um todo, espera-se uma redução dos custos diretos (ou seja, sem considerar custos com design e ferramentas) da ordem de 8% a 10%. Se por outro lado, todo o benefício da redução da espessura da isolação principal for direcionado para reduzir perdas mantendo-se (de forma geral) o volume da máquina, a estimativa é de uma redução de até 20% nas perdas. Vale lembrar que, dentro da ranhura, todo o volume liberado por uma isolação menos espessa pode ser preenchido com cobre e/ou aço-silício reduzindo, assim, as perdas no enrolamento do estator e no núcleo. Dessa forma e graças a melhor condução de calor proporcionada por uma isolação mais fina, pode-se, eventualmente, reduzir a vazão de ar e consequentemente também as perdas por atrito (ventilação).

C) Segundo nossa avaliação dos gráficos apresentados neste artigo, o VEI aparenta ser maior para as amostras feitas em tubos quando comparado a amostras feitas com barras de secção transversal real. Seria esta diferença devido ao campo elétrico mais homogêneo nos tubos e menos nas barras onde se tem um aumento do campo elétrico nos cantos?

Correto. Nos tubos a distribuição de campo elétrico é bastante homogênea e dessa forma também a solicitação dielétrica na isolação, sem o clássico efeito das bordas que se observa em barras e bobinas de secção transversal (aproximadamente) retangular. E, também, pode haver alguma influencia menor do melhor ?acamamento? das fitas de mica no perfil circular/cilindrico dos tubos em comparação com o perfil retangular/paralelepípedo das barras e bobinas. A opção por usar tubos nas etapas iniciais de desenvolvimento deve-se aos custos que são significativamente menores (fator 10 a 100) em comparação aos custos de barras e bobinas. Mas, a qualificação e homologação do novo sistema serão feita em barras e bobinas reais, tal como indicado nas normas IEC.

3.18 - UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE PARA GERENCIAMENTO DE ATIVOS EM PLANTAS HIDRÁULICAS

BOTURA, V.(1);FIDELIS, A.S.(1);SANTOS, E.M.B.(1);FIGUEIRO, S.(1); - AES Tiete(1);

Apresentamos neste trabalho os benefícios alcançados com o gerenciamento de ativos em Usinas Hidroelétricas utilizando instrumentos inteligentes e software de gerenciamento. Descreveremos os equipamentos, arquiteturas, uso das ferramentas do software para diagnóstico dos equipamentos, a influência do gerenciamento na manutenção preventiva, as facilidades e rapidez no comissionamento dos instrumentos nos projetos novos e modernizações e os benefícios financeiros alcançados com a otimização das paradas das Unidades Geradoras e equipamentos.

Perguntas e respostas:

A) Que critérios são usados para a pré-seleção das informações pelos instrumentos inteligentes e barramentos de campo, antes do seu envio para o software de gerenciamento?

Não sei se entendi corretamente a pergunta, mas vou tentar responder. Um dos critérios adotado é o protocolo de comunicação HART, as outras características dos instrumentos e informações não temos um padrão, são definidas conforme o processo e local de instalação do instrumento.

B) Que tipo ou tipos de protocolo, além do sinal elétrico dos laços de corrente, podem ser incorporados nos instrumentos inteligentes?

O software AMS usa os seguintes protocolos: HART; WirelessHART; FOUNDATION fieldbus e Profibus

C) Qual foi a redução no tempo de comissionamento das unidades geradoras com a utilização do software de gestão de instrumentos?

O tempo pode ser alterado com a posição de instalação dos instrumentos e a quantidade de instrumentos instalados em cada Unidade Geradora. Quando se inicia um projeto pioneiro, temos um ganho de 2 a 3 dias no comissionamento. Quando o projeto é replicado para outra Unidades Geradoras semelhante, existe uma redução de aproximadamente 7 dias no comissionamento.

3.19 - ANÁLISE DE DESCARGAS PARCIAIS, TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA, TANGENTE DE DELTA E HISTÓRICO DA MÁQUINA: UMA ABORDAGEM ALÉM DO ENVELHECIMENTO DO ISOLANTE

FERREIRA, R.F.(1);Junior, H.d.P.A.(2);Rodrigues, T.B.(2); - ELETROSUL(1);CEPEL(2);

A análise de descargas parciais é um recurso importante para análise de qualidade e diagnóstico de sistemas de isolamento. Tão importante quanto a magnitude da atividade de descargas parciais é a tendência desta atividade ao longo da vida do isolamento. Em isolamentos novos, entretanto, algumas vezes este diagnóstico fica prejudicado devido ausência de dados para montar uma tendência. Este artigo vai mostrar o estudo de caso de duas usinas hidrelétricas em que os ensaios complementares de tangente de delta, capacitância, descargas parciais offline e temperatura de transição vítreas deram subsídios para o diagnóstico do sistema de isolamento e mostraram fatores importantes, fragilidades, que devem ser acompanhadas ao longo do tempo.

Perguntas e respostas:

A) No caso da UHE caso 1 que apresentou valores elevados de tg delta pergunta-se como é o regime de operação desta máquina se opera no limite com alta temperatura e se também sofre oscilações de carga ao longo do dia.

Não há variação de carga ao longo do dia. O rio tem um regime flat sem muitas oscilações. A temperatura, na potência nominal, não excede 60 °C.

B) No caso da UHE caso 2 onde as barras falharam e se constatou problemas na fabricação da máquina pergunta-se se não seria necessária uma revisão na especificação de compra e reparo terceirizado de modo a aumentar a garantia do equipamento?

Foi verificado uma falha de montagem. Houve um decisão de diretoria em reduzir o nível do ensaio de tensão aplicada e evitar a desmontagem completa do núcleo. Deste modo evitou-se atrasos na entrada em operação da máquina. A garantia do equipamento foi estendida de dois para três anos. Atualmente a máquina opera sem restrições, mas a engenharia não recomenda ensaios de alta tensão nesta máquina.

C) Quais as vantagens e desvantagens do sistema IMA DP e do sistema IRIS em termos de operação, configuração e assistência técnica do fornecedor?

O IMADP é muito barato e atende ao propósito de medição de DP. Quando o nível de DP é muito baixo (verificado em outra usina) fica difícil de ler. O IMADP pesa 300 g, você pode levar até no bolso lateral da calça. O TGA-B da IRIS tem sistema de separação de ruído, o que torna a leitura do resultado muito fácil, inclusive para técnicos e engenheiros inexperientes. O mala de aquisição é pesada. A assistência técnica de ambos é excelente. Como a Eletrosul e Cepel fazem parte do grupo Eletrobrás, é comum recebermos o cepel para realizar medições online e offline a custo módico. Ambos são fáceis de configurar. A Iris já tem tudo documentado. O cepel ainda precisa documentar o IMADP.

3.20 - MONITORAMENTO REMOTO DE DESEMPENHO DE ESTRUTURAS HIDRÁULICAS ATRAVÉS DA AUTOMAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS, FERRAMENTAS DE ANÁLISE E RESULTADOS

JR, D.C.M.(1);OLIVEIRA, I.C.D.(1);HENKLEIN, E.D.(2); - COPEL(1);ENERGIA(2);

Neste trabalho é apresentado um estudo sobre a automatização do sistema de coleta e tratamento dos dados provenientes de instrumentos de auscultação instalados em barragens de usinas hidrelétricas. Baseado em uma arquitetura conceitual, são apresentados os instrumentos, equipamentos de aquisição de dados (dataloggers), sistemas supervisórios, comunicação e disponibilização das informações para o usuário final. Na sequência são apresentados os sistemas instalados em usinas da Copel GeT, e com base na experiência adquirida é analisado o atendimento do sistema para fins de avaliação da segurança das barragens. Por fim, considerações sobre as características técnicas deste sistema e perspectivas futuras fecham o escopo deste informe técnico.

