



**XXIII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GPC/21
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – V

**GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA
- GPC**

PRINCÍPIO BÁSICO UTILIZANDO AS NOVAS TECNOLOGIAS APLICADAS A GERADORES ELÉTRICOS

**Marius Cloutier
VibroSystM Inc.**

**Marc Bissonnette
VibroSystM Inc.**

RESUMO

Este artigo ilustra estudos de caso nos quais a maioria das novas e avançadas tecnologias não conseguiu detectar complicações maiores, enquanto o monitoramento relativamente simples poderia ter impedido o resultado desastroso.

Os casos relatados são aqueles de núcleos do estator queimados, que atingiram o seu ponto de derretimento em algumas áreas.

O mapeamento térmico do núcleo do estator e das barras do estator é a solução proposta.

O presente artigo tem como objetivo mostrar como a nova tecnologia patenteada, aplicada a uma medição básica como a temperatura, pode salvar um usuário do desastre.

Palavras-chave

Núcleo do estator, barras do estator, monitoramento de temperatura, monitoramento online.

1.0 INTRODUÇÃO

Por muitos anos, as concessionárias do setor de energia elétrica tiveram graves e, por vezes, desastrosos problemas devido ao superaquecimento do núcleo do estator.

Nós todos sabemos que a causa principal do referido superaquecimento é a corrente magnética conhecida como correntes de Foucault.

Quando o fluxo magnético circula livremente numa dada seção do núcleo do estator, ele causa uma deterioração das camadas de isolamento, o que posteriormente gera ainda mais calor num ambiente já em alta temperatura.

Em alguns casos, o aumento da temperatura é tão extremo que pode mesmo causar o derretimento desta seção do núcleo, como mostrado nas Figuras 1-(a) e Figura 1-(b). O fato de que a indústria do aço comumente utiliza os fenômenos das correntes de Foucault para derreter o ferro é um bom exemplo de sua eficácia. Isso conhecido, os fabricantes de geradores lutam com essa realidade diariamente e esperam encontrar formas de minimizar os seus efeitos.



Figura 1-(a) Exemplo de um núcleo de estator queimado.



Figura 1-(b) Exemplo de um núcleo de estator queimado.

2.0 FABRICAÇÃO AVANÇADA DO NÚCLEO DO ESTATOR

De modo a minimizar a destruição do núcleo do estator, devido a correntes de Foucault, e para evitar os altos níveis de perdas por aquecimento, o núcleo do estator é feito de camadas muito finas de chapas de aço isoladas. Estas chapas de aço são colocadas uma em cima da outra, a fim de obter uma boa trajetória magnética e tentar reduzir os efeitos das correntes de Foucault. Em um gerador eléctrico, milhares de chapas laminadas são utilizadas para construir um núcleo de tamanho significativo, normalmente com uma superfície aproximada de 30m², como exemplificado na Figura 2. A Figura 3, da revista Cigré Electra, mostra a estrutura completa da extremidade do núcleo do estator.



Figura 2: Processo de laminação e tamanho do estator

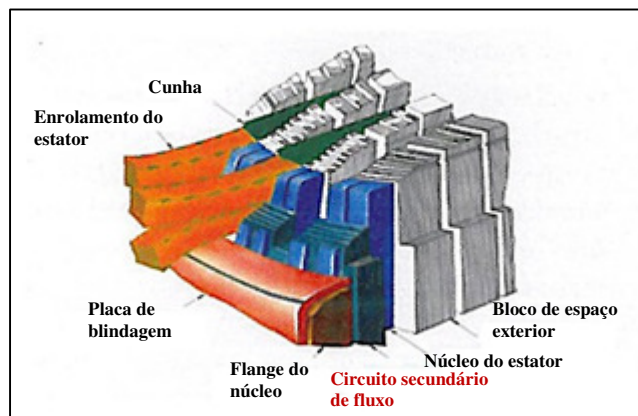


Figura 3: Estrutura de extremidade do núcleo do estator. Fonte: Cigré Electra, Edição N.265, dezembro de 2012

A indústria de geração de energia elétrica ainda está à procura de uma maneira confiável para identificar os curto-circuitos que ocorrem entre as laminações. Até agora não se conhecem sistemas on-line que fornecem informações confiáveis sobre este assunto. Mesmo com um sistema off-line, nós não somos capazes de adquirir indicações incontestáveis sobre a existência de curto-circuitos significativas entre laminações (como citado na Rome EPRI Meeting em abril de 2013).

