
ESTUDO DOS HARMÔNICOS ENTRE DIFERENTES SISTEMAS DE EXCITAÇÃO DE MÁQUINAS SÍNCRONAS

**Eng^o. M.Sc. Manoel Berto
Alves***
**Empresa Metropolitana de
Águas e Energia S.A.
Brasil**

Eng^o. Lucio Aparecido Borba
**Empresa Metropolitana de
Águas e Energia S.A.
Brasil**

**Prof. Dr Luciano Martins
Neto**
**Universidade Federal de
Uberlândia - UFU
Brasil**

Resumo — As centrais elétricas, em sua grande maioria e independente do seu tipo, utilizam as máquinas síncronas para a geração de energia elétrica. Nos últimos anos, muitas centrais elétricas, passaram por remodelações e reformas, com a substituição de seus sistemas do comando, controle, proteção e supervisão, não só por estarem se tornando obsoletos, mas também pelas dificuldades nos “retro-fits”, que tornou ainda mais difícil as manutenções dos sistemas convencionais. Soma-se a isto as exigências do setor elétrico na utilização de controles mais eficientes e rápidos.

Este quadro acima resultou em um grande avanço na aplicação das eletrônicas de potência e digital aos sistemas elétricos de potência. Tais sistemas, antes eletromecânicos ou eletro-eletrônicos, estão sendo substituídos por equipamentos que empregam as eletrônicas, de potência, e digital.

Um dos sistemas remodelados é os de excitação (gerador do campo das máquinas síncronas), que avançaram, dos sistemas de excitação com excitatriz de corrente contínua auto-excitadas, até os sistemas de excitação estática, onde a potência de excitação é obtida através de transformador e utilizando tiristores estáticos (eletrônica de Potência).

Essas eletrônicas de potências são cargas não lineares que geram harmônicos nas redes elétricas. Tais harmônicos influenciam negativamente na qualidade da energia gerada, trazendo conseqüências ruins, não só ao sistema elétrico, mas também as próprias máquinas síncronas.

Nesse trabalho foi estudada os níveis de harmônicos gerados por diferentes sistemas de excitações, com o intuito de atenuação dos mesmos. Sendo para tanto, utilizados modelos com configurações diferentes, empregados em máquinas síncronas. Alguns desses, são sistemas modernos tiristorizados com variação na realimentação, que serão comparados aos sistemas de excitação mais antigos com excitatriz de corrente contínua auto-excitadas.

Palavras chave: Harmônicos, Sistemas de Excitação, Máquinas Síncronas.

1 SIMBOLOS, SIGLAS E ACRONIMOS

$h = 1$ - Componente fundamental;

DHT - Distorção Harmônica Total;

DHI - Distorção Harmônica Individual;

DHT_v - Distorção Harmônica Total de Tensão;

DHT_i - Distorção Harmônica Total de Corrente;

AVR - Regulador Automático de Tensão;

FFT - Transformada rápida de Fourier;

VCC - Sistema de alimentação em corrente contínua;

VCA - Sistema de alimentação em corrente Alternada;

V - Tensão;

I - Corrente;

PCH - Pequenas Centrais Hidroelétricas.

* Eng^o. M.Sc. Manoel Berto Alves, Desenvolve suas atividades profissional, na Empresa de Águas e Energia S.A., na cidade de São Paulo - SP e acadêmicas junto a Universidade Federal de Uberlândia na Engenharia Elétrica, na cidade Uberlândia - MG - Brasil, no seu, doutoramento. mbaalves@terra.com.br

2 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tanto as centrais elétricas mais antigas como as mais novas, passaram por processos de remodelações e reformas com a substituição de seus sistemas de comando, controle, proteção e supervisão.

Dentre os fatores que motivaram tais processos destacam-se:

- O obsolescência;
- As dificuldades nos “retro-fits”, que refletem nas manutenções dos sistemas convencionais, e;
- As exigências do setor elétrico na utilização de controles mais eficientes e rápidos.

Esses processos tiveram como consequência o grande avanço da aplicação da eletrônica aos sistemas elétricos de potência. Os sistemas, antes eletromecânicos ou eletroeletrônicos, começaram a serem substituídos por equipamentos que empregaram eletrônica de potência em conjunto com a eletrônica digital.