Perguntas e respostas:

A) Percebe-se, pelo exposto no artigo, que os sistemas de aquisição de dados podem ser multiplexados. Qual o intervalo máximo admitido para a coleta de dados dos sensores instalados nas barragens?

Dos sistemas apresentados, somente UHE Mauá emprega multiplexação. São dois MUX 1/16. Entre estes e o DATALOGGER é utilizado um conversor VW/4-20mA* de dois canais, de forma que um canal atende 9, e o outro 16 sensores. Os pulsos de sincronismo dos multiplexadores (e a taxa de aquisição) são variáveis, e são determinados pelo DATALOGGER (parametrizado remotamente pelo usuário). No uso da multiplexação há vantagens e desvantagens. A principal vantagem é a otimização de um único DATALOGGER, com a utilização de um número de canais muito menor (2) que a capacidade de sensores instalada (9+16). A principal desvantagem é a obrigatoriedade de parametrização coletiva no intervalo de amostragem de um grupo de sensores. Não é permitida a parametrização individual da taxa de aquisição de cada sensor. Apesar desta característica, as taxas de aquisição podem ser parametrizadas em uma ampla gama de valores e são determinadas pela engenharia civil (cliente final dos dados auscultados), conforme diversas demandas e estudos ao longo do projeto. Durante a construção, há sensores aquisitados de hora em hora. Numa barragem auscultada há muitos anos, o período entre leituras pode ser quinzenal. No sentido oposto, o menor período de aquisição de um sistema multiplexado é limitado pela soma de todos os tempos mínimos de aquisição individuais (por sensor VW*) multiplexados em único canal. Estes tempos mínimos individuais não podem ser confundidos com o tempo mínimo de quantização digital e leitura de um canal do DATALOGGER (4-20mA). Estes períodos são limitados pelo tempo mínimo de excitação/auscultação (32 PLUCK / 128 LISTEN typ.) de cada sensor de corda vibrante, que operam em diversas frequências (sempre faixa de áudio), com períodos da ordem de algumas centenas de milissegundos - por ciclo de leitura. (*VW ? Vibrating Wire ? Sensores baseados em variação da ressonância de corda vibrante)

B) Qual o volume médio de dados coletados por estes sistemas, para uma usina como Salto Caxias, em 1 ano de medições? Já se avaliou o armazenamento destes dados em nuvem?

A frequência de aquisição varia muito conforme a fase do projeto, o regime hidrológico ou algum estudo específico em andamento. Atualmente, são efetuadas leituras a cada 15 dias, considerando que são aproximadamente 170 instrumentos automatizados, em um ano são obtidas 4080 medições. A base de dados total, formada ao longo de 19 anos de monitoramento da barragem de Salto Caxias (incluindo todos os dados aquisitados e calculados), ocupa em torno de 1 Gbyte. Quanto ao armazenamento em nuvem, esta opção não foi considerada por questões de segurança da informação.

C) A COPEL realiza algum estudo de correlação de dados de condições de barragens com comportamento dinâmico dos equipamentos eletromecânicos (turbinas e geradores)?

Não há demanda para este tipo de estudo atualmente. Nenhuma das usinas da COPEL tem configuração física que demande auscultação de instrumentação na barragem e casa de força simultaneamente. O monitoramento ou auscultação é concentrado em especial nas barragens mesmo, independentemente da geração de energia propriamente dita.

3.21 - MONITORAMENTO DO BAIXO ISOLAMENTO NO MANCAL DO COMPENSADOR SÍNCRONO CS01 STVT.O

BESSA, A.R.(1);HENRIQUES, F.D.S.(2);OLIVEIRA, R.C.(2);ÁVILA, F.C.G.(2);JUNIOR, L.C.D.M.(2); - UFES(1);FURNAS(2);

Este trabalho foi baseado na apuração da falha do compensador síncrono CS01 da subestação de Vitória ? STVT.O, pertencente a Furnas Centrais Elétricas - FURNAS, detectado durante a inspeção de rotina, onde a equipe de operação da subestação observou que a isolação do eixo havia diminuído. A origem e o monitoramento desta falha fogem aos padrões de ação recomendados pelo fabricante. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é divulgar a descoberta da origem deste problema, alertando os demais agentes do setor elétrico e compartilhando a solução desenvolvida pela equipe de engenharia de FURNAS para seu monitoramento.

Perguntas e respostas:

A) O item "1.0- Introdução" menciona que o compensador síncrono CS02 encontra-se em fase de montagem. Quais modificações estão sendo inseridas no CS02 para evitar a recorrência do defeito observado no CS01?

O projeto de melhora do monitoramento apresentado nesse artigo ainda está em fase de desenvolvimento, porém, após a conclusão, serão aplicados às duas máquinas, CS01 e CS02. No entanto, para a máquina CS02 está em fase de pesquisa no mercado uma isolação para o mancal que seja mais eficiente.

B) Para máquinas deste porte e com requisitos de disponibilidade altos, caso dos compensadores síncronos, foi avaliada a viabilidade de um sistema de monitoramento on-line de corrente no eixo? Este sistema permitiria um correto diagnóstico da possível circulação de corrente decorrida da falha do isolamento dos mancais.

O sistema de monitoramento existente permite um diagnóstico local desta corrente, mas está sendo viabilizado alguns pontos de melhorias para modernizações das unidades em questão incluindo o monitoramento on-line.

C) Os mancais do compensador CS01 possuem sistema de injeção forçada? Durante uma parada em emergência, quais são as premissas adotadas para garantir o suprimento de óleo aos mancais?

Sim os mancais possuem um sistema de injeção constituído de duas bombas uma para cada mancal, dianteiro e traseiro. O óleo armazenado nas caixas dos mancais é suficiente para a injeção forçadas nos mancais onde é pressurizado a 60bar. Numa condição de emergência quando o sistema opera abaixo de 50% da velocidade nominal aciona a lubrificação forçada.

3.22 - ANÁLISE DE SINAIS DINÂMICOS PARA DETERMINAÇÃO DA CAUSA RAIZ DE FALHA EM UM CONJUNTO GERADOR DE 120 MW

FRARI, R.V.D.(1);CIBULSKI, L.J.(1);ROSARIO, N.R.D.(1);CARLOTO, T.D.A.S.(1);FEITOSA, P.H.S.(1); - TBLE(1);

O presente artigo tem como objetivo apresentar o estudo para identificação da causa raiz do desprendimento de uma chaveta tangencial do anel magnético de um hidrogerador Kaplan de 120 MW. Este componente adentrou a região do entreferro com a unidade em operação, ocasionando um curto-circuito bifásico no gerador. As análises foram embasadas no histórico dos sinais dinâmicos de entreferro e vibração, coletadas através do sistema de monitoramento instalado na unidade, assim como nos procedimentos realizados para reestabelecimento das condições de projeto, visando garantir o retorno seguro do conjunto gerador ao sistema interligado.

Perguntas e respostas:

A) Porque mesmo após as correções os valores de vibração para o MGG, ME e MGT, com a máquina excitada, foram superiores aos valores verificados antes da falha em uma das chavetas do anel magnético?

