

ANÁLISE TEÓRICA E EXPERIMENTAL DO FUNCIONAMENTO DE GERADORES SÍNCRONOS DE PÓLOS SALIENTES EM REGIME PERMANENTE NÃO SENOIDAL

Wagner Eduardo Vanço, Fernando Bento Silva, Luciano Martins Neto (Dr.)

Mestrandos em Engenharia Elétrica na Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.

Professor da Faculdade de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Uberlândia

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Laboratório de Máquinas e Aterramentos Elétricos, Uberlândia – MG, wagner_vanco@hotmail.com, fbentosilva@hotmail.com, lmn@ufu.br

Resumo - O presente trabalho tem como objetivo o estudo do comportamento de geradores síncronos de pólos salientes em regime permanente não senoidal. A análise leva em consideração os impactos da poluição harmônica causada pelas cargas não lineares, no funcionamento dos geradores síncronos de pólos salientes operando em paralelo com o sistema elétrico de potência e isoladamente.

Palavras-Chave - Cargas Lineares, Cargas não lineares, Conteúdo Harmônico, Distorção Harmônica, Gerador Síncrono, Pólos Salientes.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF SALIENT POLE SYNCHRONOUS GENERATOR OPERATION UNDER NON-SINUSOIDAL STEADY-STATE

Abstract - This work aims to study the behavior of salient pole synchronous generator behavior under non-sinusoidal steady-state. The analysis takes into account the impacts of harmonic pollution caused by non-linear loads, the operation of the salient pole synchronous generators operating in parallel with the electric power system and isolation.

Keywords - Harmonic Content, Harmonic Distortion, Linear Loads, Non-linear Loads, Salient Pole Synchronous Generator.

NOMENCLATURA

V_{cc}	Componente de tensão contínua [V]
V_{nm}	Tensão máxima [V]
sen	Seno
cos	Cosseno
ω	Velocidade de rotação [rad/s]
α	Ângulo de fase
θ	Ângulo espacial com origem em uma das fases do estator

t	Tempo [s]
$h = 1$	Componente fundamental
DHT	Distorção harmônica Total
DHI_v	Distorção harmônica individual de tensão
DHI_i	Distorção harmônica individual de corrente
DHT_v	Distorção harmônica total de tensão
DHI_i	Distorção harmônica total de corrente
V_{ef}	Valor eficaz [V]
f_{mm}	Força Magnetomotriz em [A.e]
f_{mm_h}	Força Magnetomotriz de ordem “h” [A.e]
f	Frequência [Hz]

I. INTRODUÇÃO

Tendo em vista o desenvolvimento do país nas últimas décadas e o consumo por energia elétrica crescendo em significativa escala, a estabilização entre geração e demanda de energia elétrica tem se tornado prioridade governamental. Desde os últimos apagões em 2001, tem-se notado o quão importante o planejamento da expansão de geração de energia elétrica, recentemente a construção de novas unidades geradoras é a solução para evitar que ocorra falta de energia no país [1], evitando que setores industriais e comerciais desacelerem quanto a produtividade, prejudicando-os financeiramente. Em outros termos, a falta de energia elétrica resulta em sérios problemas de produção, financeiros e sociais para qualquer organização. A energia elétrica é a base de qualquer sociedade, sua falta resulta no colapso financeiro, já que a produtividade e o desenvolvimento econômico de um país pode ser mensurada conforme o consumo de energia.

A geração é tão importante quanto a transmissão e a distribuição de energia elétrica, pois os geradores síncronos tem como função principal, realizar a conversão de energia mecânica em energia elétrica [2]. Dessa forma, o presente trabalho visa analisar o comportamento de geradores síncronos em regime permanente não senoidal, ou seja o estudo está direcionado a geradores síncronos que são usados em hidrelétricas, térmicas, nucleares, centrais de pequeno



XII CEEL – ISSN 2178-8308
13 a 17 de Outubro de 2014
Universidade Federal de Uberlândia – UFU
Uberlândia – Minas Gerais – Brasil

porte, dentre outros. Podem ser ligados ao sistema interligado nacional de energia ou atuar de forma isolada, por exemplo em casos emergenciais em hospitais, indústrias, empresas de telecomunicações, etc. A qualidade da energia elétrica gerada é fundamental para o sistema elétrico, uma preocupação é a distorção na forma de onda de tensão ou corrente alternada gerada, causadas por harmônicos (múltiplos inteiros da frequência fundamental do sistema).

