



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GMI-10
19 a 24 Outubro de 2003
Uberlândia - Minas Gerais

**GRUPO XII
GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO EM INSTALAÇÕES
ELÉTRICAS - GMI**

MANUTENÇÃO PREDITIVA – A INFLUÊNCIA DE SUA IMPLANTAÇÃO NA MANUTENÇÃO DE GERADORES

**Alvaro José Noé Fogaça*
COPEL-GER**

RESUMO

A Copel Geração, dentro de seu programa de desenvolvimento e implantação da Manutenção Baseada em Confiabilidade (MBC), está migrando, sempre que possível, da manutenção preventiva para a manutenção preditiva. Dentro deste conceito foram implantados, nos geradores das grandes usinas, o monitoramento de descargas parciais (PDA) e o programa MICAA. O MICAA (Machine Insulation Condition Assessment Advisor) é um programa de diagnóstico, isto é, dentro de um quadro de sintomas apresentado por uma máquina elétrica em particular, apresenta o risco de falha e os prováveis modos de falha que estão agindo na máquina. O monitoramento de descargas parciais, por sua vez, é o ensaio básico utilizado para o diagnóstico efetuado pelo MICAA. Este artigo visa apresentar a influência, nas atividades de manutenção, do emprego combinado das duas ferramentas, suas potencialidades e limitações, além da experiência da Copel com seu uso em algumas de suas unidades geradoras. Será mostrada a necessidade de quebrar os principais paradigmas da manutenção tradicional para conseguir obter vantagens significativas na adoção da manutenção preditiva.

PALAVRAS-CHAVE

Gerador. Manutenção Preditiva.

1.0 - INTRODUÇÃO

A utilização da manutenção preditiva, ainda que bastante incentivada pelas atuais técnicas de gestão da manutenção (MBC, TPM, etc), necessita estar

acompanhada de uma certa dose de ousadia, no sentido de quebrar alguns dos paradigmas da manutenção tradicional, que visa primordialmente a preservação do equipamento. A preservação do equipamento implica na execução de atividades de manutenção que exigem a sua parada, tais como inspeções ou ensaios periódicos, de forma que seja possível detectar a ação de um determinado modo de falha antes da ocorrência da falha. A manutenção preditiva, por sua vez, parte do pressuposto de que estes mesmos modos de falha podem ser detectados com o equipamento operando (on-line), através do acompanhamento de um ou vários parâmetros que serão monitorados. A análise dos vários parâmetros monitorados para a obtenção de um diagnóstico pode ser feita por um especialista, ou por um programa especialista (expert system). A tendência normal do pessoal de manutenção, por força dos paradigmas da manutenção tradicional, é implantar a manutenção preditiva sem abrir mão das inspeções e ensaios periódicos, alegando-se que as técnicas preditivas ainda não estão suficientemente desenvolvidas para efetuar um diagnóstico correto do estado do equipamento. É justamente este o paradigma que precisa ser quebrado para o êxito da manutenção preditiva.

2.0 O- PROGRAMA DE DIAGNÓSTICO DE MÁQUINAS ELÉTRICAS

A Copel Geração utiliza, para os geradores de suas grandes usinas, o programa MICAA de diagnóstico, que tem por finalidade:

- determinar o risco de falha de enrolamentos;

* Rua José Izidoro Biazzetto, 158 - CEP 81200-240 - Curitiba - PR - BRASIL
Tel.: (041) 331-3671 - Fax: (041) 331-3666 - E-MAIL: alvaro.fogaca@copel.com

- determinar o modo de falha mais provável de estar ocorrendo;
- arquivar todo o histórico do enrolamento (dados de projeto, de operação, testes e reparos) em uma única base de dados.

O MICAA é um programa de diagnóstico (expert system), isto é, dentro de um quadro de sintomas apresentado por um enrolamento em particular, o programa, com base em um extenso banco de dados (resultado de pesquisa financiada pelo EPRI), apresenta o risco de falha do enrolamento e os prováveis modos de falha que podem estar agindo no enrolamento.