Não podemos fazer uma análise conjunta dos mancais neste caso, sendo assim segue explicação específica para cada um deles: - No caso do MGG, salientamos que principalmente com o reposicionamento do estator, o rotor voltou para o centro magnético, assim como para o centro dos mancais, eliminando o efeito do empuxo magnético desbalanceado. Este esforço fisicamente limitava a oscilação do eixo, forçando este contra uma região fixa do mancal, como pode ser visto nas análises de temperatura. Quando este efeito foi eliminado, o eixo ficou mais livre, principalmente na região do MGG, por ser o mais próximo do rotor do gerador. Para solucionar isto poderia ter sido realizado em novo balanceamento, porém os valores foram considerados aceitáveis para operação segura da máquina. - No caso do ME, entendemos que o mesmo pode ser justificado em partes pelos mesmos motivos do MGG, visto que o eixo ficou mais livre para oscilar. Normalmente no comissionamento é feito o balanceamento magnético (com excitação em tensão nominal), porém as normas não se aplicam para o caso específico do mancal de escora, quando este não possui sapatas de guia, sendo assim não haveria uma referência a ser seguida. - O MGT é um dos mancais menos afetados pelo balanceamento do rotor do gerador e mais pelos efeitos hidráulicos, porém o fato de se corrigir a verticalidade do conjunto com certeza pode ter contribuído para um aumento na oscilação do eixo neste ponto. Também durante a oportunidade tivemos dificuldades em estabilizar o valor de oscilação do eixo para obtenção das leituras. Durante o comissionamento foi verificado que a maior parte da vibração do MGT estava relacionado com a conjugação das pás do rotor Kaplan, as quais ficavam variando de posição durante uma mesma condição operacional, chegando a dobrar a oscilação em certas condições. O fato foi levado ao fabricante para maiores estudos, porém em uma intervenção na outra UG da planta foi realizado um teste reduzindo a folga do MGT, trazendo bons resultados, sendo a correção replicada posteriormente para a UG2.

B) As maiores amplitudes dos sinais de vibração relativa dos mancais, obtidos através dos sensores de proximidade, terem sido verificadas com a máquina em vazio e excitada, e não para a máquina em carga não seria devido ao fato da máquina estar operando subexcitada nesta última condição?

A simulação foi realizada com a máquina nas condições em vazio e excitada para verificar a contribuição da excitação na posição do eixo, devido ao empuxo magnético desbalanceado. Independente do fator de potência, a condição em carga tem uma relevância menor, pois como a excitação já está presente, a variação no empuxo magnético é menor durante os patamares de carga do que na transição entre os regimes em vazio para excitada.

C) Porque o desalinhamento do eixo afeta mais as medições do ME na posição zero graus do sensor de proximidade, em relação as medições obtidas no MGG e MGT?

Não houve o entendimento sobre o questionamento, sendo assim se possível esclarecer em que condições esta comparação foi realizada ou em que casos esta diferença foi percebida pelo autor da pergunta. Não houve uma medição específica comparando a posição do eixo antes e após a correção do alinhamento, mas sim uma comparação após a correção na concentricidade do estator/rotor, realizada com o reposicionamento do estator nas condições de giro em vazio e giro em vazio excitado. Estas comparações foram feitas para se detectar o deslocamento do eixo, quando a excitação ficava ativa. Neste caso o eixo sofria um maior deslocamento no mancal de escora, principalmente no sensor de zero graus, indicando uma alteração na posição de giro do eixo. A justificativa para isto se dá em função de que o menor entreferro estava na região de zero graus (montante) da UG, porém o deslocamento fica atrelado a região do menor entreferro. Outra justificativa que permitiu um maior valor comparando com os outros mancais é a ausência de sapatas de guia no Mancal de Escora, ou seja, este não é um mancal combinado, tendo a função exclusiva de sustentar o peso da máquina, porém não guiá-la, como o caso do MGG e do MGT.

3.23 - INTEGRAÇÃO DO SISTEMA DE SUPERVISÃO COM O SISTEMA DE MONITORAMENTO PARA ANÁLISE PREDITIVA NAS UNIDADES GERADORAS DA UHE SAMUEL

MOREIRA, D.C.(1);PIRES, D.S.(2);MATIAS, D.G.(2);SOUZA, J.C.D.(2);SENA, J.A.S.(2);LOBATO, I.M.(2); - ELETROBRAS ELETRONORTE(1);ELN(2);

O objetivo deste trabalho é apresentar uma solução de engenharia, de baixo custo e simples implementação, adotada pela Eletrobras Eletronorte para integração do Sistema de Supervisão (BluePlant) com o Sistema de Monitoramento de Máquinas e Equipamentos (SIMME) da Usina Hidrelétrica de Samuel para realização de análises preditivas com maior confiabilidade.

Perguntas e respostas:

A) Porque na integração do sistema de supervisão (BluePrint) com o sistema de monitoramento de máquinas e equipamentos (SIMME), de acordo com o trabalho, foram disponibilizados os sinais de vibrações dos mancais e não de outras grandezas, possibilitando uma avaliação mais ampla das condições de operação dos geradores?

Está disponível todas as grandezas analógicas e digitais, tanto do SIMME quanto do BluePlant. Para o BluePlant, o SIMME disponibilizou apenas as grandezas de vibração, pois foi a solicitação da operação neste primeiro momento. O SIMME também recebe todos os valores analógicos e digitais. Há um trabalho em andamento visando o tratamento desses dados.

B) Porque foi escolhido o protocolo Modbus/TCP para fazer a integração dos sistemas e não outro protocolo com o Fieldbus ou Profibus, entre outros?

O protocolo Modbus/TCP foi implementado por ter licença grátis já que não haveria investimento para este trabalho.

C) O sistema supervisor além da implementação da função alarme possui também a função de proteção?

Não possui função de proteção pela filosofia adotada pela equipe da Eletronorte.

3.24 - ANÁLISES E PROCEDIMENTOS PARA RECUPERAÇÃO DE DANOS EXTENSOS EM NÚCLEO ESTATORICO DE MÁQUINAS SÍNCRONAS DE GRANDE PORTE - UM CASO EM PARTICULAR.

CUYABANO, T.C.D.(1);FEITOSA, P.H.S.(2);FERRAZ, L.M.(1);MOURA, H.B.(2); - Andritz Hydro(1);TRACTEBEL ENERGIA(2);

A ocorrência de falta bifásica em um hidrogerador síncrono de 120 MW causou dano severo ao núcleo do estator, ocorrendo fusão de material. Originalmente empilhado de forma contínua, o núcleo não permitiria simples substituição das lâminas danificadas, e as técnicas de reparo tradicionais não logariam recuperar o equipamento sem trazer limitações operacionais. Buscando evitar extensos prazos de indisponibilidade, foi adotada uma solução inovadora que consistiu na remoção de um bloco completo do núcleo, com posterior reposição de lâminas e reinstalação do enrolamento. O núcleo ficou parcialmente segmentado na área recuperada e foi ensaiado para comprovar a efetividade do trabalho executado.

Perguntas e respostas:

A) Foi feita uma pesquisa para se determinar a causa do desprendimento da chaveta que causou o dano no estator e rotor?

Sim, nas inspeções de campo foram coletados dados diretamente no equipamento e também registros de operação dos sistemas de monitoramento. Posteriormente, utilizando os dados obtidos, a engenharia de geradores da Andritz realizou cálculos simulando as condições da máquina para detectar o que estava ocorrendo. Ao final foi elaborado um relatório de análise de causa-raiz.

B) Foram realizadas inspeções nas demais chavetas? Foi criado algum procedimento para inspeção periódica destas chavetas?

Sim, todas as chavetas foram completamente inspecionadas, das duas unidades geradoras da casa de força, como medida preventiva. O procedimento de inspeção periódica já é previsto no manual de O&M e foi mantido. Os parâmetros de montagem que foram detectados como causa-raiz da ocorrência permanecem monitorados continuamente pelo sistema online existente nos geradores: circularidade e concentricidade de rotor e estator.

C) Como foi o processo de fixação do bloco de chapas laminadas novo no núcleo original?