As cargas não lineares são responsáveis pela geração de harmônicos, devido aos chaveamentos dos dispositivos que empregam eletrônica de potência. Este problema em regime permanente não senoidal, irá se refletir na forma e operação do gerador síncrono: rendimento, fator de potência, aquecimento e instabilidades. Tais anomalias se refletirão no aumento das perdas elétricas (estresse térmico e dielétrico), e danos mecânicos, o que, do ponto de vista elétrico e econômico, não é interessante.

Resultados teóricos já apontavam efeitos danosos ao gerador, de imediato com a queda global de rendimento, e futuramente, com a ocorrência de falhas, principalmente mecânicas, que podem colocá-lo em risco de acidente. Fazendo parte deste estudo, motivado principalmente pelos resultados teóricos até então obtidos, na tentativa de ter um respaldo vindo da prática, ou seja, das máquinas que estão funcionando nas usinas, medições, bem atuais, feitas em usinas elétricas de concessionária de grande porte, mostram a distorção harmônica total de tensão em torno de 3%, enquanto que o de corrente atinge valores próximos a 10%. Na decomposição em harmônicos, a tensão apresenta o terceiro harmônico totalmente predominante, enquanto que para a corrente, os harmônicos de ordem quinto, sétimo, e décimo primeiro, são os que predominam. Estes resultados demonstram, na prática, que a presença das distorções harmônicas na corrente dos geradores são, na sua grande maioria, devido as cargas não lineares. O desenvolvimento deste estudo até então, mostra a necessidade focando a aplicação dos resultados teóricos, até o momento obtidos, com a prática

A análise do estudo do gerador síncrono de pólos salientes em regime permanente não senoidal, permite o estudo do funcionamento de geradores síncronos operando isoladamente e os problemas elétricos resultantes em análise do quadro atual de alimentação do sistema elétrico brasileiro. Questões quanto ao regime não senoidal permite uma análise crítica do que pode ser feito para melhorar o funcionamento da máquina síncrona de pólos salientes, permitindo-a que opere em condições satisfatórias.

II. DISTORÇÕES HARMÔNICAS EM MÁQUINAS SÍNCRONAS E EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

Sabe-se que o conteúdo harmônico existente na rede elétrica, seja tensão ou corrente provoca danos aos equipamentos que estão ligados a ela, e inclusive aqueles que geram o harmônico (componentes eletroeletrônicos), a eletrônica abre um campo inovador para as aplicações em sistemas de potência, atendendo as necessidades práticas do cenário elétrico atual [3]. Os níveis de harmônicos em um circuito podem ser tolerados conforme a susceptibilidade da carga ou da fonte de potência, equipamentos cuja precisão

deve ser uma alimentação senoidal como aparelhos para comunicação, processamento de dados e geradores síncronos são prejudicados em seu rendimento ou perdas, além de sobrecarregá-los, necessita-se de um melhor material isolante em seus componentes [3].

Os harmônicos podem ser representados pela soma de senóides pela Série de Fourier [4] tem-se:

$$v(t) = V_{cc} + \sum_{n=1}^{\infty} V_{nm} \times \text{sen}(n\omega t + \alpha_n) \quad (1)$$

A forma de onda distorcida por uma série de senóides pode ser representada pela teoria convencional de análise de circuitos elétricos, o único problema é que se deve analisar cada frequência separadamente. A distorção harmônica de tensão é consequência da distorção harmônica de corrente que circula na impedância do determinado circuito elétrico, existe uma queda de tensão de mesma frequência para cada harmônico, totalizando a distorção harmônica [4].

Segundo a norma IEC 60034-1, para máquinas síncronas os critérios atuais obedecidos determinam que a porcentagem de distorção de corrente é de no máximo 5% em regime permanente, o cálculo é realizado conforme a equação 5.