Os "sintomas" são os resultados de testes e inspeções realizados ao longo de toda a vida passada do equipamento que devem ser introduzidos no banco de dados daquele equipamento. Por exemplo, no caso de enrolamentos estatóricos, pode-se introduzir os resultados dos seguintes testes, entre outros:

- resistência de isolamento / índice de polarização
- tensão aplicada em CC
- tensão aplicada em CA
- tensão aplicada em CC em degraus
- descargas parciais offline
- descargas parciais online
- fator de potência
- tip-up
- aperto de cunhas (manual ou com instrumento)
- teor de ozônio
- resistência de contato com o núcleo
- folga lateral na ranhura
- corona visual
- inspeção visual das cabeças de bobina
- inspeção visual no interior da ranhura
- capacitância
- dissecação de bobina
- condutância

O termo diagnóstico não é mera coincidência; o programa funciona, efetivamente e com as devidas limitações, como um médico ao examinar um paciente. Um alto risco de falha não significa falha imediata mas a necessidade de intervir de forma a bloquear a causa de um modo de falha que, por suas características, pode levar rapidamente à falha ou provocar danos com custo elevado para reparo em caso de detecção tardia.

Os mesmos conceitos podem ser aplicados no mesmo programa e com o mesmo banco de dados para:

- o núcleo estatórico;
- o enrolamento do rotor;
- o anel magnético.

3.0 O - MONITORAMENTO DE DESCARGAS PARCIAIS

O sistema de monitoramento de descargas parciais é utilizado para monitorar o estado do isolamento do enrolamento estatórico dos geradores das grandes usinas.

Na maior parte dos casos, a deterioração do isolamento do enrolamento estatórico é um processo

lento, onde o período entre a detecção de um aumento significativo no nível de descargas e a efetiva ocorrência da falha leva alguns anos. É interessante, portanto, dispor de um sistema de monitoramento que permita a execução de ensaios periódicos de forma automática, sem desligar a unidade geradora, e o acesso remoto aos resultados. Para obter resultados consistentes, o sistema também deve permitir a execução de ensaios sob as mesmas condições de carga e temperatura.

O sistema utilizado pela Copel permite a implementação de todos esses requisitos, sendo composto dos seguintes módulos:

- um programa supervisor, que monitora as unidades de aquisição de dados (DAU) de cada gerador e controla a execução dos ensaios nas condições especificadas;
- um módulo de ajuste da sensibilidade da medição em cada um dos pares de sensores de descargas parciais;
- um módulo para a especificação das condições de carga em que os ensaios serão executados;
- um módulo que controla a comunicação do sistema, via rede, com cada uma das DAUs e com o micro remoto;
- um módulo para a visualização dos resultados dos ensaios.

Os valores medidos pelo sistema são:

- o NQN, que é uma média ponderada da intensidade e da quantidade de descargas parciais que ocorrem no isolamento;
- a amplitude das descargas positivas e negativas (-Qm e +Qm);
- a relação entre as descargas positivas e negativas;
- a posição angular das descargas no ciclo da tensão.

Da análise conjunta destes parâmetros, é possível identificar praticamente todos os modos de falha significativos para o isolamento do gerador, tais como:

- Deterioração térmica;
- Descolamento cobre / isolamento (load cycling);
- Cunhas frouxas;
- Descargas no interior da ranhura;
- Defeitos de impregnação (vazios ou inclusões);
- Contaminação ou sujeira nas cabeças de bobina;
- Espaçamento insuficiente entre cabeças de bobina;
- Deterioração da proteção anti-corona.

4.0 A UTILIZAÇÃO CONJUNTA DO MICAA E DO PDA

A estratégia adotada para a efetiva implantação da manutenção preditiva nos geradores se baseia na seguinte premissa:

- Se o monitoramento de descargas parciais on-line permite detectar praticamente todos os modos de falha significativos que atuam no isolamento do gerador, qualquer intervenção que exija a parada da unidade geradora somente será programada se o monitoramento indicar esta necessidade. Paralelamente, todos os outros ensaios ou inspeções periódicas realizados até então para a detecção dos mesmos modos de falha deixarão de ser executados.