O processo foi bastante estudado previamente à execução do serviço, com outros engenheiros e supervisores de campo, buscando detectar de antemão possíveis contratempos ou problemas que viessem a surgir. Alguns testes prévios de corte de lâminas foram feitos em fábrica para adequar o tipo de ferramenta ao material. Em campo, a montagem e fixação do novo conjunto de lâminas foi executado conforme planejado, e como se tratava de um reparo, foi bastante customizado para aquele caso. Houve uso de chapas de suporte auxiliares e macacos até que todas as lâminas de aço silício novas tivessem sido inseridas, fixadas e prensadas pelos flanges e dedos de aperto definitivos do estator.

3.25 - OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE USINAS HIDROELÉTRICAS EM ÁGUAS EXTREMAMENTE POLUÍDAS

TORREZÃO, E.D.N.(1); - EMAE(1);

Com o crescimento populacional o sistema hidroelétrico foi envolto por centros urbanos e sua finalidade, aos poucos, foi mudando, além de geração de energia elétrica para atenuador de problemas de poluição e de enchentes das regiões metropolitanas que compõe a Grande São Paulo, constituindo-se em segundo ponto de escoamento das águas da bacia hidrográfica regional. A seguir serão descritas as diversas experiências obtidas com componentes de unidades com mais de 60 anos de uso e em águas poluídas, os problemas observados e as soluções adotadas para restabelecer a confiabilidade e as condições de trabalho

Perguntas e respostas:

A) O grande problema da poluição no Brasil é evidenciado neste trabalho. Não teria como promover cursos de educação ambiental nas redondezas dos reservatórios de modo a reduzir esta cultura de dispensar embalagens plásticas no leito dos rios próximos a estas Usinas?

A bacia dos Rios Tiete e Pinheiros fica em um área densamente povoada que corta a grande a Grande São Paulo. Neste caso teria que haver um grande programa governamental para tentar mudar a cultura e postura da população. Sim esta seria um ads asidas para resolver o problema além da melhoria dos serviços de coleta.

B) Já se experimentou utilizar telas rotativas com retrolavagem para o recolhimento do lixo antes que passem para impeller das bombas?

Sim já é utilizado na Usina Termica da Empresa, porem a tela rotativa apresenta a desvantagem da manutenção, poi temos sérios problemas com o mecanismo na parte

submersa, sendo que as máquinas de limpar grades convencionais, com as devidas adaptações tem se mostrado bastante eficientes.

C) Poderia explicar melhor como funciona a modificação do anel ring feeder que substituiu os pinos de cisalhamento?

O anel ring feeder se assemelha a uma embreagem com escorregamento através de anéis metálicos, cuja pressão entre os anéis é determinado através de torque pré calculados nos parafusos de fixação destes anéis. Quando a pá diretriz recebe um esforço acima do normal, normalmente por segurança ela quebraria o pino de cisalhamento. Com o anel ring feeder ela escorrega sinalizando para o operador o ocorrido.

3.26 - COMPARAÇÃO ENTRE MEDIÇÕES DE DESCARGAS PARCIAIS EM BAIXA FREQUÊNCIA E EM ALTA FREQUÊNCIA PARA OS ESTADORES DE MÁQUINAS ELÉTRICAS ROTATIVAS

TEIXEIRA, M.D.A.S.(1);STONE, G.(1);SEDDING, H.(1); - IRIS POWER - QUALITROL(1);

O teste de Descargas Parciais (DP) tem sido usado por mais de 60 anos como um método para detectar o envelhecimento da isolamento do enrolamento do estator de motores e geradores maiores que 6 kV. Mais recentemente também tem sido usado por fabricantes de máquinas como meio de assegurar a qualidade do enrolamento. Embora ambos os testes online e offline usem os capacitores de alta tensão para detectar DP, os sistemas de medição de DP em uso funcionam tanto no regime de baixa frequência (menos de cerca de 1 MHz) como na faixa de frequência muito alta (30-300 MHz). Com referência a várias normas internacionais, trabalhos publicados, bem como algumas experiências aqui descritas, as vantagens e desvantagens das duas abordagens serão comparadas. Está claro que os testes de DP offline devem ser feitos na faixa de baixa frequência. Para testes online, qualquer método pode ser usado, mas o método de frequência muito alta tornou-se mais popular entre os usuários finais dos geradores, uma vez que eles mesmos podem executar e interpretar os resultados com um risco relativamente baixo de falsas indicações.

Perguntas e respostas:

A) É possível dimensionar um acoplador específico de acordo com os parâmetros R, L e C de uma máquina rotativa?

Sim é possível, porém não é viável economicamente. Os diversos ativos existentes possuem características diferentes. Fabricação de capacitores sobre encomenda, respeitando todos os requisitos de confiabilidade da IEC 60034-27-2 seria muito caro. Provável que inviável do ponto de vista financeiro.

B) Para se fazer uma boa monitoração de DP em máquinas poderiam ser instalados diferentes tipos de sensores ao mesmo tempo? Isto melhora a detecção dos efeitos da DP?

Entendo por diferentes tipos de sensores, diferentes tecnologias de detecção e análise de DP. Cada tecnologia de detecção de DP tem seus próprios filtros e diferentes equipamentos contadores de pulso. De qualquer forma seriam instalados diversos sistemas e sensores na mesma máquina, sem possibilidade de otimizar sensores e analisadores de dados.

C) Já que nos testes em LF que são mais usados em testes off line e mais susceptíveis a ruído, não seria conveniente desenvolver filtros para suprimir estes ruídos?

Poderia sim. Vale lembrar que as tecnologias LF hoje existentes e usadas em testes online necessita de especialista para a interpretação dos testes.

3.27 - METODOLOGIA PARA O DIAGNÓSTICO DE DEFEITOS EM HIDROGERADORES ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES EM SISTEMAS DE MONITORAMENTO PERMANENTE UTILIZANDO TÉCNICAS NO DOMÍNIO DO TEMPO E FREQUÊNCIA

MATSUO, T.K.(1);DIAS, R.A.(2);AVILA, S.L.(2);PENZ, C.A.(2);GRANADO, M.V.R.L.(2);COSTA, G.P.D.(2); - AQTECH(1);IFSC(2);

Este informe técnico apresenta uma metodologia para o diagnóstico de defeitos em hidrogeradores através da análise de vibrações em sistemas de monitoramento, utilizando técnicas no domínio do tempo e frequência. A base do monitoramento é composta por sensores de proximidade e acelerômetros, instalados nos mancais da unidade geradora, sensor de referência de fase (keyphasor) e hardware de digitalização. Os dados brutos coletados do sensoriamento são processados e organizados em forma de vetores de dados. Esses vetores são então analisados pelo algoritmo que realiza o diagnóstico da condição do hidrogerador e identifica as características dos defeitos da unidade geradora.

Perguntas e respostas:

A) Defeitos de instabilidade fluido dinâmica são muito mais comuns em turbo-máquinas e talvez o motivo pela não identificação da falha no artigo. De acordo com a experiência dos autores, há histórico prático de presença deste defeito em hidrogeradores?

O método proposto de fato não contemplou a detecção deste tipo de defeito, por isso também a não detecção na base analisada. Dentro do histórico de monitoramento da AQTech não temos a presença desse tipo de defeito confirmada.

B) A faixa de vibração associada aos vórtices (instabilidade hidráulica) também se encontra na faixa das frequências sub-harmônicas, sendo que este problema não está relacionado na lista de detecções. Devido a ambos defeitos estarem em regiões sub-harmônicas (com alguma possibilidade de sobreposição), qual seria estratégia utilizada para separar um defeito de rodopio de óleo de um defeito de instabilidade hidráulica da máquina?

Uma possível estratégia seria complementar o monitoramento com variáveis associada a pressões na caixa espiral e tubo de sucção. Variáveis essas previstas em sistemas de monitoramento mais completos.