As tecnologias off-line mais comuns utilizadas para testar a integridade do núcleo do estator são o Electromagnetic Imperfection Detector (ELCID) e o Ring Flux Test. A Figura 4, da revista Cigré Electra, é uma imagem térmica gerada pelo Ring Flux Test.

Elas são até agora as melhores tecnologias off-line, mas ambas são condicionadas por algumas ambiguidades ou fragilidades. Os utilizadores enfrentam algumas restrições, mesmo se os resultados não mostram quaisquer anomalias em termos de laminações reduzidas. Suas limitações são bem descritas em vários trabalhos apresentados em "EPRI 2013".

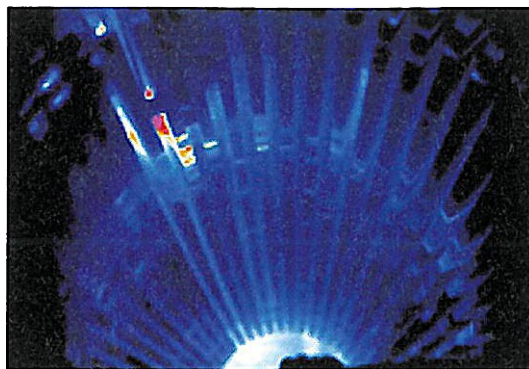


Figura 4: Exemplo de imagem térmica. Fonte: Cigré Electra, Edição N.265, dezembro de 2012

3.0 PROTEÇÃO REAL EXISTENTE

Em termos de métodos de proteção existentes, há muito pouco sendo feito para prevenir o superaquecimento de um núcleo de estator, mesmo se o referido superaquecimento é grave o suficiente para derreter seções do núcleo, como mostrado na Figura 5.



Figura 5: Inspeção de espaço vazio de dutos de resfriamento em zona superaquecida

Projetistas de geradores elétricos, turbo, bem como hidro, estão muito preocupados com as perdas resistivas dentro das barras do estator. Existem duas fontes principais para o superaquecimento das barras do estator: o efeito da corrente de saída direta do gerador (50 Hz ou 60 Hz) e, mais uma vez, as correntes de Foucault. A proteção é assim fornecida por meio de sensores térmicos (RTDs), localizados dentro das fendas do estator, entre duas barras do estator.

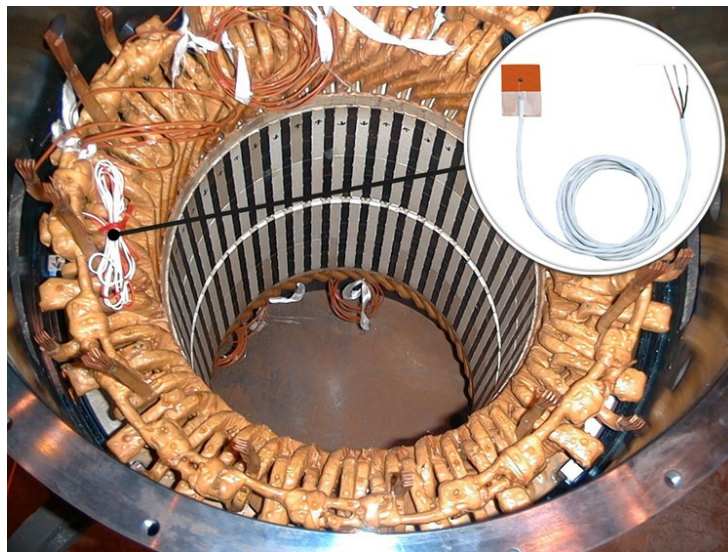


Figura 6: RTDs, localizados dentro das fendas do estator

A Figura 6 demonstra onde os RTDs são colocados a fim de proteger as barras contra o superaquecimento e para permitir o monitoramento e proteção online das próprias barras. Devido ao elevado número de barras do estator, os RTDs são colocados apenas em um certo número de fendas. A fim de reduzir a conexão confusa criada por um elevado número de fios, isto geralmente significa uma quantidade de cerca de 6 ou 12. No caso dos turbogeradores, a situação não é tão ruim, devido ao menor número de barras, que são cerca de 50. No entanto, no caso dos hidrogenadores, 6 ou 12 sensores não são certamente um grande número, levando em consideração que estas unidades são normalmente feitas com cerca de 500 barras do estator. A experiência confirmou que sensores embutidos de temperatura nas fendas entre duas barras do estator é uma excelente maneira de monitorar a temperatura da barra do estator. No entanto, como demonstrado nas Figuras 1a e 1b, o fato de que os sensores foram instalados não impediu que o estator queimasse. Em alguns casos, além dos RTDs, geradores são equipados com monitoramento de temperatura do ar ou hidrogênio. O monitoramento dos sistemas de resfriamento é fornecido através de medição de temperatura online das entradas e saídas dos fluidos de resfriamento. Os fluidos sendo um ou mais dos seguintes: ar, hidrogênio ou água. Esta é uma excelente maneira de monitorar a