Esta estratégia foi adotada nos geradores das grandes usinas que dispõem do sistema de monitoramento de descargas parciais (todas as grandes usinas, exceto GPS), tendo sido suspensa a execução periódica de ensaios como:

- Resistência de isolamento e índice de polarização;
- Tensão aplicada em CC em degraus;
- Corona visual;
- Inspeção visual do enrolamento;
- Fator de potência do isolamento;
- Tip-up;
- Capacitância do enrolamento.

Atualmente, as ações de manutenção nos geradores das grandes usinas se resumem a mapeamento de cunhas, realizado a cada cinco anos. Todos os demais ensaios ou inspeções, se necessários, serão programados em função do monitoramento de descargas parciais e do diagnóstico resultante.

Anualmente é feito um relatório, apresentando às Unidades de Produção o diagnóstico do estado do isolamento de cada um dos geradores. A análise dos parâmetros monitorados é feita mensalmente, desde Curitiba, acessando-se remotamente os bancos de dados do PDA existentes em cada usina.

5.0 - VANTAGENS DA MANUTENÇÃO PREDITIVA

As vantagens da adoção de uma estratégia essencialmente preditiva, desde que baseada em sistemas de monitoramento confiáveis e com acesso remoto, são evidentes:

- Aumento da disponibilidade das unidades geradoras;
- Redução de custos pela redução do tempo de parada e pela redução do número de viagens do pessoal que realizaria os ensaios ou inspeções periódicas da manutenção preditiva;
- Existência de diagnóstico periódico, que mantém as equipes de engenharia de manutenção e de operação e manutenção das usinas informadas a respeito do estado do gerador, permitindo a programação de eventuais intervenções corretivas com bastante antecedência, assim como a adoção de procedimentos operativos que minimizem os efeitos do modo de falha, caso seja necessário.

6.0 - EXPERIÊNCIA COM OS GERADORES DE GBM

O conjunto MICAA / PDA vem sendo utilizado na UHE GBM desde 1998. O acompanhamento periódico do nível de descargas parciais resultou em Relatórios Técnicos, que apresentam o diagnóstico efetuado com o auxílio do MICAA. Seguem abaixo as conclusões dos relatórios de 1999 e de 2002, indicando que o estado do isolamento do enrolamento estatístico de todos os geradores da usina é bom, sem a presença de modos de falha cuja evolução necessite de intervenção corretiva ou preventiva.

RT-0019/1999:

“Conclusão

O isolamento do enrolamento estatístico dos quatro geradores da US/GBM está em boas condições. O elevado risco de falha indicado para os geradores 1 e 2 está baseado nos valores absolutos de descargas parciais medidos; a evolução dos mesmos desde o início do monitoramento indica, entretanto, que não houve aumento significativo tanto no NQN quanto na magnitude das descargas (Qm).”

RT-0001/2002:

“Conclusão

O isolamento do enrolamento estatístico dos quatro geradores da UHE GBM está em boas condições. O elevado risco de falha indicado para todos os geradores está baseado nos valores absolutos de descargas parciais medidos; a evolução dos mesmos desde o início do monitoramento indica, entretanto, que não houve variação significativa tanto no NQN quanto na magnitude das descargas (Qm).”

Como exemplo, veja-se na Figura 1 o resultado do diagnóstico do MICAA para o gerador 4 de GBM, efetuado em 05/06/2002.

Um resultado direto e significativo da utilização desta sistemática de manutenção preditiva é a sucessiva postergação do mapeamento de cunhas nos geradores das grandes usinas. Esta atividade, que consome um considerável número de horas de trabalho com a unidade geradora parada, devido ao elevado número de cunhas a mapear, vem sendo sucessivamente postergada, pois o monitoramento associado ao diagnóstico não aponta a atuação de modos de falha relacionados ao afrouxamento das cunhas. Particularmente no gerador 4 de GBM, o último mapeamento, com recunhagem parcial, foi efetuado em 1997.