C) Não é mencionada correlação dos dados de frequência com outros dados operacionais da máquina, isto não é feito na análise?

Na análise proposta não foram cruzados dados de operação das unidades geradoras. Um dos objetivos foi avaliar a resposta na ausência destes dados, pois nem todos os clientes possuem os dados integrados na planta. Contudo identificamos e entendemos que os dados da condição operativa das máquinas são imprescindíveis para um diagnóstico preciso.

3.28 - DIAGNÓSTICO DE FALHAS POR MONITORAMENTO DE PARÂMETROS DA FUNÇÃO GERAÇÃO EM HIDROGERADOR DA UHE CANASTRA: INOVAÇÃO EM HARDWARE E SOFTWARE, APLICAÇÕES E TESTES PRELIMINARES

FREITAS, F.L.(1);MARQUES, V.A.(2);FORTUNATO, E.M.(3);BORBA, B.D.(4);MATSUO, T.K.(5);DECKER, I.C.(6);SILVA, A.S.E.(6);GRILLO, L.O.S.(6);CABRERA, B.P.(6);RODRIGUES, J.M.(7); - AQTECH(1);AQTECH(2);AQTECH(3);AQTECH(4);AQTECH(5);UFSC(6);CEEI(7);

Este informe técnico descreve um protótipo em desenvolvimento para diagnóstico de falhas por monitoramento de parâmetros da função geração. Entre as aplicações a serem implementadas está o diagnóstico de falhas do gerador síncrono baseado no método de identificação de parâmetros, que possibilita o monitoramento da condição estrutural da máquina e a predição de falhas. O artigo descreve uma nova abordagem para a identificação de parâmetros da máquina síncrona, que é realizada com base na aquisição de dados com a máquina em operação normal e conectada ao sistema.

Perguntas e respostas:

A) Este método de identificação de parâmetros proposto neste artigo para determinação de Rs, Ld, Lq, Ll, Lmd, Lmq e Rf aparenta ter muita boa aproximação com os valores reais. Não seria o caso de utilizar este método para determinar estes valores durante o comissionamento das máquinas, validando assim os dados fornecidos pelos fabricantes?

O método proposto em sua forma atual usa dados do gerador em operação quase em regime permanente. Portanto, ele fornece apenas a estimativa de um subconjunto dos parâmetros fundamentais. Desta maneira, no momento não é possível determinar automaticamente os parâmetros transitórios e subtransitórios da máquina. Na etapa de comissionamento utiliza-se um conjunto de ensaios padrão, que permitem a determinação dos parâmetros transitórios e subtransitórios. No entanto, o método proposto pode ser usado para determinar valores iniciais de parâmetros que poderiam ser usados para facilitar a determinação de parâmetros transitórios e subtransitórios em alguns dos ensaios utilizados no comissionamento. Isto ocorre, por exemplo, em métodos baseados em rejeição de carga, que usam a minimização de um índice quadrático, onde o conhecimento prévio de alguns parâmetros facilita a solução do problema de otimização.

B) Este método pode ser estendido para determinação dos parâmetros transitórios e subtransitórios? Quais as limitações?

Na versão atual, o método proposto é baseado no modelo da máquina síncrona quase em regime permanente, permitindo a estimação de parâmetros apenas a partir de pequenas perturbações na operação normal da máquina. Desta forma, ainda não é possível a determinação dos parâmetros transitórios e subtransitórios. Contudo, a evolução do método pode permitir a estimação de parâmetros em condições de grande perturbação, utilizando para isto um modelo mais detalhado da máquina síncrona. Neste caso, seria possível a determinação de parâmetros transitórios e subtransitórios, além de um subconjunto maior dos parâmetros fundamentais.

C) Os autores poderiam comentar que tipo de falhas esperam encontrar para cada variação de parâmetro?

Falhas nos enrolamentos do estator e/ou do rotor provocam variações em alguns dos parâmetros fundamentais estimados pelo método proposto. Mais especificamente, a alteração de características físicas dos enrolamentos, seja devido à degradação do isolamento das espiras ou devido a deformações nos enrolamentos devido a esforços de natureza elétrica ou mecânica, irá refletir em uma alteração das indutâncias e resistências equivalentes do modelo da máquina. As falhas associadas a degradação do isolamento das espiras, que são o tipo de falha mais comum em geradores síncronos, tem como efeito a modificação no número de espiras equivalente do enrolamento onde ocorre este fenômeno. Desta forma, pode-se associar esta mudança do número de espiras equivalente de cada enrolamento com a mudança de parâmetros fundamentais do modelo. Como exemplo, tem-se que as indutâncias de eixo direto e em quadratura (Ld e Lq) dependem diretamente no número de espiras equivalentes do estator. Logo, uma falha no isolamento das espiras do estator, que modifique o número de espiras equivalente deste enrolamento, irá modificar Ld e Lq. Outras relações entre falhas incipientes em geradores síncronos e a variação de parâmetros fundamentais destas máquinas estão sendo analisadas como parte da pesquisa, tendo em vista que o projeto de P&D ainda se encontra em execução no momento.

3.29 - METODOLOGIA E RESULTADOS DA REFORMA DO GERADOR DA UG1 DA UHE GBM (FOZ DO AREIA)

SILVA, M.V.D.(1);SILVA, J.R.P.D.(2);SANTOS, M.A.P.(1); - GE(1);COPEL(2);

Durante a sua operação, a unidade 1 da UHE GBM foi submetida a severas solicitações eletromecânicas. Em 2016, após 35 anos de operação, essa unidade foi comprometida por quatro curtos-circuitos, em intervalos de aproximadamente um mês, o que exigiu a substituição do seu enrolamento estático. O artigo aborda o processo de substituição desse enrolamento, com aplicação de novas tecnologias e melhorias de projeto, materiais e estratégias, com destaque para proteção contra efeito Corona, isolamento entre fios elementares, sistema de amarrações, sistema de conexões série entre barras, correção dos danos nos polos do rotor, na desmontagem e montagem da unidade.

Perguntas e respostas:

A) Devido aos novos modos de operação das máquinas geradoras que atualmente são mais solicitadas pelo sistema os projetos destas máquinas devem ser alterados para atender este tipo de forma de operação?

Uma análise mais apurada do regime operacional pode ser realizada e ações podem sim ser tomadas para possibilitar uma maior vida operacional para as máquinas. Do ponto de vista elétrico, as práticas de projeto atuais já consideram métodos que permitem suportar sem maiores problemas as variações elétricas (corrente e tensão) conhecidas e às quais a máquina está sujeita. Do ponto de vista térmico e elétrico, o estresse gerado pela variação de temperatura deve ser adequadamente avaliado nos sistemas de isolamento (materiais, resinas e características dimensionais). Práticas cada vez mais comuns tais como: testes de ciclos térmicos e de envelhecimento acelerado possibilitam determinar o comportamento dos mesmos hoje em dia. Neste caso, não somente o projeto mas o método de fabricação é avaliado. Adequações em projeto e fabricação podem ser implementadas para melhorar estes sistemas, mas é algo mais relacionado à tecnologia em si. Neste sentido todos os fabricantes buscam melhorias em seus sistemas, sendo que a experiência e a pesquisa são fundamentais para o sucesso dos projetos. Do ponto de vista mecânico, com o advento das ferramentas computacionais cada vez mais velozes e precisas, hoje é possível avaliar o comportamento dos componentes das máquinas sob fadiga, principal fator impactado pelo severo regime operacional atual. Esta análise deve considerar a expectativa de vida esperada bem como o regime operacional imposto (especialmente a frequência de número de partidas e paradas). Dependendo do resultado, o projeto mecânico pode sim ser adaptado para reduzir as concentrações de tensão e assim aumentar a robustez e longevidade do equipamento. Entretanto, em todos os casos, deve-se sempre realizar o adequada avaliação da real necessidade dos requisitos técnicos especificados, pois toda a adequação do projeto para dimensioná-lo a determinadas condições de operação resultará em maiores custos de implementação.