Existem três parâmetros adotados para mostrar o conteúdo harmônico em qualquer onda elétrica. Para corrente e tensão, o cálculo de distorção harmônica individual e total sendo o valor eficaz apenas para tensão.

Distorções Harmônica Individual

$$DHI_v(\%) = \left(\frac{V_h}{V_1} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$DHI_i(\%) = \left(\frac{I_h}{I_1} \right) \times 100 \quad (3)$$

Distorções Harmônica total

$$DHT_v(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=n} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (4)$$

$$DHT_i(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=n} I_h^2}}{I_1} \times 100 \quad (5)$$

Valor Eficaz

$$V_{ef} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h=n} V_h^2} \quad (6)$$

Note que o valor eficaz da tensão de várias componentes harmônicas não refere a soma aritmética da tensão de cada componente.

III. ANÁLISE DA MÁQUINA SÍNCRONA: ESTUDO DAS OSCILAÇÕES DE CONJUGADO

A análise do funcionamento da máquina síncrona em regime permanente não senoidal é fundamental para ponderar as oscilações de torque eletromagnético devido a presença de harmônicos nas correntes do estator do gerador, ocasionando perdas e redução da vida útil do equipamento, logo é imprescindível atenuar as oscilações de conjugado [3].

Visando o exame qualitativo já que quantitativamente é proveniente da análise computacional e procedimento experimental, esta observação simples leva em consideração a distribuição senoidal da força magneto motriz gerada por cada enrolamento, não considerando efeitos dos harmônicos espaciais dos componentes de "fmm" produzida pelos enrolamentos do gerador síncrono por correntes não senoidais é dada pela seguinte expressão:

$$fmm = \sum fmm_h \quad (7)$$

Tem-se,

$$fmm_h = K \times I_h \times [\cos(\theta) \times \cos(h\omega t) + \cos(\theta - 120) \times \cos(h(\omega t - 120)) + \cos(\theta + 120) \times \cos(h(\omega t + 120))] \quad (8)$$

Utilizando a equação (8), para valores ímpares de "h":

$$h = 1 \rightarrow fmm_1 = 1,5 \times K \times I_1 \times \cos(\theta - \omega t) \quad (9)$$

$$h = 3 \rightarrow zero \quad (10)$$

$$h = 5 \rightarrow fmm_5 = 1,5 \times K \times I_5 \times \cos(\theta + 5\omega t) \quad (11)$$

$$h = 7 \rightarrow fmm_7 = 1,5 \times K \times I_7 \times \cos(\theta - 7\omega t) \quad (12)$$

Para demais harmônicas a regra é apenas mudar o índice h, ou seja para a próximo valor de h:

h = 9 igual a h = 3

h = 11 igual a h = 5

h = 13 igual a h = 1

e assim sucessivamente.

As fórmulas harmônicas equações (9) a (12) expressam as "fmm's" cuja velocidades angulares são constantes (em relação ao estator, Figura 1), de acordo com elas podemos expressar essas "fmm's" pela equação horária do movimento circular uniforme [3]:

$$\theta = \omega t \quad (13)$$

$$\theta = -5\omega t \quad (14)$$

$$\theta = 7\omega t \quad (15)$$

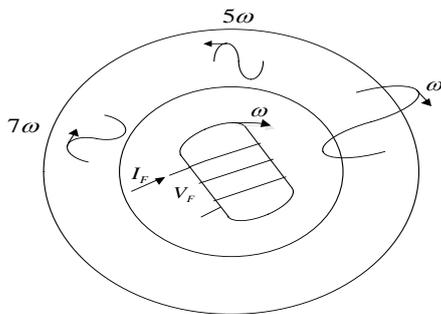


Fig. 1. Componente de "fmm".

Isso quer dizer que a componente fundamental possui velocidade angular " ω ", a componente de quinto harmônico velocidade de " 5ω ", mas no sentido oposto a componente fundamental e a componente de sétimo harmônico com velocidade angular de " 7ω " e sentido igual a componente fundamental [3].

