

Detecção de Falhas de Rotor em Geradores Síncronos através do Campo Magnético Externo

Luciano B. Antunes, Carlos A. C. Wengerkievicz,
Cristian F. Mazzola, Vinicius J. M. Nascimento,
Alexandre H. Brescovitt e Nelson J. Batistela
*Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Brasil*

Luciano M. de Freitas
*ENGIE Brasil Energia
Florianópolis, Brasil*

Resumo: Geradores síncronos são responsáveis por grande parte da geração energética do setor elétrico brasileiro. Paradas não-programadas para manutenção de unidades geradoras, as quais podem acarretar na interrupção do fornecimento de energia e em multas para a empresa geradora, podem ser evitadas pelo emprego de sistemas de monitoramento de condição da máquina. Neste artigo, o monitoramento do gerador é realizado através do campo magnético externo. Foram realizados ensaios em uma bancada de testes que permite a imposição controlada de falhas incipientes. Analisou-se espectros em frequência de sinais medidos, resultando em indicativos para detecção e classificação da natureza de falhas de rotor.

Palavras-chave: Gerador síncrono, detecção de falhas, campo magnético externo, análise em frequência.

I. INTRODUÇÃO

No contexto das máquinas de grande potência, a interrupção inesperada pode gerar diversos transtornos. No caso de motores industriais, a parada não programada pode acarretar em perda de produção. Em unidades geradoras, há o corte do fornecimento de energia para consumidores do sistema elétrico, o que pode levar à perda na qualidade de energia, bem como a possíveis multas à concessionária. Em ambos os casos há prejuízos aos envolvidos. Estes transtornos podem ser minimizados pela adoção de sistemas de monitoramento de condição de máquina, que permitem que a manutenção seja realizada de forma preditiva, isto é, de maneira programada a partir da detecção de alterações no funcionamento da máquina.

Várias técnicas de detecção de anormalidades em máquinas elétricas são encontradas na literatura, usando diferentes grandezas para o monitoramento das condições internas do equipamento. Por exemplo, em [1] é abordado um sistema que monitora a vibração da máquina, e em [2] se analisa o comportamento da corrente de armadura.

Os trabalhos de [3] e [4] mostraram a viabilidade de detecção de falhas através da medição de fluxo magnético interno e externo. A empresa Iris Power possui um equipamento comercial que realiza a detecção de falhas de rotor em geradores síncronos através do monitoramento do fluxo interno [5]. O equipamento analisa o comportamento do sinal de fluxo ao longo do tempo e identifica se esse sinal ultrapassa limiares pré-definidos.

O objetivo deste trabalho foi investigar a detecção e a diferenciação de falhas de rotor através da análise de espectros

em frequência dos sinais de sensores por indução posicionados na carcaça do gerador através de um indicador relacionado à amplitude da fundamental elétrica. A referência [6] realizou uma investigação semelhante. Os ensaios experimentais são realizados em uma bancada de testes que permite a inserção de falhas incipientes em um gerador síncrono de 8 polos salientes [4] e [6]. A análise do espectro em frequência do fluxo magnético em geradores síncronos é um tema ainda em aberto, como abordado em [4].

II. ESPECTRO EM FREQUÊNCIA EM GERADORES SÍNCRONOS

A frequência de rotação mecânica (f_{mec}) se relaciona com a frequência elétrica de alimentação (f_{el}) através de (1), sendo P o número de polos.

$$f_{mec} = \left(\frac{2}{P}\right) f_{el} \quad (1)$$

Em uma máquina ideal, a menor frequência presente no fluxo magnético de entreferro é a componente fundamental elétrica, pois a cada um polo sul e norte a forma de onda de fluxo se repetirá, gerando uma forma de onda alternada. Contudo, em máquinas reais, os polos do rotor sempre serão levemente diferentes entre si, de maneira que o fluxo apresentará uma componente na frequência de rotação mecânica e suas harmônicas [6]. Quanto maior for a diferença entre os polos, maior é a tendência de aumento desta componente [6]. Em [4] e [6] é mostrado que um resultado semelhante ocorre no campo magnético externado.

Este artigo propõe a detecção de falhas através do monitoramento das Distorções Harmônicas Individuais (DHIs). A DHI da componente i é definida conforme (2), sendo $A_{mec,i}$ a amplitude da harmônica i de rotação mecânica e A_{el} a amplitude da fundamental elétrica. Os casos estudados são de retirada de espiras de um polo do rotor e de deslocamento do eixo.

$$DHI_i = 100 \cdot \left(\frac{A_{mec,i}}{A_{el}}\right) \quad (2)$$

III. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Realizaram-se ensaios de imposição de falhas em um gerador síncrono especial de 8 polos salientes e 72 ranhuras [6]. Distribuiu-se sensores por indução na carcaça do gerador nas posições 45° e 135°, como mostra a Fig. 1.

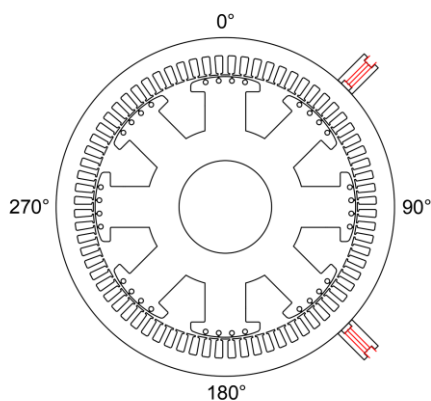


Fig. 1. Posicionamento dos sensores por indução na carcaça do gerador.