B) Quantos sensores de temperatura foram instalados ao longo do estator? Qual o tipo de sensor ? Os locais do núcleo onde tiveram que ser reparados tem monitoração de temperatura on line?

Ao todo foram instalados 22 sensores de temperatura do tipo RTD PT-100 no estator, cuja função é o monitoramento on-line das temperaturas do enrolamento e do núcleo via sistema de controle. No núcleo do estator, no principal ponto danificado pelo curto-circuito e posteriormente reparado foi instalado (afixado) um termopar com seu cabeamento encaminhado para fora da máquina. Este sensor não está interligado ao monitoramento on-line, já que o mesmo visava medidas de aquecimento localizado durante o comissionamento e os primeiros dias de operação para avaliação das diferenças de temperatura com os demais pontos do núcleo. As coletas dos dados foram realizadas por instrumentos portáteis.

C) Seria conveniente programar a modernização como foi realizado na Unidade 1 também nas outras unidades?

A modernização do enrolamento estático da UG2 já está programada para ocorrer no final do ano de 2017. No caso das unidades 03 e 04, a COPEL já está realizando os estudos de viabilidade para tanto.

3.30 - AVALIAÇÃO MECÂNICA DE GERADORES HIDROELÉTRICOS PARA MITIGAR RISCOS DE FALHA POR FADIGA

SILVA, M.V.D.(1);CARVALHAL, R.(1); - GE(1);

Um crescente número de problemas relacionado à fadiga tem sido encontrado nos componentes de geradores. Estes problemas precisam ser abordados de forma preditiva e preventiva para reduzir os custos de reparo, as perdas monetárias devido à parada de geração e as perdas de ativos. Este trabalho apresenta o procedimento da GE para avaliação da vida em fadiga, começando pela identificação das condições operacionais, métodos de cálculo e exames de inspeção. Soluções temporárias e definitivas são propostas ao proprietário permitindo o agendamento da manutenção sempre focando em segurança, confiabilidade e disponibilidade.

Perguntas e respostas:

A) Com este método é possível avaliar se uma máquina desenvolveu uma trinca após um evento de sub-frequência, isto é, se todos os dados de fabricação, dimensionais, materiais e outros estiverem disponíveis?

O método proposto considera o dano acumulado devido a repetição de um evento, a ordem do número de repetição pode ser de dezenas até milhares por exemplo para as rejeições de carga em uma unidade geradora. Mais especificamente, um único evento crítico pode causar uma trinca num componente mas neste caso não estamos analisando a resistência a fadiga, pois um único evento não representa um carregamento cíclico, assim se houver uma trinca após um evento único isto é decorrente que uma falha do material ou falha do dimensionamento, por exemplo. Neste caso de um único evento crítico, as inspeções e a realização de ensaios não destrutivos podem evidenciar as trincas.

B) Este método pode ser aplicado para estimar a vida útil de eixos de turbogeradores?

Sim, com certeza. Os eixos apresentam regiões de transição ao longo da seção transversal, isto consequentemente leva ao aparecimento dos concentradores de tensão que, aliados aos vários tipos de carregamentos (tração, torção, flexão e cisalhamento), serão as regiões a serem analisadas. De posse dos dados do histórico de operação da unidade geradora é possível estimar com confiabilidade a vida útil dos eixos.

C) Este método leva em consideração efeitos torcionais nos eixos de geradores?

Sim, os esforços torcionais e flexionais são os mais relevantes e são considerados na análise de resistência a fadiga.

3.31 - AVALIAÇÃO DE FORMULAÇÕES DE PTFE VISANDO À APLICAÇÃO EM SISTEMA DE VEDAÇÃO DE VAPOR DE ÓLEO DE MANCAL DE UNIDADE GERADORA

SILVA, A.R.D.(1);SILVA, C.H.D.(2);NETO, R.D.A.P.(3);PALUDO, R.(3);PROCOPIAK, L.A.J.(1);MUNARO, M.(3); - COPEL(1);(2);LACTEC(3);

O presente trabalho discute o comportamento tribológico do politetrafluoretileno (PTFE) e de compósitos com matriz deste material, que possam futuramente ser utilizados em sistemas de vedação de vapor de óleo de unidades geradoras de usinas hidrelétricas. Foram realizados ensaios de atrito, do tipo esfera contra disco, onde os materiais ensaiados, no formato de placas finas, deslizavam contra esferas de carboneto de tungstênio, com carga e distância percorrida constantes e em três velocidades tangenciais diferentes. Foram realizadas medições do coeficiente de atrito cinético, da temperatura na região do contato e do desgaste dos compósitos. Tais procedimentos experimentais auxiliam a análise das características e do desempenho dos materiais estudados em aplicações tribológicas. Nos ensaios observou-se que os parâmetros de coeficiente de atrito e de temperatura são influenciados pela velocidade tangencial. A temperatura no contato se eleva com o aumento da velocidade para todos os materiais estudados e o coeficiente de atrito cinético apresentou o mesmo comportamento somente para o PTFE sem carga, ficando com valores médios inalterados para os demais materiais. Com relação ao desgaste, foi verificado que os materiais adicionados ao PTFE, para a formação dos compósitos, melhoram significativamente a resistência ao desgaste deste polímero, sendo que o que apresentou melhor desempenho (PTFE + fibras de carbono + poliéster aromático) apresentou desgaste 4 vezes menor do que o polímero puro. Os mesmos ensaios também foram realizados após envelhecimento em óleo mineral utilizado em mancais de unidades geradoras de usinas. Com relação ao envelhecimento térmico destes materiais observou-se significativa alteração no comportamento tribológico, principalmente no coeficiente de atrito cinético, devido a permeação do óleo na superfície dos materiais, sendo que o material que contém carbono e grafite apresentou os menores valores de coeficiente de atrito, por ter absorvido uma maior quantidade de óleo.

Perguntas e respostas:

A) Quatro tipos de materiais foram testados e medidos o coeficiente de atrito, temperatura e desgaste para uma velocidade periférica de eixo na faixa de 2 a 6 m/s. Esta faixa deve cobrir geradores de baixa potência e máquinas bem lentas, portanto um universo muito restrito de aplicação. Baseado nos testes descritos neste artigo, os autores recomendariam a utilização desta tecnologia e qual material seria adotado?

No equipamento utilizado durante os ensaios de atrito, não era possível reproduzir as condições reais de velocidade de unidades geradoras de grandes dimensões. Assim, a solução adotada foi a de aplicar uma carga elevada no material que estava em contato, elevando-se assim o fator PV (pressão x velocidade). Desta forma, os materiais foram submetidos a condições extremas de desgaste. A ideia principal foi avaliar o comportamento deles após iniciado o desgaste e avaliar qual deles suportaria melhor esta condição. Os autores recomendam a aplicação desta tecnologia e o material recomendado é o compósito formado por 90% de PTFE + 5% de fibras de carbono + 5% de poliéster aromático. O que nos dá suporte a essa afirmação é já termos casos de usinas que usam um material que teve resultados inferiores a este, em velocidade de 16 m/s, e com bom desempenho (UHEs SCL e FND). No equipamento utilizado durante os ensaios de atrito, não era possível reproduzir as condições reais de velocidade de unidades geradoras de grande dimensões. Assim, a solução adotada foi a de aplicar uma carga elevada no material que estava em contato, elevando-se assim o fator PV (pressão x velocidade). Desta forma, os materiais foram submetidos a condições extremas de desgaste. A ideia principal foi avaliar o comportamento deles após iniciado o desgaste e avaliar qual deles suportaria melhor esta condição. Os autores recomendam a aplicação desta tecnologia e o material recomendado é o compósito formado por 90% de PTFE + 5% de fibras de carbono + 5% de poliéster aromático. O que nos dá suporte a essa afirmação é já termos casos de usinas que usam um material que teve resultados inferiores a este, em velocidade de 16 m/s, e com bom desempenho.