O campo magnético gerado pela componente de quinto harmônico do estator, produz no enrolamento de campo do rotor uma tensão induzida de " 6ω " resultado de " $5\omega + \omega$ " e a componente de sétimo harmônico produz a mesma tensão induzida de " 6ω " (" $7\omega - \omega$ "), essas tensões induzidas de frequência " 6ω " produzem uma corrente de excitação na mesma frequência provocando perdas na superfície do rotor. As correntes de quinto e sétimo harmônico resultam um torque contínuo de sexto harmônico no rotor do gerador, como esses valores de aproximam da frequência total do acoplamento (turbina + rotor) poderá alcançar a fadiga mecânica cujas consequências são imprevisíveis e certamente um efeito danoso a estrutura [5].

IV. SIMULAÇÃO DIGITAL

As simulações computacionais foram realizadas pelo programa Simulink/Matlab.

Gerador Operando em Paralelo

É modelado um gerador de 160MVA, 16,5KV, 56 polos, Estrela, 60 Hz, alimentando carga resistiva e carga não linear (retificador trifásico), conectado ao barramento infinito. O conteúdo harmônico de cada componente harmônica contido nas Tabelas é obtido pelas equações (2) e (3), a distorção harmônica total de tensão e corrente por (4) e (5), respectivamente.

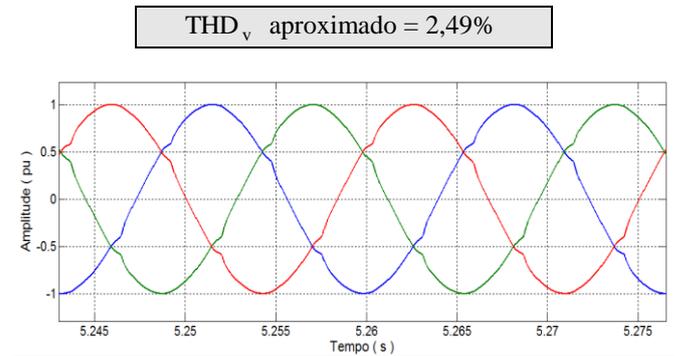


Fig. 2. Forma de onda de tensão

Tabela I – Decomposição harmônica de tensão

Fnd	h3	h5	h7	h9
100,00%	0,02%	1,57%	0,95%	0,01%
h11	h13	h15	h17	h19
1,01%	0,82%	0,01%	0,66%	0,57%
h21	h23	h25	h27	h29
0,00%	0,39%	0,34%	0,00%	0,20%

THD_i aproximado = 8,65%

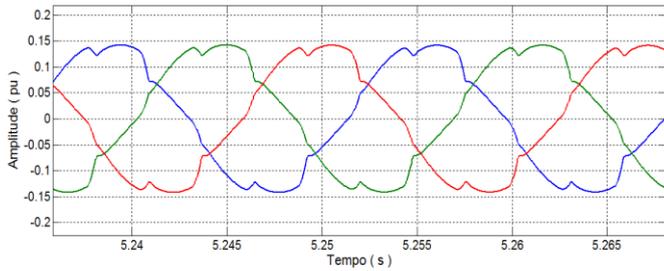


Fig. 3. Forma de onda de corrente

Tabela II – Decomposição harmônica de corrente

Fnd	h3	h5	h7	h9
100,00%	0,08%	6,98%	3,16%	0,02%
h11	h13	h15	h17	h19
2,67%	1,94%	0,01%	1,46%	1,19%
h21	h23	h25	h27	h29
0,02%	0,80%	0,69%	0,01%	0,41%

Gerador Operando Isoladamente

Gerador “ilhado” de 2KVA, 220V, 4 pólos, Estrela, alimentando uma carga resistiva de 1100W e carga não linear de 400W (retificador trifásico).

