



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

Versão 1.0
XXX.YY
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO - X

GRUPO DE ESTUDOS DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GDS

ANÁLISE DE DESEMPENHO TRANSITÓRIO E DINÂMICO DE COMPENSADORES DE REATIVOS A NÚCLEO SATURADO E TÉCNICAS PARA MITIGAÇÃO DE FENÔMENOS

**João Areis F. Barbosa Jr. (*)
UFU**

**José Carlos de Oliveira
UFU**

**Arnulfo Barroso de Vasconcellos
UFMT**

RESUMO

Este informe técnico apresenta resultados relacionados aos estudos de desempenho, sob condições transitórias e dinâmicas, de um complexo elétrico representativo de um sistema real de 230 kV, sem a inserção e com a inclusão de um Compensador à Núcleo Saturado (CERNS). Os estudos são conduzidos utilizando uma plataforma computacional que emprega técnicas de modelagem no domínio do tempo. Além das questões atreladas com o funcionamento do sistema, sem e com a presença do compensador e os destaques sobre os processos de transitório de energização e dinâmicos, as questões vinculadas com as distorções harmônicas introduzidas na rede são também consideradas.

PALAVRAS-CHAVE

Compensador estático de reativos, Reator Saturado, Controle de Tensão, Núcleo Magnético, Qualidade de Energia.

1.0 - INTRODUÇÃO

No âmbito da engenharia elétrica, dentre outras questões, reconhece-se a existência de um grande número linhas de transmissão radiais que alimentam cargas relativamente pequenas em sua extremidade, e que podem, diante deste fato, apresentar problemas no que tange a regulação da tensão. Este assunto se torna ainda mais relevante em regiões que apresentam, entre outras particularidades, grande extensão territorial, concentração do consumo de energia em regiões específicas e uma geração predominantemente hidroelétrica. Quando este conjunto de fatores se somam a um sistema de transmissão que opera sob condições de cargas variáveis, os terminais do lado receptor da linha podem experimentar excessivos aumentos ou diminuições da tensão, de acordo com a variação do carregamento, podendo tais valores ultrapassar os limites aceitáveis e recomendados pela legislação que rege este tema.

Na busca para se encontrar a conformidade dos padrões da tensão, as soluções mais tradicionais encontram sustentação no processo de compensação reativa. Dentre os mecanismos utilizados para se alcançar tal objetivo, pode-se destacar a aplicação dos compensadores de reativos. Estes dispositivos têm em comum a característica dinâmica de fornecer ou consumir potência reativa de acordo com as exigências do sistema, ao qual o mesmo encontra-se instalado.

Dentro do contexto acima, os reatores controlados a tiristores com a presença de um banco de capacitores paralelo, tem sido extremamente utilizados para tal finalidade. Esta tecnologia, que apareceu na década de 80, se mostra ainda bastante atrativa para muitas aplicações nos dias atuais. Embora as reconhecidas vantagens

(*) Av. João Naves de Ávila, n°2121,UFU—Sta. Mônica,sala 114,Bloco 3N,CEP 38.400-902,Uberlândia,MG – Brasil
Tel: (+55 34) 3239-4763 – Fax: (+55 34) 3239-4704 – Email: johnareis@gmail.com

oferecidas por este produto, deve-se ressaltar que o mesmo apresenta uma filosofia de operação baseada na tecnologia do controle eletrônico, sendo que para algumas aplicações, tais princípios apresentam algumas desvantagens, principalmente no que diz respeito aos elevados custos para aquisição e manutenção do equipamento. Assim, como alternativas para a solução dos problemas de regulação de tensão, devem ser buscadas soluções mais simples e baratas, que exijam pouca manutenção. Este é o caso do equipamento conhecido por Compensador Estático a Reator a Núcleo Saturado (CERNS). Tal dispositivo não é novo e foi amplamente utilizado durante décadas, quando a tecnologia dos semicondutores ainda era embrionária (1), (2) e (3).

Apesar dos compensadores estáticos a reatores saturados pertencerem ao grupo de soluções que utilizam uma filosofia antiga, para algumas aplicações específicas, tais dispositivos podem ainda ser considerados como uma possibilidade, visto que, suas propriedades foram, comprovadamente avaliadas e aprovadas nos períodos anteriores à entrada dos compensadores eletrônicos. De fato, os atrativos apresentados por este equipamento, tais como: custo competitivo, simplicidade operacional, baixa exigência de manutenção e a habilidade em promover o controle da tensão baseado na propriedade operativa intrínseca do equipamento continuam, na atualidade, a motivar alguns investigadores a explorar esse assunto (3).