temperatura global ou média de um gerador. No entanto, e tal como o monitoramento de temperatura entre as fendas da barra do estator, ele nunca vai impedir que eventos catastróficos causados por um ponto aquecido no núcleo do estator. Alguns pontos aquecidos podem atingir níveis de derretimento do metal, sem chegar, e, portanto, ativar, o alarme do sistema de proteção.

4.0 MONITORAMENTO ONLINE DE PONTO AQUECIDO NAS EXTREMIDADES DO NÚCLEO DO ESTATOR COMO SOLUÇÃO PROPOSTA

O foco deste artigo é demonstrar a necessidade de um sistema online de monitoramento de ponto aquecido no núcleo do estator.

A informação mais importante e útil é necessária quando a máquina está em operação ou a ser usada.

Tendo em conta o comportamento da máquina quando em uso, a solução proposta é a obtenção de informações detalhadas sobre a distribuição de temperatura do núcleo do estator. Esta informação permitirá aos usuários adquirir todos os dados necessários sobre a integridade do núcleo. O mapeamento térmico mostra os locais de pontos aquecidos e proporciona uma avaliação do desempenho do núcleo do estator.

A imagem seguinte (ver Figura 7-(a)) mostra o resultado catastrófico do superaquecimento. Isto poderia ter sido evitado, equipando o núcleo do estator com os sensores de temperatura digitais cuidadosamente distribuídos, como mostrado na Figura 7-(b). Estes sensores digitais tornam o uso de inúmeros fios obsoleto, pois a sua instalação é feita através da conexão do mesmo par de fios. O núcleo do estator é então monitorado através desses sensores. As informações sobre a temperatura de cada sensor são transferidas através de um único cabo de comunicação conectado a uma unidade de aquisição de dados para arquivar e mapear.



Figura 7-(a): Resultado de um sistema de proteção com núcleo desprotegido de estator

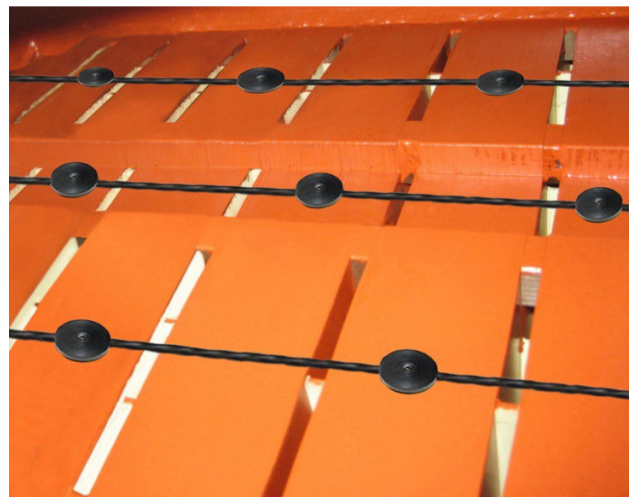


Figura 7-(b): Estator com proteção térmica

5.0 MAPEAMENTO TÉRMICO DO NÚCLEO DO ESTATOR

Em um esforço para lidar com a crescente preocupação com o superaquecimento, o mapeamento térmico é realizado usando uma tecnologia de software patenteada, segundo a qual a informação detalhada sobre avaliação do núcleo do estator é fácil de entender. A Figura 8 é um exemplo de mapeamento de temperatura do núcleo do estator.