$$\text{THD}_v \text{ aproximado} = 2,31\%$$

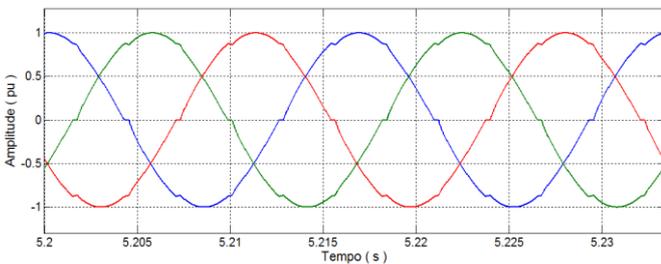


Fig. 4. Forma de onda de tensão

Tabela III – Decomposição harmônica de tensão

Fnd	h3	h5	h7	h9
100,00%	0,00%	1,54%	0,66%	0,00%
h11	h13	h15	h17	h19
0,98%	0,51%	0,00%	0,67%	0,41%
h21	h23	h25	h27	h29
0,00%	0,47%	0,32%	0,00%	0,34%

$$\text{THD}_i \text{ aproximado} = 4,34\%$$

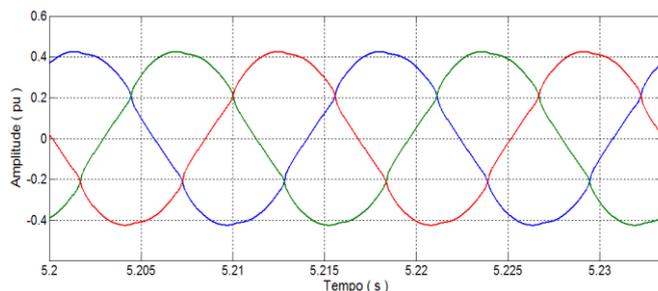


Fig. 5. Forma de onda de corrente

Tabela IV – Decomposição harmônica de corrente

Fnd	h3	h5	h7	h9
100,00%	0,00%	3,77%	1,43%	0,00%
h11	h13	h15	h17	h19
1,16%	0,73%	0,00%	0,55%	0,43%
h21	h23	h25	h27	h29
0,00%	0,31%	0,27%	0,00%	0,19%

V. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Gerador Operando em Paralelo

Realizada leituras em campo em uma usina hidrelétrica de uma concessionária de energia.

$$\text{THD}_v \text{ aproximado} = 2,67\%$$

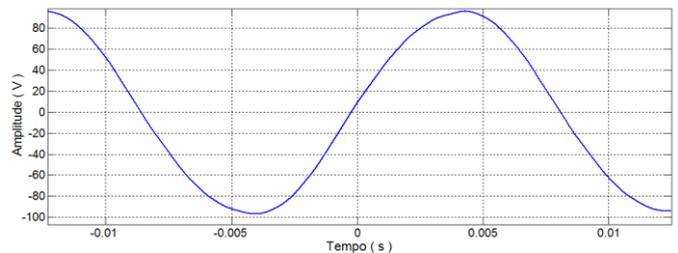


Fig. 6. Forma de onda de tensão

Tabela V – Decomposição harmônica de tensão

Fnd	h3	h5	h7	h9
100,00%	2,59%	0,45%	0,26%	0,12%
h11	h13	h15	h17	h19
0,04%	0,07%	0,07%	0,11%	0,09%
h21	h23	h25	h27	h29
0,08%	0,08%	0,08%	0,08%	0,08%

$$\text{THD}_i \text{ aproximado} = 8,45\%$$

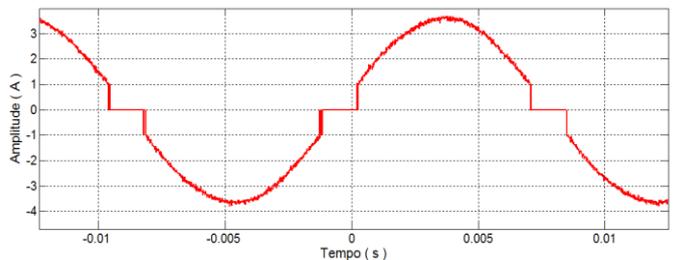


Fig. 7. Forma de onda de corrente

Tabela VI – Decomposição harmônica de corrente

Fnd	h3	h5	h7	h9
100,00%	2,38%	3,37%	4,01%	3,79%
h11	h13	h15	h17	h19
3,34%	2,19%	0,98%	0,23%	0,88%
h21	h23	h25	h27	h29
1,44%	1,54%	1,04%	0,53%	0,26%