Entre os sistemas remodelados destacam-se, os de excitação, os quais são responsáveis pela alimentação do campo das máquinas síncronas, e que avançaram das excitatrizes de corrente contínua auto-excitadas, para os sistemas de excitação estática, com reguladores automáticos de tensão, fundamentados na eletrônica de potência. Nesses sistemas, a fonte de potência, necessária para excitação das máquinas síncronas, é obtida através de um transformador conectado aos terminais de saída das máquinas, o secundário desse transformador alimenta os painéis com retificadores de sinais e reguladores de tensão, que são compostos por: diodos, tiristores, capacitores e filtros, e onde é gerado o sinal alternado que é convertido em sinal contínuo e também executado o controle da excitação da máquina. [10].

Vários componentes da eletrônica de potência presentes nos modernos sistemas de excitação são cargas não lineares, tem a necessidade de chaveamentos no controle das alimentações. Assim é, são cargas que apresentam uma corrente distorcida não senoidal, mesmo quando alimentadas por uma tensão de forma de onda puramente senoidal, e geram componentes harmônicas nas redes elétricas. Os harmônicos influenciam negativamente na qualidade da energia gerada, não só ao sistema elétrico, mas também as próprias máquinas síncronas geradoras da tensão e aos demais equipamentos conectados ao mesmo barramento. [8].

O órgão regulador do sistema elétrico brasileiro, ANEEL, bem como o Operador Nacional do Sistema - ONS estão cada vez mais exigentes quanto à qualidade da energia fornecida aos consumidores. Os sistemas de geração de energia elétrica podem controlar apenas a qualidade da tensão gerada.

A presença de harmônicas em sistemas elétricos de potência não é um fenômeno novo. Esforços para limitar o conteúdo de harmônicas para proporções aceitáveis já era preocupação dos engenheiros da comunidade da área de potência, no início do século passado. Naquela ocasião, a distorção era causada tipicamente pela saturação magnética de transformadores, e ou por certas cargas industriais, como fornos e soldadores a arco.

O trabalho buscou uma nova configuração para os sistemas de excitação das máquinas síncronas, em operação nos sistemas elétricos de potência, para que os valores de “DTH” fossem o menor possível, e que resultassem em novas especificações.

3 DISTORÇÕES HARMÔNICAS

Uma onda senoidal não periódica pode ser representada pela soma de ondas senoidais de diferentes frequências múltiplas inteiras da frequência fundamental. Tais frequências são chamadas de harmônicos da onda fundamental e a soma dessas senóides recebe o nome de Série de Fourier, conforme a expressão 1 a seguir. [9].

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

A distorção harmônica da tensão é o resultado da corrente harmônica circulando através da impedância do circuito elétrico. Para cada harmônico há uma queda de tensão de mesma frequência, resultando assim, na distorção total do circuito.

A Figura 1 ilustra o comportamento de um circuito onde uma onda periódica, não senoidal, é representada pela soma das ondas senoidais de diferentes frequências, que por sua vez, são múltiplas inteiras da frequência fundamental do circuito. [9].

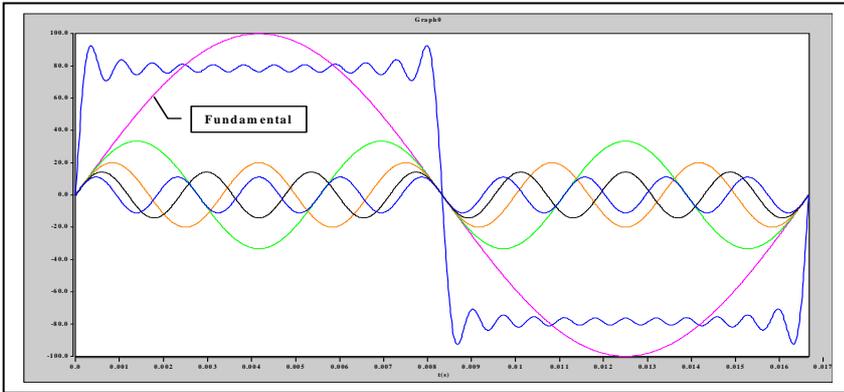


Figura 1 – Decomposição de onda distorcida em série de Fourier [9].

A Distorção Harmônica Individual, “DHI”, é um parâmetro adotado para indicar o conteúdo de harmônico presente em uma onda elétrica. Ele pode ser usado para o cálculo dos harmônicos da corrente, quanto para os calculo do conteúdo harmônicos da tensão, conforme as suas expressões 2 e 3 a seguir: [3].