B) Qual foi a limitação da bancada de teste para não se ter executados ensaios acima de 6 m/s de velocidade periférica?

A limitação foi a do tribômetro. Como foi utilizado um equipamento da UTFPR, foi respeitado o limite informado pelo responsável pelo laboratório. Acima desta

velocidade existia o risco de danos ao equipamento.

C) Os autores pretendem continuar a pesquisa com novas matérias e abranger uma faixa maior de velocidade periférica do eixo? E quanto a uma nova tecnologia onde a vedação do eixo não estaria em contato com eixo, mas que seja mais eficiente que os labirintos atualmente instalados?

Sim, foram construídas duas bancadas de testes, sendo uma vertical e outra horizontal, para testes dos sistemas de vedação utilizando estes e outros materiais. Nas bancadas, será possível realizar testes em velocidades maiores e também será possível avaliar a efetividade das vedações. Em paralelo com a ideia de materiais autolubrificantes em contato com o eixo, também está sendo estudado e testado um sistema de vedação com fluido ferromagnético, mas isto foge do escopo do trabalho que foi inscrito. Até o momento não está previsto nenhum sistema de vedação sem contato com o eixo, mas como ainda não se chegou a uma solução, esta ideia não está descartada.

3.32 - MÉTODO DE RECUPERAÇÃO DAS AVARIAS ACOMETIDAS PELO EFEITO CORONA NA SUPERFÍCIE DA ISOLAÇÃO DE BARRAS ESTATÓRICAS DE HIDROGERADORES UMA VISÃO PRÁTICA.

ROMANO, M.L.G.(1);GASPARETO, E.(1); - COPEL(1);

O objetivo deste estudo é apresentar um procedimento para recuperação dos danos provocados pelo fenômeno do Efeito Corona (EC) na superfície da isolação de barras estatóricas. Para validação, foi realizada a recuperação do barramento estatórico de hidrogeradores síncronos. Como ferramenta de diagnóstico, utilizou-se a medição das descargas parciais (DP) e a comparação do levantamento das barras que sofreram a intervenção entre as grandes manutenções das unidades. Os resultados são apresentados em forma de tabelas e gráficos. Sendo que nas medições de descargas parciais, efetuadas antes e após o procedimento de recuperação, nota-se uma redução nos valores de magnitude das DPs dos geradores estudados. Também houve uma redução na quantidade de pontos recuperados. Além de uma redução no grau da intensidade das avarias causadas pelo EC.

Perguntas e respostas:

A) Nos geradores da Usina foi observada uma degradação do isolamento, devida a descargas parciais, no ponto de junção entre as camadas semi-condutora e condutora. Isto não seria um indicativo, tendo em vista o ciclo de trabalho dos geradores com frequentes partidas e paradas, de que poderiam haver também descargas parciais na parte da barra localizada na ranhura?

É possível que hajam descargas parciais na parte da barra localizada na ranhura, pois não existe processo de fabricação do isolamento, que seja 100% homogêneo. Nos geradores que foram objeto do estudo, o segmento de barra alojado nas ranhuras são cobertos por uma camada condutora, cujo objetivo é deslocar o gradiente de campo elétrico até o local da luva anti-corona (junção entre as camadas semicondutoras com a condutora). O ciclo de trabalho pode provocar vibrações internas no estator, que por sua vez, podem danificar principalmente a camada condutora. Se tal fato ocorrer, um aumento na intensidade das descargas parciais seria evidenciado no resultado dos ensaios, mesmo após a recuperação dos pontos localizados na luva anti-corona.

B) Porque mesmo com luvas anti-corona, as quais têm sido instaladas para reduzir a tensão superficial no ponto de junção e reduzir ou evitar descargas parciais, foram detectadas muitos pontos danificados na região da junção na última manutenção?

Permita uma correção. Nesta pergunta há a impressão de que a luva anti-corona é um dispositivo instalado no ponto de junção entre as camadas condutivas e semicondutoras. Vale ressaltar que a luva anticorona, é a sobreposição destas camadas (semicondutora sobre a condutiva) sendo respeitadas algumas distâncias, das quais causam um alívio da tensão superficial nestes pontos de junção. Feito o esclarecimento, os pontos danificados foram em decorrência da má formação desta luva. Quando a primeira recuperação foi efetuada, notou-se que a luva anti-corona criada para o alívio de tensão possuía dimensões irregulares.

C) As descargas parciais foram detectadas por meio de inspeção visual por ocasião de paradas para manutenção. Porque não foi instalado um sistema de monitoramento on-line de descargas parciais, o qual poderia detectar prontamente problemas no isolamento?

Antes da inspeção visual, o resultado dos ensaios de descargas parciais realizados, demonstraram que tal fenômeno estava crescendo dentro do gerador. Porém não era possível conhecer o grau de degradação que as descargas parciais estavam causando nas unidades. Somente na parada de manutenção, foi possível mensurar o quão prejudicial tal fenômeno era. Infelizmente, apesar de comprovado o problema, não houve interesse por parte da empresa proprietária em investir num sistema de monitoramento on-line, por avaliar que o custo-benefício não seria vantajoso. Pois as unidades de 60MW foram consideradas pequenas para aplicação desta solução. E as recuperações executadas durante as grandes paradas de manutenção, que ocorrem a cada 5 anos, são suficientes para manter a vida útil das atuais barras.

3.33 - ANÁLISES E PROCEDIMENTOS PARA RECUPERAÇÃO DE TRINCAS NAS ESPIRAS POLARES DO GERADOR 3 DA USINA HIDRELÉTRICA DE SALTO SANTIAGO

FEITOSA, P.H.S.(1);FRARI, R.V.D.(1);SIMÕES, C.(2);SANTOS, M.C.D.(1);FERRETTI, A.P.(1);HAIN, F.L.(1);CIESLIK, D.J.(1); - TBLE(1);LEME(2);

Durante a modernização dos geradores da Usina Hidrelétrica de Salto Santiago, cujo escopo previa a reisolação dos polos do gerador, foram identificadas trincas visíveis e internas nas juntas brasadas das espiras, fato não previsto no escopo do contrato. Dada a criticidade do problema e seu impacto em relação ao custo e prazo no processo de modernização, toda atenção foi dedicada à identificação da causa raiz das trincas e definição do método de recuperação. Este trabalho tem o intuito de apresentar estas análises, as soluções empregadas e as melhorias obtidas, divulgando a experiência adquirida nesse processo

Perguntas e respostas:

A) Porque o teor de cobre na composição química do metal de adição foi muito diferente da liga especificada? Testes de aceitação das bobinas não foram realizados para verificação da isolação?

Não foi possível através das investigações realizadas determinar o porquê do metal de adição ser tão diferente do especificado em projeto. A composição química do material empregado também é de uma liga comercial, então uma das suposições seria a ocorrência de algum problema de fornecimento, visto que o problema não foi verificado nas demais unidades geradoras. Foram realizados testes padrões na isolação conforme normas (resistência de isolação, tensão aplicada), porém os mesmos não identificam problemas nas juntas brasadas. A resistência ôhmica também não foi capaz de identificar desvios em relação ao valor de projeto pela utilização de metal de adição inadequado.

B) Qual foi a diferença de custos e prazos entre a recuperação total e parcial das bobinas polares?