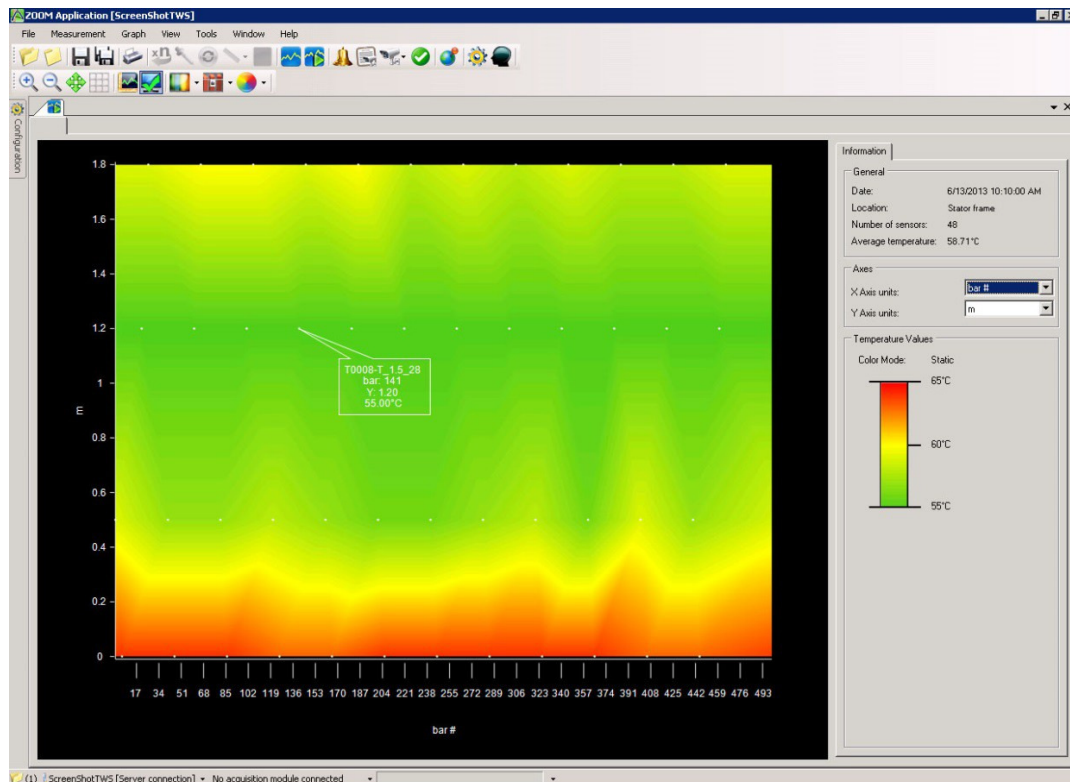


Figura 8: Mapeamento térmico do estator

Tal mapeamento térmico de um núcleo do estator proporciona informação valiosa sobre o comportamento térmico de um núcleo estator, especialmente os pontos aquecidos ou lâminas encurtadas.

6.0 A SITUAÇÃO MAIS COMUM

Ao monitorar a temperatura do estator, nós sabemos por experiência que o acesso a algumas partes de um gerador pode ser difícil e em alguns casos até mesmo impossível, especialmente nas máquinas existentes.

A experiência também nos ensinou que os problemas de laminação do núcleo do estator são típicos de uma certa fonte, também sabemos onde pontos aquecidos têm a maior probabilidade de ocorrência: pilhas de chapas de aço laminadas isoladas são mantidas juntas com parafusos de compressão, completadas com placas finais em cada extremidade do estator

Armazenar as informações térmicas é uma ferramenta poderosa para a avaliação do núcleo do estator e o efeito do envelhecimento ao longo dos anos, uma vez que o software permite o mapeamento térmico e a avaliação das tendências. Mais do que tudo, tal monitoramento permite um dispositivo de alarme que irá prevenir eventos catastróficos, como o núcleo queimado do estator mostrado anteriormente.

A instalação de sensores estrategicamente distribuídos em um núcleo de estator existente pode ser difícil devido a algumas áreas inacessíveis do núcleo do estator. Um lote pode ser alcançado através da instalação de sensores térmicos em ambas as extremidades do núcleo. Muitos dos problemas de perda de isolamento de laminação são causados por vibrações de laminação resultantes da folga dos suportes das pilhas: parafusos se soltam, resultando na vibração de laminações.

Por exemplo, depois de muitos ciclos de temperatura elevada, os parafusos podem ser permanentemente deformados, quando o limite de elasticidade for ultrapassado, resultando em um empilhamento com folgas do estator.