- Para a tensão:

$$DHI_V(\%) = \frac{V_h}{V_1} \cdot 100; \quad (2);$$

- Para a corrente:

$$DHI_I(\%) = \frac{I_h}{I_1} \cdot 100. \quad (3).$$

Outro parâmetro utilizado para estimar o nível de distorção harmônica é o que mede a distorção harmônica total, “DHT”. Podendo ser utilizado para tensão quanto para corrente, sendo suas expressões 4 e 5 a seguir:

- Para a tensão:

$$DHT_V(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} V_h^2}}{V_1} \cdot 100; \quad (4);$$

- Para a corrente:

$$DHT_I(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} I_h^2}}{I_1} \cdot 100. \quad (5).$$

Em geral, o grau com que os harmônicos podem ser tolerados em um sistema de alimentação, depende da susceptibilidade da carga ou da fonte de potência. Os equipamentos menos sensíveis, geralmente, são os equipamentos de aquecimento.

Aqueles com carga resistiva, para os quais a forma de onda não é relevante. Os mais sensíveis são aqueles que, em seu projeto, assumem a existência de uma alimentação senoidal como, por exemplo, equipamentos de comunicação e processamento de dados e agora dentro desse trabalho os de geração de tensão, ou seja, as máquinas síncronas. No entanto, mesmo para as cargas de baixa susceptibilidade, a presença de harmônicas de tensão ou de corrente podem ser prejudiciais, produzindo maiores esforços nos componentes e isolantes.

4 EFEITOS EM MÁQUINAS ELÉTRICAS ROTATIVAS

O maior efeito dos harmônicos em máquinas rotativas, é o aumento do aquecimento em função do aumento das perdas no ferro e no cobre. Afetando-se, a sua eficiência e o torque disponível.

Um fenômeno importante que tem sua origem associada às componentes harmônicas são as oscilações mecânicas que envolvem a turbina.

As harmônicas nas máquinas síncronas, apresentam o aquecimento do rotor devido à interação entre pares de harmônicos de mesma frequência. Os harmônicos de 5ª e 7ª ordem induzem no rotor correntes de frequência igual a seis vezes a fundamental.

Os padrões internacionais de suportabilidade adotados para as máquinas síncronas são:

- 100% - Corrente nominal de seqüência positiva;
- 5% - Corrente de seqüência negativa. [8].

Comumente tem-se liberado estes 5% de tolerância para correntes harmônicas. A ocorrência simultânea de correntes harmônicas e componentes de seqüência negativa. A distorção harmônica é determinada pela expressão 6 a seguir:

$$DHT_I(\%) = \left(\sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{h_{\max}} I_h^2}{I_1^2}} \cdot 100 + \frac{I_{2-}}{I_1} \cdot 100 \right) \leq 5\%. \quad (6).$$

5 SIMULAÇÃO DIGITAL DOS SISTEMAS ATUAIS

Para as simulações foram construídos modelos de sistemas de excitação, com as características técnicas dos sistemas e das máquinas síncronas objeto dos trabalhos. Os modelos matemáticos de cada bloco, que foram utilizados na composição dos modelos dos sistemas, que faz parte da biblioteca do “SimPowerSystem”, ferramenta do “software” “Matlab”.

São mostrados na Tabela 1, os resultados obtidos nas simulações dos três modelos de sistemas de excitação, que são:

- Modelo 1 - Sistema de excitação com excitatriz, sem “AVR”;

- Modelo 2 - Sistema de excitação sem excitatriz, com “AVR” alimentado em VCA;
- Modelo 3 - Sistema de excitação com excitatriz, com “AVR” alimentado em VCA.

Para cada uma dos sistemas, foram executadas as simulações em 2 configurações distintas: com o gerador em vazio e com cargas lineares e não lineares. As medidas são tomadas na saída do gerador.

Configuração do Sistema	DHT _v [%]		
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Sem Carga	0,01	0,15	0,04
Com Carga	0,69	2,03	2,08

Tabela 1: Resumo dos valores das “DHT_v” dos modelos de sistemas de excitação.

Na análise dos resultados:

- Na configuração sem carga enquanto que os modelos 1 e 3, apresentam valores de “DHT_v” muito pequenos 0,01% e 0,04%, respectivamente, o modelo 2 apresenta um “DHT_v” de 0,15%, é um valor, baixo, porem bem mais alto relativamente aos outros dois sistemas. Como a diferença básica das três configurações é a presença da excitatriz nos modelos 1 e 3, com menores valores de distorção total, conclui-se que a presença da excitatriz e a regulação de tensão na máquina, traz resultados bem mais satisfatórios do ponto de vista de distorções harmônicas.
- Na configuração com cargas lineares e não lineares, apenas no modelo 1 manteve-se com um valor de “DHT_v” baixo, aproximadamente 0,69%. Para os modelos 2 e 3 o “DHT_v”, apresentaram valores de 2,03% e 2,08% respectivamente, onde pode-se concluir, ser não tão baixos em relação ao modelo 1. A diferença da elevação de valores observada, foi em função dos modelos 2 e 3, utilizar eletrônica de potência e a realimentação para o sistema de excitação na saída da máquina síncrona.