Recuperação Total: Prazo: 229 dias Custo: R\$ 16 mi Recuperação Parcial: Prazo: 30 dias Custo: R\$ 1 mi

C) Após 35 anos de operação o aparecimento de trincas na isolação não poderia ser também atribuído ao envelhecimento natural da isolação? Isto foi verificado somente na unidade 3 ou nas demais três unidades?

As trincas não foram na isolação, mas nas conexões jig-saw do cobre das espiras. Desta forma, o envelhecimento da isolação não tem relação com o aparecimento das trincas. As mesmas foram verificadas somente na UG3, portanto em 1 unidade.

3.34 - AVALIAÇÃO DE BARRAMENTOS ESTATÓRICOS PARA HIDROGERADORES ELÉTRICOS SOB ESFORÇOS ELETROMECÂNICOS

SENS, M.A.(1);SANTOS, C.G.T.D.(2);JÚNIOR, H.D.P.A.(1);MATT, C.F.T.(1); - CEPEL(1);UFRJ(2);

Envelhecer materiais e sistemas de isolamento elétrico de modo acelerado sempre constituiu anseios dos técnicos em isolamento elétrico. A ideia sempre foi combinar vários esforços para representar os esforços reais de uso, mas de modo mais intenso, para acelerar os efeitos. Costuma-se acelerar o envelhecimento pela elevação da tensão aplicada e da temperatura. Outras vezes aplicam-se ciclos térmicos sobre as barras ou bobinas estatóricas. O ideal seria combinar esforços elétricos, térmicos e dinâmicos sobre os sistemas de isolamento elétrico. Constitui uma dificuldade quantificar o fator de aceleração para os esforços múltiplos. Neste informe apresentam-se resultados apenas para dois destes esforços. Envelhecimento; esforço conjugado; hidrogerador; Isolamento; vibração.

Perguntas e respostas:

A) Na introdução os autores comentam não ter encontrado literatura sobre ensaios de envelhecimento acelerado com dois fatores de envelhecimento acelerado. Como estas questões do REP foram encaminhadas com antecedência, seria importante contar com a sua opinião relativa ao Informe Técnico a seguir, publicado dentro dos anais da CIGRÉ: R. H Schuler & G. Lipták, 15-05 LONG-TIME FUNCTIONAL TETS ON INSULATION SYSTEMS FOR HIGH VOLTAGE ROTATING MACHINES, CIGRÉ 1976 Session ? August 25 to September 2.

De fato, não foram encontradas literaturas sobre ensaios de envelhecimento acelerado em barramentos isolados para hidrogeradores por esforços elétricos combinados com vibrações mecânicas, simultâneos, em condições de sincronismo, como ocorrem nas máquinas em operação. Não se afirmou que não existem literaturas, mas sim que não foram encontradas. O citado artigo não trata do assunto.

B) Os autores simularam um envelhecimento da barra com aplicação de tensão nominal e esforço conjugado provido por um vibrador mecânico em 120 HZ. Os autores não acham que a tensão deveria ser algo próximo aos valores da IEEE 1553? Que os autores poderiam comentar sobre os níveis de esforços mecânicos produzidos pelo shaker versus tempo que a barra será submetida a estes esforços?

A tensão elétrica escolhida não foi ao nível previsto pela IEEE1553, que recomenda 30 kV para ensaios de envelhecimento com temperatura, por implicar nível bastante elevado de descargas parciais e, nestas condições, a monitoração dos efeitos de envelhecimento seria impossibilitado.

C) Caso no futuro se adote o ensaio de envelhecimento conjugado, tensão e esforços mecânicos, a tensão do ensaio do VET deverá ser revisitada ou deverá ser mantido os valores atuais? Que opinam os autores?

Os esforços impostos às amostras mostraram-se muito brandos e insuficientes para a percepção de sinais de envelhecimento em alguns meses. Mas subir a tensão

ficaria muito fora das condições reais de uso dos barramentos estatoricos isolados para hidrogeradores. Uma possível modificação, para acelerar os efeitos deletérios, seria elevar os esforços mecânicos dinâmicos, como por flexão, sobrepostos aos esforços de temperatura e da tensão aplicada.

4.0 TÓPICOS PARA DEBATE

Quanto a distribuição dos trabalhos por temário:

1 Aproveitamentos hidrelétricos de pequena, média ou elevada potência: 11 trabalhos.

Os trabalhos separados por este tema foram variados. Desde o estudo das forças magnéticas precursoras de vibração no núcleo como aspectos regulatórios, modelagem matemática para determinação de perda de carga, influencia da rigidez da cruzeta superior, uso da geração distribuída para controle inteligente, influência do defletor no desempenho e controle de turbinas pelton, maximização da geração de energia, "stream driver" que é uma turbina compacta para aproveitamentos pequenos e dificuldades versus oportunidades para ganho de energia.

2. **Pequenas Centrais Hidráulicas: 2 trabalhos.** Aqui temos um trabalho desenvolvido em parceria com Universidade onde se observa que estudos de captação de energia hidrocínética de grande porte nos rios do estado do paraná. Outro que utiliza o geoprocessamento que é uma nova ferramenta para auxiliar em projetos na modernização, repotenciação e desempenho de hidrelétricas.

3. Modernização, repotenciação de usinas hidrelétricas e equipamentos de geração: 5 trabalhos.

Nestes trabalhos nota-se que se obtém ganho da garantia física com a modernização de turbinas. Mais uma vez se observa a análise computacional para diagnóstico de causa raiz de falha. Apresentaram um estudo sobre a utilização de bombas hidráulicas comerciais funcionando como turbina e motores de indução como geradores acoplados a estas turbinas. Uma outra novidade é a utilização da nanotecnologia para isolantes de enrolamentos estatoricos. Também a utilização de softwares para gerenciamento de ativos de plantas hidráulicas.

4. Experiência e monitoramento de desempenho de estruturas hidráulicas: 5 trabalhos.

Neste tema tivemos trabalhos relacionados ao monitoramento de descargas parciais, isolamento de mancais, sinais dinâmicos para determinar a causa raiz e integração de sistema supervisório para análise preditiva.

Nota-se mais uma vez que a digitalização de sinais dinâmicos e softwares de análise é uma ferramenta fundamental para a previsão de eventos.

5. Aspectos de manutenção de hidrogeradores: 11 trabalhos

Aqui tivemos trabalhos relacionados a recuperação de danos extensos em núcleo de estator, comparação de medições de descargas parciais em baixa frequência e em alta frequência, metodologia para análise de vibrações e diagnóstico com técnicas no domínio da frequência, o operação e manutenção de unidade geradora em águas muito poluídas, diagnóstico de falhas através de monitoramento de parâmetros da função geração, metodologia e resultados de reforma de gerador, avaliação de aspectos mecânicos de geradores a fim de reduzir riscos por fadiga mecânica, aplicação de um novo tipo de vedação de óleo de mancal, recuperação de avarias por efeito corona e avaliação em laboratório de barramentos estatoricos so esforços eletromecânicos.

6. Contratação do tipo EPC (Engineering, Procurement and Construction Contracts) para bens e serviços:

Nenhum trabalho neste tema

Conclusões iniciais:

Nota-se a utilização de ferramentas computacionais para desenvolvimento de modelos mais sofisticados e problemas associados às máquinas de geração que podem gerar até oportunidades de ganho de energia gerada.

Ferramentas computacionais para monitoramento de diversos parâmetros físicos como descargas parciais, vibração, gerenciamentos de ativos da empresa, enfim, a tecnologia da computação veio para ficar e cada vez mais se torna útil e necessária para operação e manutenção de máquinas.

Os trabalhos estão com um bom nível técnico e nota-se que houve uma melhora em relação ao XXIII SNPTEE.