Gerador Operando Isoladamente

$$\text{THD}_v \text{ aproximado} = 2,40\%$$

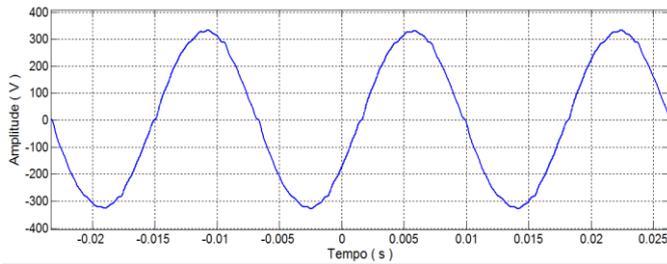


Fig. 8. Forma de onda de tensão

Tabela VII – Decomposição harmônica de tensão

Fnd	h3	h5	h7	h9
100,00%	0,28%	1,29%	0,71%	0,11%
h11	h13	h15	h17	h19
0,73%	0,54%	0,07%	0,81%	0,46%
h21	h23	h25	h27	h29
0,09%	0,72%	0,37%	0,07%	0,46%

$$THD_i \text{ aproximado} = 4,36\%$$

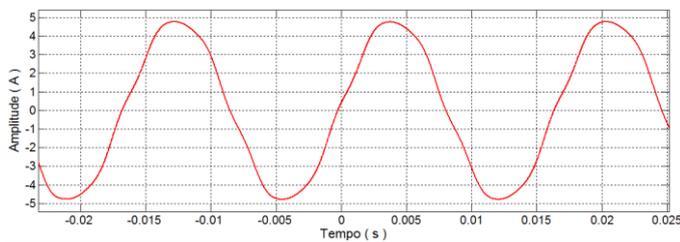


Fig. 9. Forma de onda de corrente

Tabela VIII – Decomposição harmônica de corrente

Fnd	h3	h5	h7	h9
100,00%	0,46%	3,67%	1,40%	0,22%
h11	h13	h15	h17	h19
1,06%	0,83%	0,05%	0,60%	0,38%
h21	h23	h25	h27	h29
0,07%	0,35%	0,36%	0,03%	0,22%

VI. OSCILAÇÕES DE TORQUE ELETROMAGNÉTICO

A corrente de excitação em regime permanente não senoidal sofre oscilações devido a indução tensões harmônicas no enrolamento de campo do rotor provocadas pelo campo magnético produzido pelas correntes harmônicas, a existência das perturbações em decorrência do conteúdo harmônico resulta em vibrações no eixo mecânico da máquina síncrona, influenciando seu funcionamento normal, essas oscilações são indesejáveis. Na Figura 9, o gerador conectado ao barramento infinito em regime permanente senoidal apresenta mínima oscilação do torque eletromagnético, enquanto que na Figura 10, gerador ilhado operando em regime permanente não senoidal, a oscilação do torque eletromagnético é notável. As oscilações de torque eletromagnético são bem mais acentuadas em geradores funcionando isoladamente, as oscilações de conjugado são mais preocupantes. As Figuras 10 e 11 mostram claramente que as oscilações são mais intensas do que se fosse o gerador operando em paralelo com o sistema de energia.