6 MEDIÇÕES REALIZADAS NOS SISTEMAS ATUAIS

Os resultados das medições referentes aos conteúdos harmônicos foram efetuados nas três configurações existentes, conforme apresentado na Tabela 2. Às medições foram realizadas com um aparelho analisador de qualidade de energia, interligado na saída da máquina síncrona, através de transformadores de potencial e transformadores de corrente. Esse equipamento possui um software, no qual é possível gerar gráficos das leituras efetuadas para análises.

Em cada uma das máquinas utilizadas para os trabalhos foram efetuadas as medidas de duas maneiras: uma com a máquina síncrona desconectada do sistema elétrico em operação de geração de tensão em vazio e a outra com máquina conectada ao sistema elétrico de potência.

Configuração do Sistema	DHT _v [%]		
	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Sem Carga	1,80	5,05	3,66
Com Carga	1,90	14,29	14,03

Tabela 2: Resumo dos valores das “DHT_v” dos sistemas de excitação.

São mostrados na Tabela 2, os resultados obtidos nas medições dos três modelos de sistemas de excitação, que são:

- Sistema 1 - Sistema de excitação com excitatriz, sem “AVR”;
- Sistema 2 - Sistema de excitação sem excitatriz, com “AVR” alimentado em CA;
- Sistema 3 - Sistema de excitação com excitatriz, com “AVR” alimentado em CA.

A comparando dos valores de medição expostos na tabela 2, estão apresentados a seguir:

- Na configuração Sistema 2 e sem carga, esse apresentou o maior valor de “DHTv” 5.05% entre os outros sistema, observado que o Sistema 3 também é apresentado um valor alto de “DHTv” 3,66% em relação ao Sistema 1, porem 27.52% abaixo do Sistema 2;

Na configuração dos três (03) sistemas, com as cargas, o maior valor de “DHTv” 14,29% apresentado, também está no sistema 2, mas como pode ser observado o sistema 3, onde o valor de “DHTv” 14,03%, diminuído o percentual entre os sistemas 2 e 3, antes era de “DHTv” 27.52% e com as cargas passou para uma diferença entre eles de “DHTv” 1,81%. Já para o Sistema 1 a variação para mais, foi de apenas 5,26% de “DHTv”, ou seja, antes sem carga o “DHTv” 1,80%, com as cargas fora observado o valor de “DHTv” 1,90%.

Na análise dos resultados obtidos nas simulações dos três modelos e com três sistemas, são confirmados pelas medições em campo, que o modelo e sistema 1, apresentou a melhor configuração do ponto de vista de geração de conteúdos de harmônicas para o sistema elétrico e principalmente, essa geração de harmônicas na saída das máquinas síncronas e que o sistema proposto deverá ser pelo menos melhor, igual ou próximo ao modelo e sistema 1.

7 SISTEMA DE EXCITAÇÃO INSTALADO COM A NOVA CONFIGURAÇÃO

Esta nova configuração de sistema de excitação, “modelo e sistema 4”, trata-se de um sistema com excitatriz rotativa e regulador automático de tensão, porém com a utilização de tiristores para controle da corrente de excitação. A realimentação derivada do campo do gerador principal com o controle executado no campo da excitatriz rotativa, sendo essa realimentação ligada após 20 segundos da partida do gerador. A alimentação inicial é executada pela aplicação de um sistema de corrente contínua independente, conforme diagrama elétrico simplificado a seguir, Figura 2.

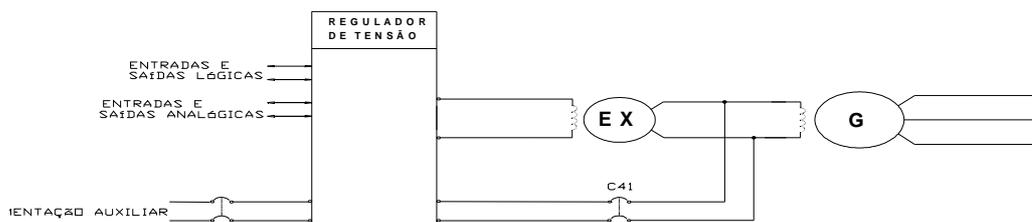


Figura 2 – Sistema de excitação com excitatriz e “AVR” alimentado em Corrente Contínua.