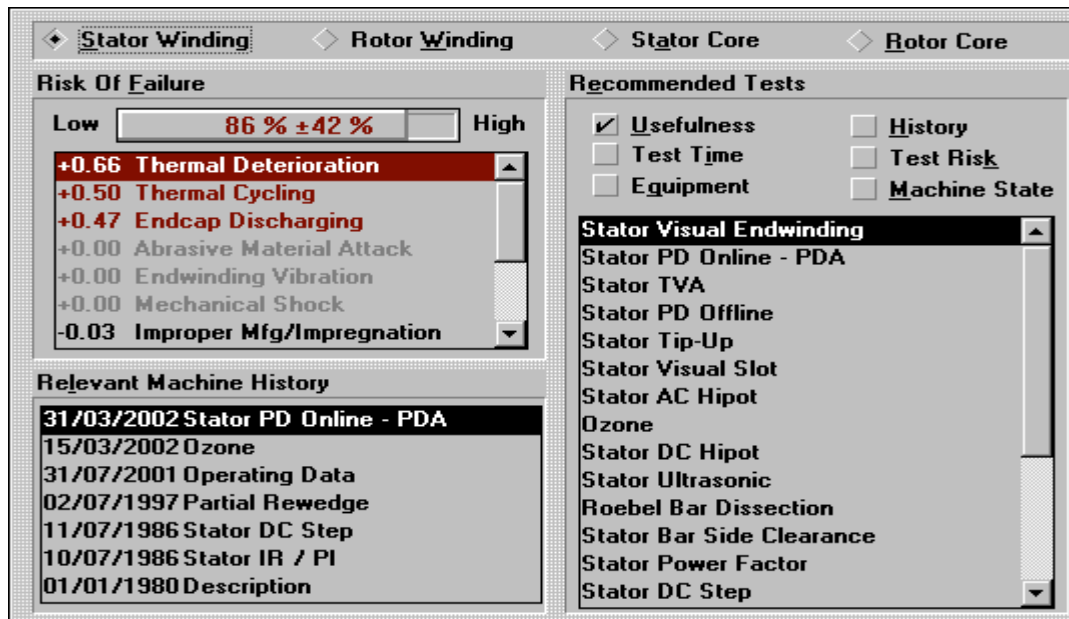


FIGURA 1 – DIAGNÓSTICO DO GERADOR 4 DE GBM, EFETUADO COM O MICA

7.0 - EXPERIÊNCIA COM OS GERADORES DE SCX

Os geradores da UHE Salto Caxias foram concebidos desde o projeto com diversos sistemas de monitoramento, incluindo descargas parciais, entreferro, vibração e cavitação. Em operação desde 1999, os resultados da utilização destes sistemas também indicam que não há nenhum modo de falha em rápida progressão, quer seja no gerador, quer seja na turbina. Deve-se salientar que parte deste desempenho deve ser creditada à participação efetiva das engenharias de construção e de manutenção da Copel Geração na fase de projeto, quando foi possível

agregar à experiência dos fabricantes o conhecimento adquirido na construção e operação das usinas anteriores à SCX (Segredo e Foz do Areia).

Veja-se na Figura 2 o resultado do diagnóstico do MICA para o gerador 1 de SCX, efetuado em 16/07/2002.

O resultado das demais máquinas é bastante semelhante ao da máquina 1. Pode-se notar que nenhum modo de falha foi relacionado com valores acima de zero, isto é, com alguma probabilidade de estarem ocorrendo.