Seguindo estas folgas, o fenômeno da vibração de laminação do núcleo do estator começa nas extremidades do núcleo do estator e é aí que o isolamento de laminação começa a deteriorar-se, causando um curto-circuito entre as laminações. As perdas por correntes de Foucault se tornam mais significativas e a temperatura do núcleo aumenta nesses locais, o que intensifica a pressão sobre o isolamento. O fenômeno é típico e instável: uma vez iniciado, ele cria um ponto aquecido que destrói os isolamentos adicionais com chapa de aço até o ponto de derretimento de uma parte do núcleo do estator, assim como mostrado nas Figuras 1a e b.

A maneira mais segura de proteger o núcleo do estator da sua máquina é a instalação de sensores que permitem o mapeamento abrangente de todo o núcleo do estator. Como demonstrado nas Figuras 9, 10, 11 e 12, se o

acesso completo ao núcleo do estator não é possível, a proteção de ambas as extremidades já está cobrindo a parte mais importante do núcleo do seu estator.

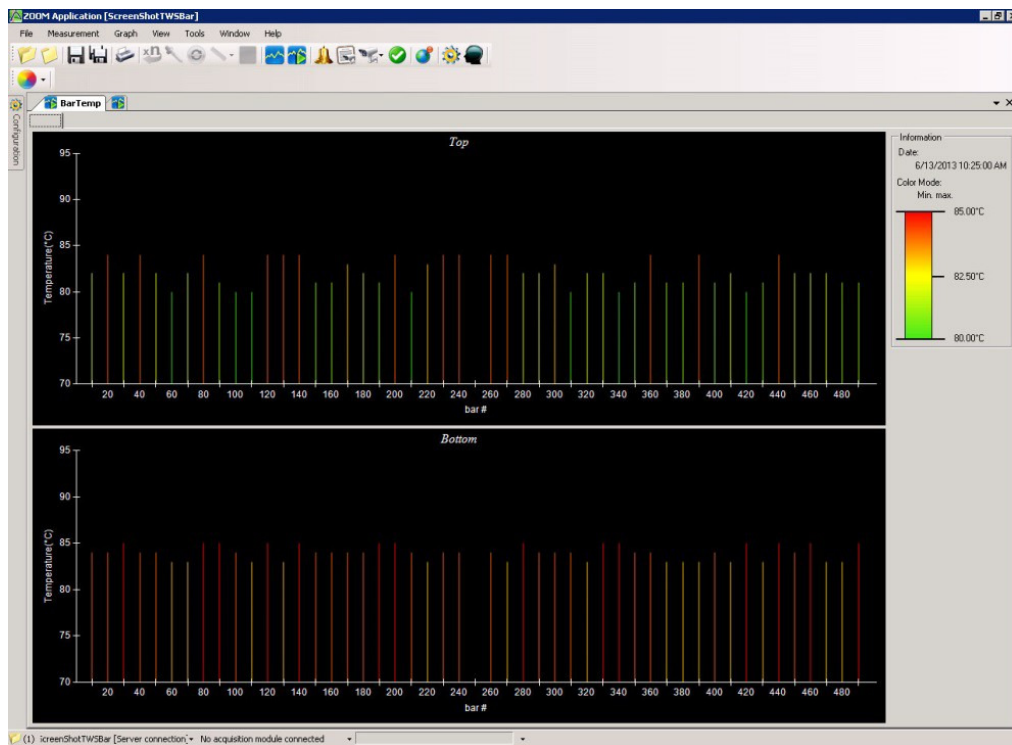


Figura 9: Gráfico de temperatura das barras do estator

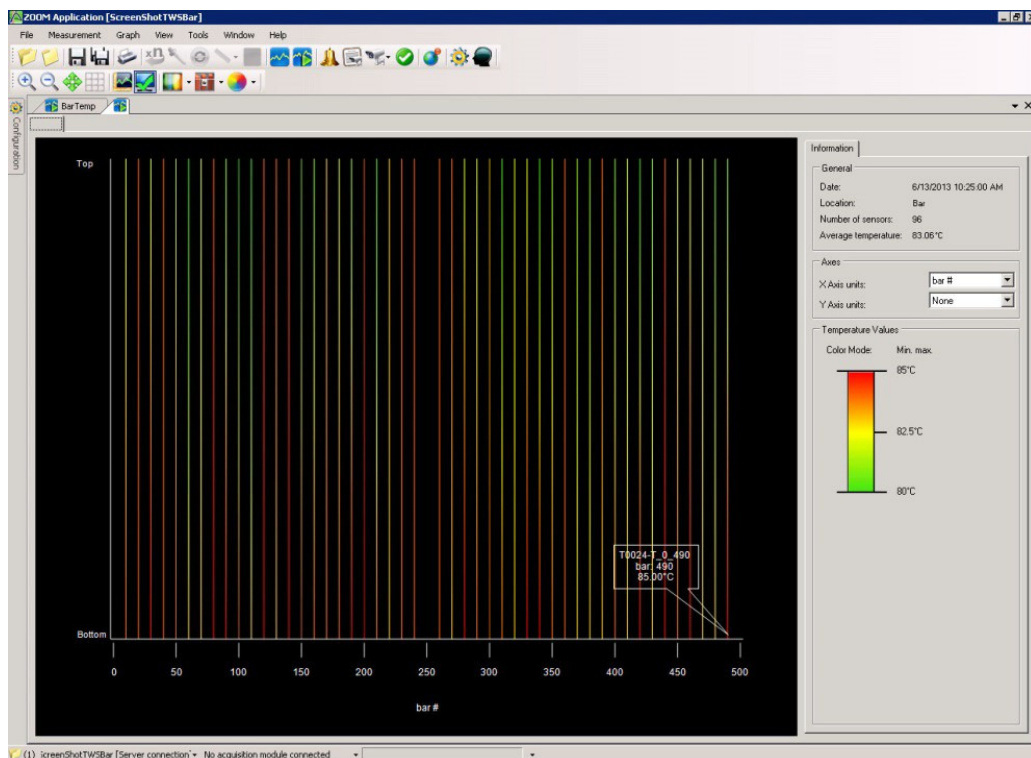


Figura 10: Gráfico mostrando as medições de temperatura na parte superior e na parte inferior das barras do estator

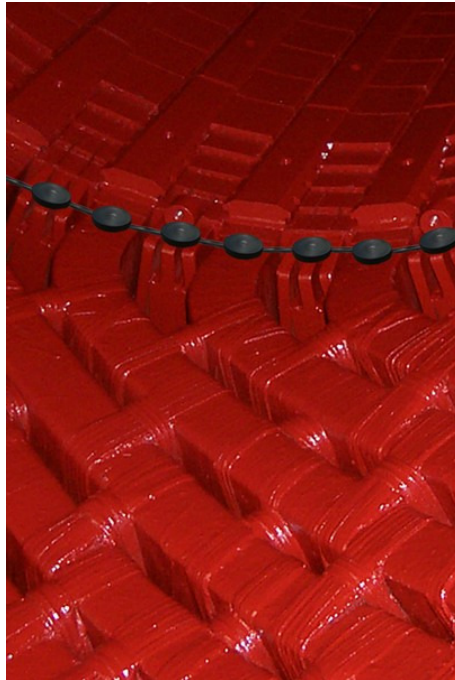


Figura 11: Sensores de temperatura instalados nas extremidades do núcleo do estator de um turbogerador



Figura 12: Sensores de temperatura instalados nas barras do estator de um hidrogerador