Os trabalhos para essa nova configuração foram iniciados pelas simulações de um modelo do sistema proposto, completando-se os trabalhos com análise e medições realizadas nesse sistema real montado em duas (02) máquinas síncronas de geração em uma usina da empresa “EMAE”.

Para a composição dessa novamente foram, utilizados os modelos matemáticos de cada bloco, da biblioteca do “SimPowerSystem”.

Essa nova configuração “Modelo e Sistema 4” é similar ao modelo e sistema 3, descrito anteriormente. Pois possui a excitatriz e o regulador automático de tensão, “AVR”, a corrente de campo do gerador, é fornecida pela excitatriz, a sua corrente de armadura da excitatriz é fornecida, inicialmente por uma fonte externa de corrente contínua e após o gerador atingir a sua rotação nominal, essa corrente passa a ser fornecida pelo transformador elevador conectado na saída da máquina síncrona, que alimenta um sistema de conversão de corrente alternada em corrente contínua, que alimenta a armadura da excitatriz. Essa conversão é também executada e controlada com eletrônica de potência.

A Figura 3, a seguir apresenta o gráfico da “FFT”, para o “Modelo e Sistema 4”, o gerador sem carga. O valor da “DHTv” é de apenas 0,04%, um valor baixo e igual ao modelo 3.

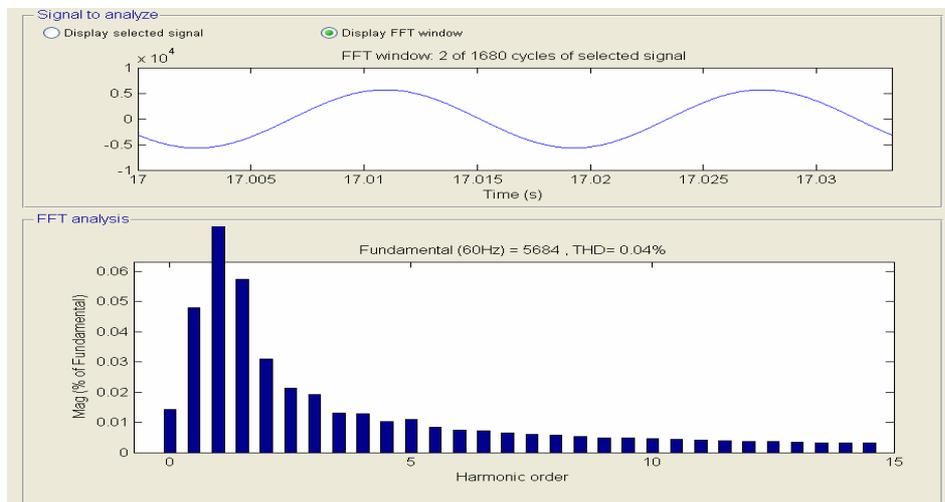


Figura 3 – Gráfico do “FFT” do Sistema com excitatriz e “AVR”, Gerador sem Carga.

A Figura 4, apresenta o gráfico da “FFT” das medições em campo, para o “modelo e sistema 4”, o gerador com carga. O valor da “DHTv” é de 2,06%, apesar de ter aumentado em relação ao modelo e sistema 1 de valor de “DHTv” é de 1,90%, esses valores de “DHTv”, 14,29% e 14,03%, ainda são bem inferiores aos modelos e sistemas 2 e 3, estudados anteriormente.