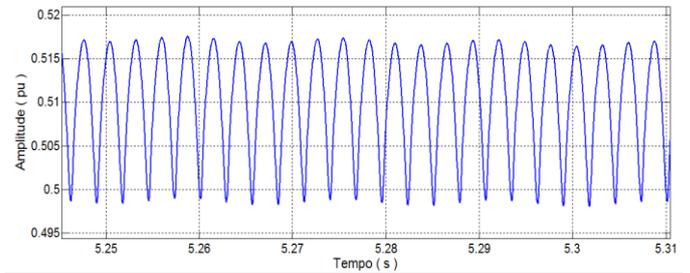


Fig. 10. Torque eletromagnético: gerador operando em paralelo

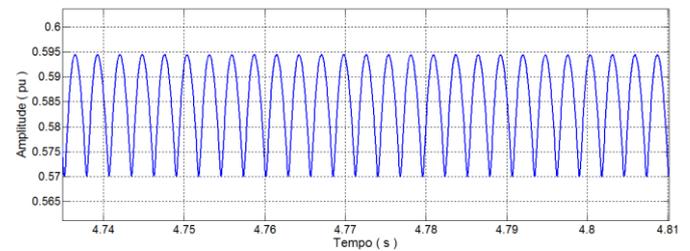


Fig. 11. Torque eletromagnético: gerador operando isoladamente

VII. ATENUAÇÃO DAS OSCILAÇÕES DE TORQUE ELETROMAGNÉTICO

É possível atenuar as oscilações de torque eletromagnético com a utilização de uma fonte de tensão variável em série com a fonte que fornece a corrente de excitação. As oscilações de conjugado podem provocar perdas internas no acoplamento mecânico, vibrações internas e eixos “turbinas-gerador”, prejudicando a estrutura das partes mecânicas do rotor e vida útil do gerador síncrono de pólos salientes. Devido a esses danos, o estudo da atenuação das oscilações de torque eletromagnético torna-se imprescindíveis [3].

A simulação digital proposta é um caminho da possibilidade de atenuação, várias possibilidades foram testadas, e aquela que melhor resultou a percepção da atenuação das variações de torque eletromagnético será aqui mostrada. A simulação foi realizada com gerador operando isoladamente Figura 12, uma vez que os geradores em ilha apresentam maiores distorções harmônicas comparados com os que operam em paralelo a rede.

Analisando o gerador alimentando a carga linear e não linear (regime permanente não senoidal), tem-se uma resposta de atenuação das oscilações de torque eletromagnético visível com a seguinte excitação:

$$V_f = 1 - 300 \times \text{sen}(6\omega t + 291,25) \text{ [pu]} \quad (16)$$

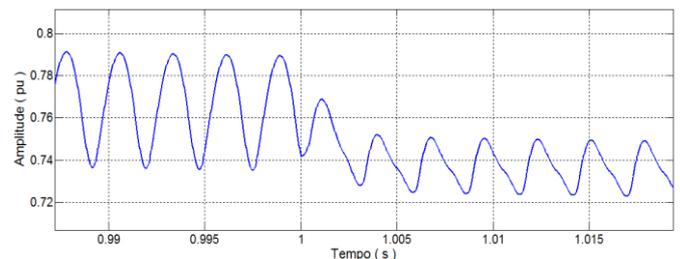


Fig. 12. Atenuação das oscilações de torque eletromagnético

Considerando um instante antes e posterior a ligação da excitação de frequência “ 6ω ”, tem-se a atenuação significativa das oscilações de conjugado.

VIII. CONCLUSÕES

Este estudo foi motivado pela constatação da necessidade de aumentar a vazão da água na turbina de usinas hidrelétricas para gerar a mesma quantidade de energia elétrica. Este fato começou a ser verificado nas usinas próximas a grandes centros industriais e de consumo energético, devido ao aumento das cargas não lineares, até então percebeu-se que o sistema elétrico estava com um nível de poluição harmônica considerável, fato que leituras efetuadas nos terminais dos geradores em todo país constavam-se de deformação na forma de onda de tensão e principalmente de corrente [6].

Os resultados da simulação digital e dos procedimentos experimentais indicam qualitativamente que as distorções harmônicas são originadas das cargas não lineares, mostrando o quanto atual é o problema, já que o crescimento de cargas não lineares está em grande expansão devido as inúmeras aplicações que eletrônica de potência proporciona. Observando uma análise quantitativa, nota-se que os geradores síncronos de pólos salientes que operam isoladamente tendem a sofrer maiores danos devido ao conteúdo harmônico, isso ocorre devido ser um circuito único, assim o único caminho de circulação das correntes harmônicas é entre o gerador e a carga. Quando o gerador está conectado ao barramento infinito tem-se o caminho de circulação de corrente harmônica para o sistema, caracterizando menor efeito de distorção harmônica nos terminais da máquina síncrona.