Essencialmente, o CERNS é constituído por uma combinação apropriada de um dispositivo magnético, formado por um núcleo magnético, construído a partir de materiais disponíveis comercialmente, e, arranjos físicos especiais para seus enrolamentos e, em paralelo com tal equipamento deve-se sempre instalar um banco de capacitores fixo (1), (2), (3), (4). Esta constituição física se traduz num equipamento robusto, com manutenção reduzida, boa eficiência na regulação de tensão e um pequeno tempo de resposta.

Relembrando os princípios básicos de funcionamento do equipamento, a não linearidade da curva BxH do núcleo magnético define uma das propriedades mais importantes do funcionamento do dispositivo. Devido a essa não linearidade, o emprego desta estratégia tecnológica produzirá correntes harmônicas que serão injetadas no sistema, como ressaltam as referências (3), (5), (6), (7), (8).

Tendo em vista que as questões associadas com a modelagem computacional do produto em pauta já foram exaustivamente contempladas em outras publicações (3), (5) e (7), este assunto não será pormenorizado neste informativo, o qual tem por foco principal os estudos de desempenho de um complexo elétrico representativo de uma rede real de transmissão com as características próprias ao uso de compensadores de reativos, nos moldes aqui considerados. Dentro deste escopo, o cerne deste trabalho fica restrito às questões operativas propriamente ditas e que refletem o desempenho de uma aplicação do equipamento aqui tratado em um sistema de transmissão de 230 kV. Este arranjo elétrico representa uma situação clássica encontrada em uma região em franca expansão e desenvolvimento, alimentada por uma linha radial longa. Logo, fazendo uso deste exemplo prático, os estudos conduzidos diante de súbitas variações de carga e a investigação da tensão no lado receptor da referida linha de transmissão são executados para destacar a eficácia do compensador em atender a legislação no que diz respeito a regulação da tensão nos barramentos do sistema. Dentro desse contexto, os resultados são mostrados e discutidos, a fim de que se consiga realçar o desempenho do equipamento sob condições transitórias e dinâmicas frente as possíveis variações de carregamento as quais o sistema elétrico encontra-se susceptível, e ainda, ressaltar os impactos do compensador sobre as questões das distorções harmônicas.

2.0 - ARRANJO DO COMPENSADOR ESTÁTICO A REATOR A NÚCLEO SATURADO

O arranjo básico do compensador estático a reator a núcleo saturado pode ser observado através da Figura 1 (a). Esta mostra a existência de dois componentes principais. Um deles é o reator saturado e o outro o banco de capacitores fixo. Assim, o valor líquido da potência reativa injetada ou absorvida pelo equipamento, instalado em um dos barramentos da rede, dependerá das condições impostas ao compensador. A curva característica ($V \times I$) de operação do equipamento, encontra-se ilustrada na Figura 1 (b). É possível observar que haverá um ponto de funcionamento em que a potência reativa indutiva do compensador será totalmente compensada pela potência capacitiva. Isto corresponde ao ponto em que a corrente líquida fornecida pelo compensador ao sistema é igual a zero. A esquerda do eixo da ordenada pode-se verificar que o equipamento produzirá potência reativa capacitiva ao sistema, enquanto que à direita o reator dominará o processo, absorvendo potência reativa. Isto implica que o comportamento de operação do dispositivo, assim como sua capacidade na compensação de reativos, será influenciada pela tensão do barramento no qual o mesmo encontra-se conectado. Além disso, a curva característica ($V \times I$) de operação do equipamento revela que a regulação da tensão proporcionada por este, será influenciada pela não-linearidade da curva ($B \times H$) do material magnético empregado na construção do núcleo do reator.

Complementarmente, as preocupações com as estratégias para a compensação harmônica, levou os pesquisadores a buscar arranjos especiais para as conexões dos enrolamentos, a fim de se alcançar uma compensação interna das correntes harmônicas produzidas pelo reator. Tal objetivo foi alcançado através dos arranjos conhecidos por *twin-tripler* (seis colunas magnéticas) e *treble-tripler* (nove colunas magnéticas) (3). A Figura 1 (c), ilustra a composição construtiva básica do primeiro arranjo e, através do uso dessa filosofia, apenas as correntes harmônicas definidas pela expressão $n=12k\pm 1$, onde k é um número inteiro, são produzidas.