7.0 CONCLUSÃO

Problemas de avaliação da qualidade do núcleo de estator são bem conhecidos na indústria de geração de energia.

Até o momento, as ferramentas de avaliação foram aplicáveis apenas offline. Este artigo reflete um sistema online patenteado e contínuo que proporciona uma ferramenta de análise e proteção fácil de instalar, e, além disso, fácil de entender. Este sistema pode fornecer aos operadores de gerador uma solução econômica e livre de estresse, simplesmente usando os valores dos parâmetros básicos que irão prevenir situações catastróficas de superaquecimento do núcleo de estator.

8.0 BIBLIOGRAFIA

(1) NEIL CONNOLLY (CONVENER), Guide for the Prevention of overfluxing of generators, Technical Brochure 517 WG A1.01, Cigré Electra Edition N.265, dezembro de 2012

1.0 DADOS BIOGRAFICOS

- Nome: Marius Cloutier
- Local e ano de graduação: Bacharelado (1969) e Mestrado (1971) em Ciências pela Universidade de Sherbrooke Teologia pela Universidade de Montreal (1983)
- Experiência profissional: Presidente da VibroSystM desde junho de 1987, ele também é um membro da Ordre des Ingénieurs du Québec, IEEE e Cigré. Com uma sólida formação como Líder de Projeto no IREQ - L'Institut de Recherche d'Hydro-Québec (Instituto de Pesquisa Hydro-Québec), de 1971 a junho de 1987, o Sr. Cloutier é responsável pela orientação técnica da empresa, com ênfase especial no desenvolvimento de engenharia de alta tecnologia.