As oscilações de torque eletromagnético provocadas pelas cargas não lineares podem ser amenizadas com a ligação em série de uma fonte de corrente alternada de 6 vezes a frequência fundamental, essa proposta mostra teoricamente, se for possível construir uma máquina síncrona de pólos salientes que suporte valores em torno da magnitude de 300 vezes em relação a tensão de excitação é possível atenuar as oscilações de conjugado. Essa forma de atenuação do conjugado eletromagnético é uma maneira inovadora de resolver tais variações, mostrando que é possível conviver com o regime permanente não senoidal, não enxergando como algo extremamente problemático na geração de energia.

REFERÊNCIAS

- [1] RELATÓRIO ANEEL 10 anos / Agência Nacional de Energia Elétrica. – Brasília : ANEEL, 2008. 129 p. : il.
- [2] DEL TORO, Vincent. Fundamentos de máquinas elétricas. Rio de Janeiro: LTC, 1994.
- [3] ALVES, M. B. Análise teórica e experimental do comportamento do gerador síncrono de polos salientes em regime permanente não senoidal. 2011. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.
- [4] MURDOCH, A., D’ANTONIO, M.J., “Generator Excitation Systems – Performance Specification to Meet Interconnection Requirements”, IEEE International Electric.

- [5] ELETRIC POWER QUALIT CONTROL TECHNIQUES; Wilson E., PH.D. Kazibwe Musoke H., PH.D. Sendaula (Livro voltado para o Controle da Qualidade de Energia Elétrica.
- [6] MARTINS NETO, L. “Apostila de Fundamentos Eletromagnéticos Associados ao Funcionamento das Máquinas Elétricas”.
- [7] http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_motor Acesso em 20 de julho de 2012.
- [8] BORDA, L. A. Estudo dos harmônicos entre diferentes sistemas de excitação de máquinas síncronas. 2011. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.
- [9] FITZGERALD, A. E. Charles KINGSLEY Jr. Stephen D. UMANS. MÁQUINAS ELÉTRICAS – Com introdução à eletrônica de potência. Tradução Anatólio Laschuk – 6.ed.- Porto Alegre: Bookman, 2006. 648 p.
- [10] WEG, Curso DT- 5, Características e Especificações de geradores, 2012. 66 p. : il.
- [11] KOSOW, Irving L.: Máquinas Elétricas e Transformadores, Porto Alegre, Editora Globo, 1979. Or
- [12] JORDÃO, Rubens Guedes: Máquinas Síncronas, Rio de Janeiro/São Paulo, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A./Editora da Universidade de São Paulo, 1980.
- [13] BOFFI, Luiz V.; Sobral Jr., Manoel & Dangelo, José Carlos: Conversão Eletromecânica de Energia, São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda./Editora da Universidade de São Paulo, 1977.
- [14] ALVES, A. J. Uma modelagem da máquina síncrona considerando o efeito da curvatura da sapata polar. 2011. 103 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

DADOS BIOGRÁFICOS

Wagner Eduardo Vanço, nascido em 27/09/1990 em Araguari-MG, é engenheiro eletricista (2014) e mestrando atualmente pela Universidade Federal de Uberlândia. Suas áreas de interesse são: Máquinas Elétricas Especiais, Aterramentos Elétricos e Acionamentos de Máquinas Elétricas.

Fernando Bento Silva, nascido em 16/09/1986 em Pedrinópolis-MG, é engenheiro eletricista (2010) e mestrando atualmente pela Universidade Federal de Uberlândia. Suas áreas de interesse são: Máquinas Elétricas Especiais, Aterramentos Elétricos e Acionamentos de Máquinas Elétricas.

Luciano Martins Neto, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia de Lins (1971), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (1976) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (1980). Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Uberlândia. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Máquinas Elétricas, Aterramentos Elétricos e Projetos de Máquinas. Atua principalmente nos seguintes temas: gerador síncrono, gerador de indução, efeito harmônicos, saturação magnética, geração isolada, processos de estratificação do solo, modelagem de malhas de aterramento, comportamento do aterramento diante de descargas atmosféricas.