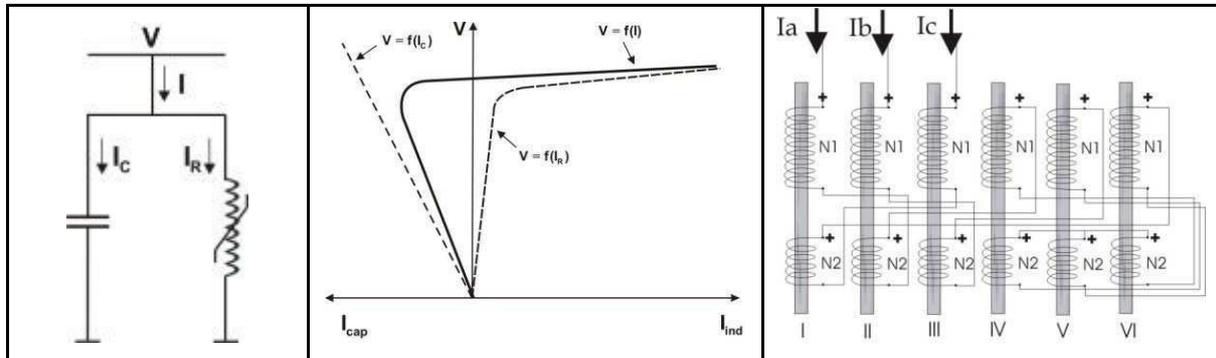


FIGURA 1 – (a) Concepção física básica do compensador de reativos.

FIGURA 1 – (b) Característica ($V \times I$) do compensador estático a reator a núcleo saturado.

FIGURA 1 – (c) Arranjo construtivo *twin-tripler* para o reator saturado.

FIGURA 1 – Características básicas do compensador estático a reator a núcleo saturado.

3.0 - ESTUDOS COMPUTACIONAIS

O sistema de transmissão radial utilizado nos estudos computacionais desenvolvendo neste trabalho pode ser observado na Figura 2. A partir desta, pode-se verificar a presença de cargas relativamente pequenas ao longo da linha de transmissão e a presença de um consumidor de maior porte na extremidade desse sistema. Devido às possíveis variações de tensão que podem ocorrer durante a operação do sistema, sobretudo devido às súbitas alterações de carregamento no mesmo, foi alocado, no barramento terminal, um compensador estático a reator a núcleo saturado para prover a regulação de tensão exigida pela legislação. Maiores informações sobre o sistema em pauta podem ser encontrados em (9).

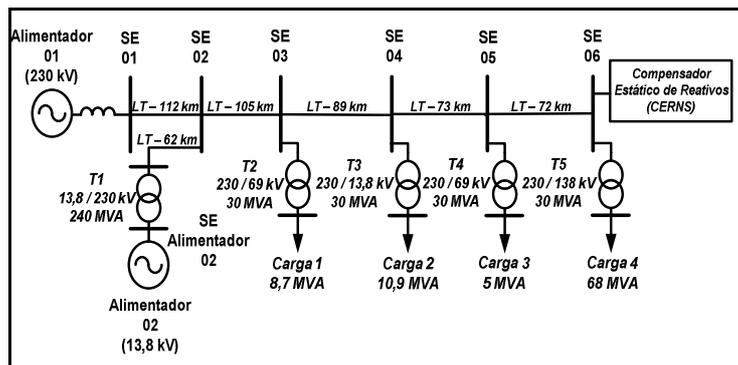


FIGURA 2 – Diagrama unifilar do sistema elétrico utilizado.

Os estudos realizados e explorados neste artigo foram selecionados a partir de vários casos investigados, dos quais duas situações foram adotadas para apresentação e discussões. Uma primeira se refere a uma avaliação em regime permanente, da ocorrência de uma redução repentina da carga, de aproximadamente 70% do valor original. O outro caso contemplado está atrelado com o processo da energização do equipamento. Conseqüentemente, a primeira investigação visa avaliar a resposta dinâmica oferecida pelo equipamento de compensação, enquanto que a segunda atém-se ao comportamento do equipamento durante seu transitório de energização. Para realizar a regulação de tensão esperada no sistema, o compensador escolhido e instalado no sistema apresenta um reator saturado de 25 MVar com um banco de capacitores paralelo de 15 MVar. A definição e o pré-projeto do reator e capacitor foram feitos através de um aplicativo computacional desenvolvido em (10).

3.1 Redução súbita de carregamento sem a presença do compensador

Esta situação corresponde ao estudo do comportamento do sistema frente a uma súbita redução de 70% de carga no consumidor final, ressaltando que o caso sob análise desconsidera a presença do dispositivo de compensação. Durante a situação de plena carga ou carregamento normal, a tensão encontrada no barramento sob estudo foi de 217,6 kV. Este valor está cerca de 5,4% abaixo da tensão nominal (230 kV), fato que implica que o sistema, em sua situação original, violou os limites recomendados legislação. No instante $t=1s$ ocorre a referida redução de carga e ocorre, conseqüentemente, um aumento de 6,89% da tensão em relação a tensão nominal do barramento de 230 kV no barramento terminal. Este fenômeno se estendeu por um período de 0,5s, sendo que durante este período, o valor eficaz da tensão aumentou para 245,7 kV. O comportamento instantâneo da tensão antes do fenômeno de alívio de carga, durante o evento, e após a restauração da carga encontra-se ilustrado na Figura 3.