Nos ensaios, manteve-se o ponto de operação do gerador constante em 6 kVA, fator de potência de 0,8 indutivo e sincronizado com a rede de distribuição em 60Hz. Realizaram-se dois ensaios. No primeiro, reduziu-se progressivamente o número de espiras de um polo do rotor (0%, 20%, 50%, 100% e novamente 0% do número total) sem desligar o gerador. No segundo ensaio, deslocou-se o eixo do gerador verticalmente no sentido do chão de 0,5 mm em um dos lados e 1 mm no outro. O entreferro nominal é de 2 mm. Neste caso, foi necessário parar a máquina para aplicar a falta.

IV. RESULTADOS E ANÁLISES

A Fig. 2 apresenta as DHIs para as componentes espectrais de 15, 30 e 45 Hz em função das medições ao longo do tempo dos ensaios tanto de retirada de espiras de um polo do rotor e quanto de deslocamento de eixo.

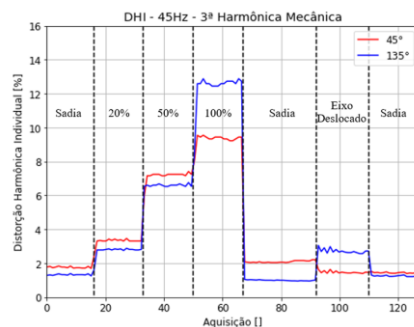
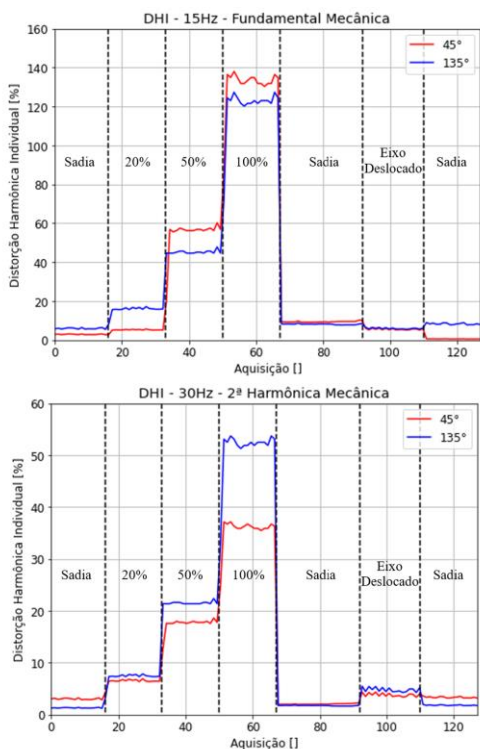


Fig. 2. DHIs de 15, 30 e 45 Hz em função das medições.

A retirada de espiras de um polo do rotor apresenta aumento expressivo da DHI das três componentes analisadas, para todos os graus de severidade da falta. Além disso, em ambos os sensores, obteve-se um comportamento similar. Para o deslocamento de eixo, observa-se que a componente fundamental mecânica não apresentou variação significativa. Para as suas 2ª e 3ª harmônicas, as alterações foram mais significativas. Para a 3ª harmônica, houve um comportamento distinto em função do posicionamento dos sensores.

V. CONCLUSÃO

Observou-se que na retirada de espiras de um polo do rotor houve aumento das três DHIs analisadas em todos os posicionamentos dos sensores. No caso do deslocamento de eixo, não há alteração expressiva na componente fundamental mecânica, e ocorreram leves alterações das 2ª e 3ª harmônicas. A diferenciação do tipo de falta pelo indicador DHI não se mostrou ainda viável.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi motivado e parcialmente custeado no âmbito do programa de P&D ANEEL e desenvolvido no Programa de P&D PD-00403-0048/2019 da Engie Brasil Energia e Itá Energética S.A, intitulado "Equipamento não Invasivo para Detecção de Falhas em Geradores Síncronos através do Campo Magnético Externo", e realizado com apoio da CAPES - Código de Financiamento 001, e do CNPq.

REFERÊNCIAS

- [1] S. NADARAJAN, et al, "Vibration signature analysis of stator winding fault diagnosis in brushless synchronous generators". IEEE International Transportation Electrification Conference (ITEC), Chennai, 2015.
- [2] C. C. M. CUNHA, "Modelagem, análise e detecção de assimetrias de rotor em máquinas de indução". Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.
- [3] A. YAZIDI et al., "Flux signature analysis: an alternative method for the fault diagnosis of induction machines," IEEE Russia Power Tech, 2005.
- [4] H. F. SANTOS, "Detecção e avaliação de faltas em geradores síncronos por meio de históricos de harmônicos do campo magnético externo". Tese de doutorado, Florianópolis, 2021.
- [5] IRIS POWER, "ROTOR FLUX MONITORING (SYNCHRONOUS MACHINES)". Disponível em: <https://irispower.com/monitoring/rotor-flux-monitoring/?assetId=73>. Acesso em: 29/11/2021
- [6] M. RIGONI, "Desenvolvimento de um sistema de detecção e avaliação de faltas em geradores síncronos por meio do campo magnético externo". Tese de doutorado, UFSC, 2014.