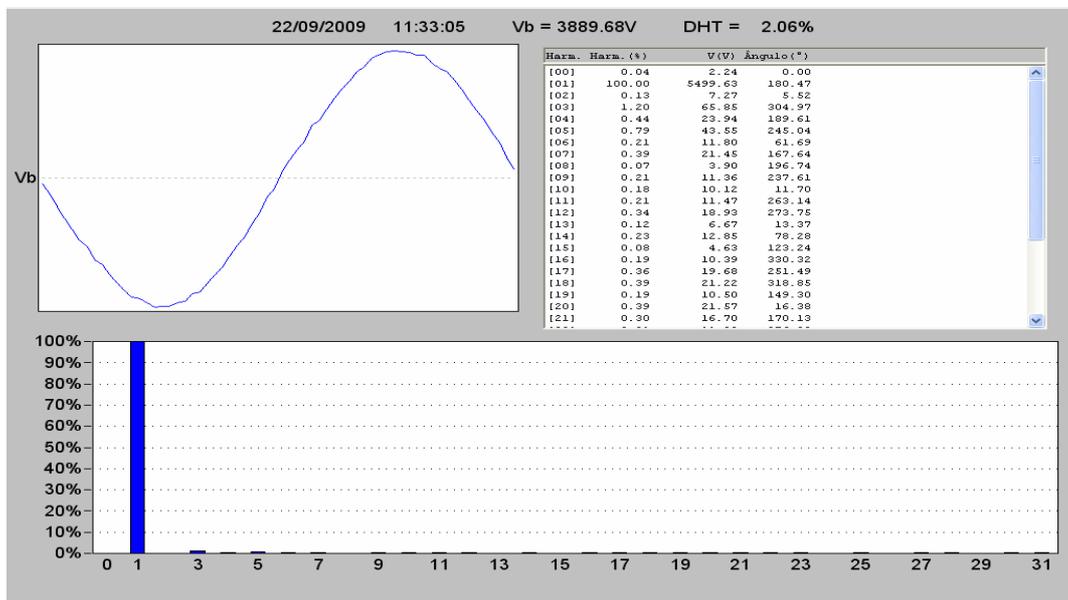


Figura 4 – Medições com Gerador conectado ao sistema elétrico.

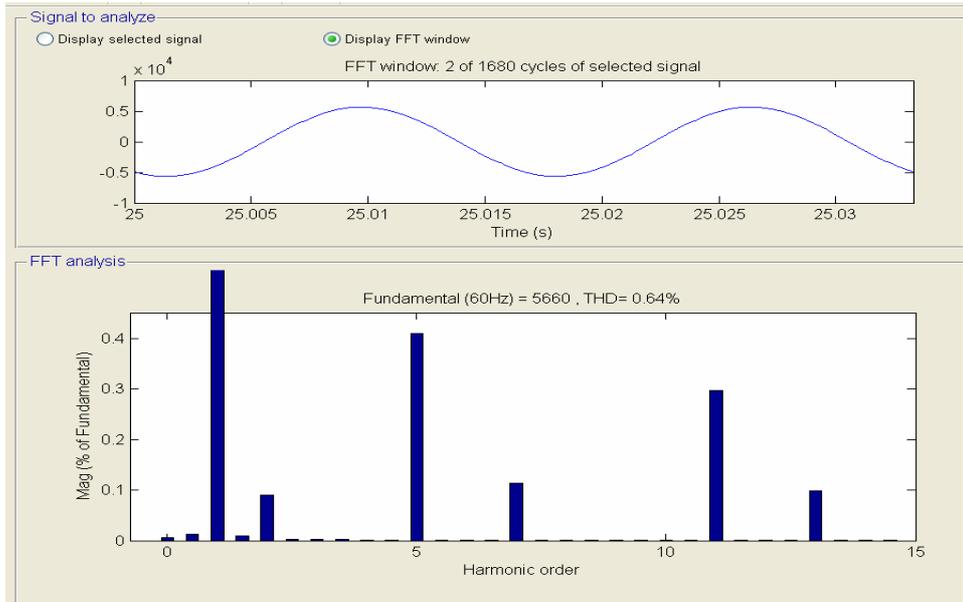


Figura 5 – Gráfico da “FFT” do Simulado para o modelo 4 do sistema com excitatriz e AVR, Gerador com Carga.