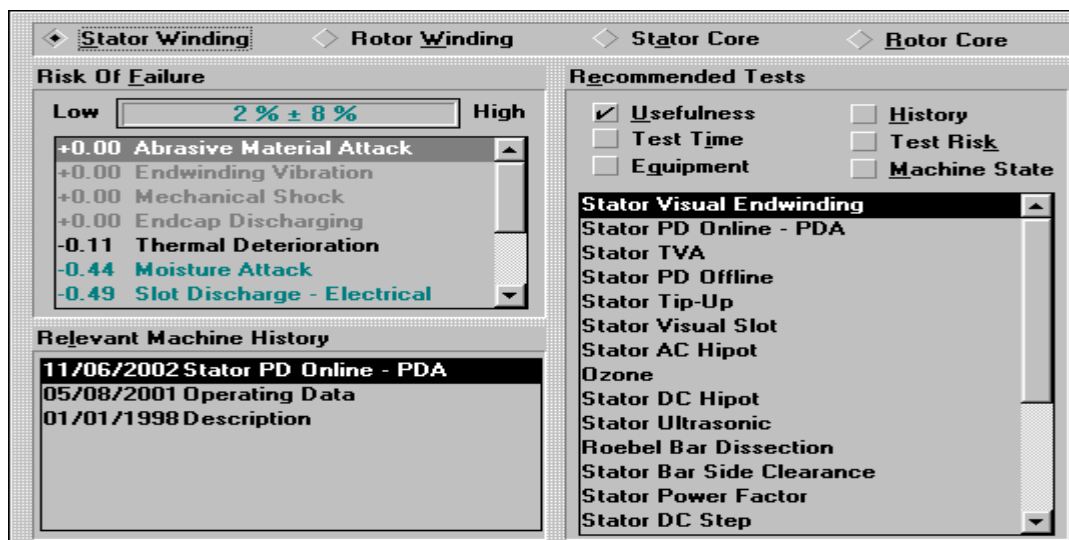


FIGURA 2 – DIAGNÓSTICO DO GERADOR 1 DE SCX, EFETUADO COM O MICA

8.0 - CONCLUSÕES

Instalar sistemas de monitoramento nos principais equipamentos eletromecânicos de uma usina hidrelétrica, considerando-se o elevado custo destes sistemas, e não extrair deles o máximo em termos de informação a fim de implantar um efetivo sistema de manutenção preditiva, é um contra-senso. É necessário, para isto, quebrar o arraigado paradigma da manutenção tradicional, que visa, às vezes a qualquer custo e sob as mais diversas formas de justificativa, a preservação do equipamento. Isto implica em conhecer e adotar técnicas como a Manutenção Baseada em Confiabilidade (MBC), que praticamente obrigam o pessoal de manutenção a documentar e a justificar todas as atividades de manutenção perante todas as áreas técnicas envolvidas na operação e manutenção das usinas. É claro que deve existir uma confiança mínima nos sistemas de monitoramento implantados. É igualmente claro que não se deve esperar muito mais do que a atual tecnologia destes sistemas pode oferecer. Muitos dos sistemas atualmente existentes ainda estão muito longe do necessário para prescindirmos dos ensaios tradicionais com máquina parada, mas muitos já podem ser utilizados sem sobressaltos. O desenvolvimento de novas técnicas de monitoramento e diagnóstico, além do aprimoramento das já existentes, ainda é muito necessário, devendo contar com estreita colaboração entre os fabricantes e os usuários dos sistemas. Isto não significa instalar novos sistemas indiscriminadamente, mas inserir as atividades de desenvolvimento dentro de um programa planejado de P&D, de forma a garantir um nível mínimo de confiabilidade aos novos sistemas antes de sua efetiva utilização comercial.

9.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Fogaça, A. J. N. Análise do diagnóstico do isolamento do enrolamento estatórico dos geradores da UHE GBM. Relatório Técnico 0019/1999 Curitiba, PR, Set 1999;
- (2) Fogaça, A. J. N. Análise do diagnóstico do isolamento do enrolamento estatórico dos geradores da UHE GBM. Relatório Técnico 0001/2002. Curitiba, PR, Jan 2002;
- (3) Fogaça, A. J. N. Análise do diagnóstico do isolamento do enrolamento estatórico dos geradores da UHE SCX. Relatório Técnico 0024/2001. Curitiba, PR, Jun 2001;
- (4) Stone, G.C. Calibration of PD measurements for motor and generator windings; IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.14, no.1, January/February 1998;
- (5) Iris Power Engineering Inc.. PD Seminar – Theory and detection; Curitiba, PR, Abril 1998.