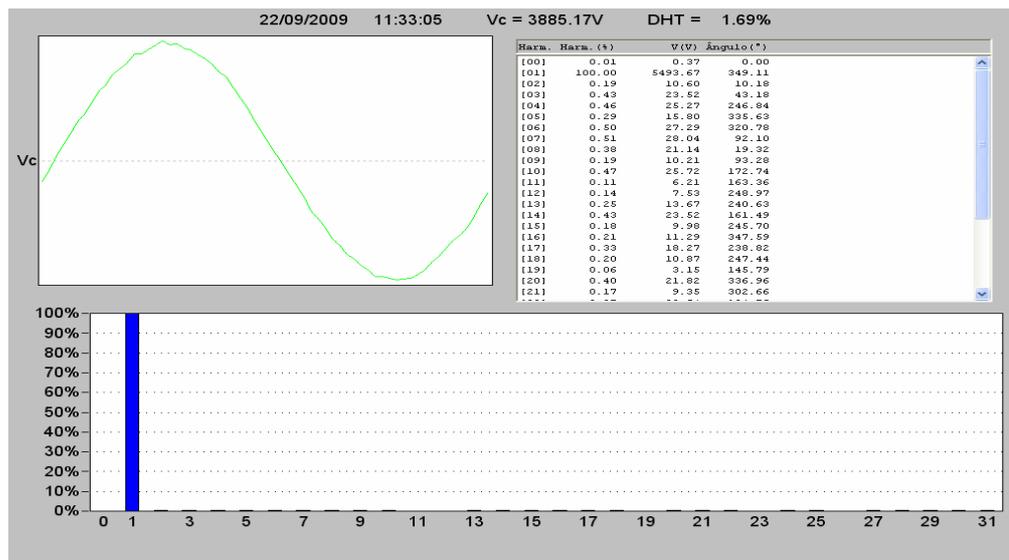


Figura 6 – Medições com Gerador desconectado do Sistema Elétrico.

A maior parcela das distorções harmônicas são a da 5ª ordem seguido pela 11ª, aparecendo ainda às harmônicas de 7ª e 13ª. Mas foi observado a ausência das parcelas relativas a harmônicas de 3ª ordem e seus múltiplos, evidenciando que na região as distorções harmônicas devem-se as cargas não lineares, compostas por retificadores e eletrônica de potencia.

8 CONCLUSÃO

Dentre os quatro Modelos e Sistemas de excitação analisados neste projeto, observados nas tabelas 3 e 4. O sistema 4, de excitação com excitatriz e regulador automático de tensão alimentado em corrente contínua, a

partir do campo do Gerador Principal, apresentou ser o melhor para utilização da eletrônica de potencia, sem haver aumento das distorções harmônicas.

Configuração do Sistema	DHT _v [%]			
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Sem Carga	0,01	0,15	0,04	0,04
Com Carga	0,69	2,03	2,08	0,64

Tabela 3 - Resumo dos valores dos Modelos Simulados.

Na tabela 4 os resultados das medições efetuadas em campo, nos pontos de medição definidos para realização deste trabalho.

Configuração do Sistema	DHT _v [%]			
	sistema1	sistema2	sistema3	sistema4
Sem Carga	1,8	5,05	3,66	1,69
Com Carga	1,9	14,29	14,03	2,06

Tabela 4. - Resumo das Medidas dos sistemas analisados.

Pode-se concluir que o sistema adotado como solução para se obter uma redução das distorções harmônicas, presentes na geração de energia elétrico, bem satisfatório, do ponto de vista técnico, para aplicação em PCH, em Usinas com maiores capacidades deve além da solução adotado, construir os seus conversores de correntes alternadas para continua, com pelo menos doze (12) pulsos.

Como fechamento desta solução as seguintes considerações:

- A metodologia desenvolvida para o estudo dos sistemas de excitação apresentou resultados satisfatórios, pois as simulações efetuadas com os modelos no “software” “Matlab” foram comprovadas pelas medições realizadas em campo;
- O trabalho forneceu dados necessários para a escolha do modelo e sistema que seja possível as menores distorções harmônicas;
- Este trabalho restringiu-se apenas as contribuições de distorções harmônicas causadas pelos sistemas de excitação de alimentação dos campos das máquinas síncronas.

9 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Uma análise da Saturação Magnética em uma Máquina de Indução Trifásica Através de seus Terminais Elétricos.”XII CBA”, Setembro de 98, Uberlândia, MG;
- [2] Analysis of a Three-Phase Induction Machine Including Time and Space Harmonic Effects: The A, B, C Reference Frame”; recomendado para apresentação no Summer Meeting 1998 e aprovado pelo Comitê de Máquinas Elétricas do "IEEE - Power Engineering Society" para publicação no "IEEE - Transactions on Energy Conversion", EUA, Outubro 1997. Artigo: PE-154-EC-0-10-1997;
- [3] Silva, R. V. R.; Neto, L. M.; Mendonça, R.G.; Paula, S. C. M.; Andrade, D. A. - Performance Analyses Induction Motor With Saturation Fed by na Inverter - IEEE - CCECE 2001 – Canadian Conference on electrical & Computer Engineering – May, 13-16, 2001 – Toronto Ontário – Canadá;

- [4] Mendonça, R. G.; Neto, L. M.;Silva, R. V. R.;Paula, S. C. M. - Three-Phase Induction Generator Feeding a Single-Phase Electrical Distribution System – Time Domain Mathematical Model - IEEE – ACEMP 2001 – International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics – Jun, 27-29, 2001 – Kusadasi – Turkey;
- [5] Power System Stability and Control; Kundur,Prabha - (Livro contendo diversos aspectos relacionados a aspectos de controle e estabilidade do sistema elétrico, considerando modelagem de sistemas de controle de geradores individualmente e com grupos de unidades em operação. O livro aborda pontos de interação sistêmica com controle de geração);
- [6] Power Generation Operation and Control; Wood, Allen J.;Wollenberg, Bruce F. - (Livro voltado para estudos de aspectos inerentes a operação de geração hidro/térmica com destaque para a abordagem sistêmica do novo modelo setorial);
- [7] Power System Control and Stability ; Anderson P.M ,Fouad AA - (Livro sobre modelagem da dinâmica dos geradores integrados no sistema de potência);
- [8] Aproche Logique de L'intelligence Artificielle; A. Thayse & Co-Auteurs;
- [9] Electrical Power Distribution and Transmission; Luces M. Faulkenberry; Walter Coffey;
- [10] Electrical Characteristics of Transmission Line; Wolfgang Hilberg; Harold A. Wheeler;
- [11] Power Engineering Summer Meeting 1999 IEEE: IEEE Power Engineering Society, Sponsor (Power Engineering Society Summer Meeting 1999); IEEE Power Engineering Society;
- [12] Recommended practice for Monitoring Electric Power Quality; IEEE Power Engineering Society;
- [13] Electric Power Quality Control Techniques; Wilson E., PH.D. Kazibwe Musoke H., PH.D. Sendaula (Livro Voltado para Controle da Qualidade de Energia);
- [14]Electric Power Systems Quality; MCGRAW-HILL Professional Engineering Series; Beaty, H. Wayne; Mcgranaghan, Mark F.; Dugan, Roger C; Santoso, Surya; MCGRAW - HILL Professors (Livro Voltado a Qualidade de Energia);
- [15] Sistema Especialista para Comando, Controle, Proteção e Supervisão de Usinas e Suas Subestações; Alves Berto M. (Tema de Mestrado pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU - Brasil).

10 BIBLIOGRAFIA



Lucio Aparecido Borba Nasceu em São Paulo, Estado de São Paulo, Brasil, Possui graduação de Licenciatura em Física pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo (1994), Especialização em Sistema de Energia pela Universidade Federal de Uberlândia (2003) Engenharia Elétrica pela UNIP – Universidade Paulista (2009), mestrando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (iniciado em 2006). Atualmente trabalha no Departamento de Engenharia Elétrica da EMAE - Empresa Metropolitana de Águas e Energia, onde desenvolve experiências na área de Geração de Energia Elétrica, com ênfase em Projetos de Máquinas Elétricas, Sistemas de Medição de Energia Elétrica, Sistemas de Proteção, Sistema de Supervisão, Comandos e Controles e Sistemas de Automação para equipamentos e sistemas da área; Pesquisador nas áreas de Máquinas Elétricas. Esta trabalhando atualmente em uma pesquisa, para EMAE, com ênfase em rendimento e vida útil de Máquinas Síncronas, quando trabalhando em ambiente não senoidal.



Luciano Martins Neto Nasceu em Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil, 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.



Manoel Berto Alves Nasceu em Bom Conselho, Estado de Pernambuco, Brasil, Graduado em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia São Paulo, Especialização em Sistema Elétrico de Potência, Qualidade de Energia e Automação pela Universidade Federal de Uberlândia (2001), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (2004), com a criação de “Sistema Especialista para Comandos, Controle, Proteção e Supervisão de Usinas e suas Subestações” e doutoramento em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (iniciado em 2006), com a tese "Identificação e tratamento das interferências de harmônicos, nas perdas, rendimento e vida útil de Máquinas Síncronas". Atualmente é Gestor de Empreendimentos técnicos da EMAE - Empresa Metropolitana de Águas e Energia; Consultor da Empresa MBA Consultoria Automação e Comércio Ltda. Onde desenvolve nessas Empresas, experiências na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em

Projetos de Máquinas Elétricas, Sistemas de Medição de Energia Elétrica, Sistemas de Proteção, Sistema de Supervisão, Comandos e Controles, Automação em Geral para equipamentos e sistemas na Área de Energia Elétrica; Pesquisador nas áreas de Máquinas Elétricas, bem como processos e sistemas digitais de comando, controle, supervisão, sincronismo e proteção, e de telecomunicação. Estar trabalhando atualmente em duas pesquisas, sendo uma delas para EMAE, com ênfase em rendimento e vida útil de Máquinas Síncronas, quando trabalhando em ambiente não senoidal e Comando, Controle, supervisão, sincronismo e proteção de Gerador de Indução operando em sistema elétrico interligado.