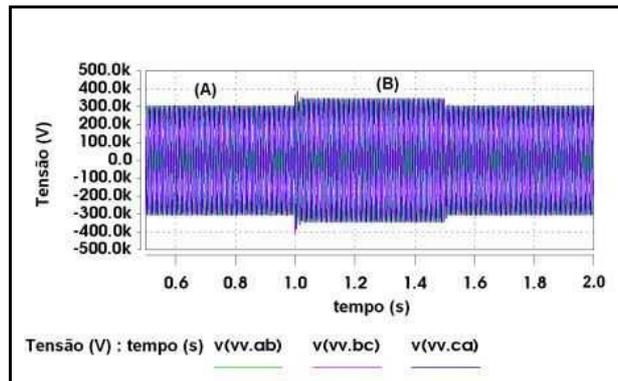


FIGURA 3 – Tensão instantânea no barramento de 230 kV da SE 06 sem a inserção do compensador.

Com o objetivo de fornecer maiores informações sobre os períodos específicos analisados, as Figuras 4 (a) e (b) fornecem, de maneira detalhada, as formas de onda das tensões para as regiões A (carregamento normal) e B (alívio de carga). Os resultados apresentados são suficientemente claros para demonstrar que as tensões do barramento de 230 kV, em ambas as situações, isto é, antes da redução da carga e durante este evento, não atendem aos padrões recomendados pela legislação.

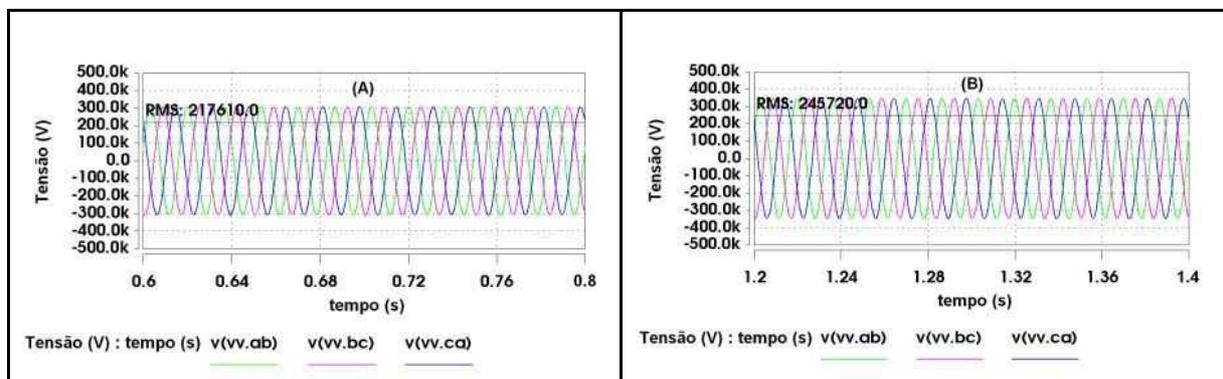


FIGURA 4 – (a)
Zoom região (A).

FIGURA 4 – (b)
Zoom região (B).

FIGURA 4 - Tensão instantânea no barramento de 230 kV da SE 06 sem a inserção do compensador – vista detalhada.

3.2 Redução súbita de carregamento com a presença do compensador

O mesmo estudo realizado anteriormente foi repetido, agora, levando em consideração a presença do compensador instalado no sistema. Na Figura 5 é possível observar as novas formas de onda das tensões para o período de estudo entre 0,4 e 2,0s.

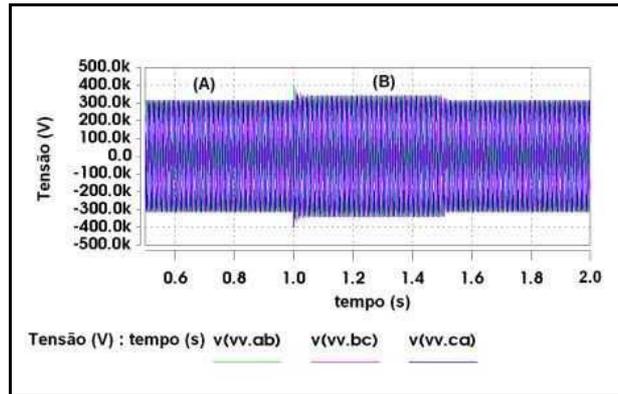


FIGURA 5 – Tensão instantânea no barramento de 230 kV da SE 06 com a inserção do compensador.

A eficácia do compensador estático em manter as tensões do barramento terminal de 230 kV dentro dos limites recomendados pela legislação, pode ser facilmente observada através do valor eficaz das tensões obtidos a partir da análise detalhada realizada nas regiões A e B, detalhadas nas Figuras 6 (a) e (b) respectivamente. Antes da redução da carga, o valor eficaz da tensão era de 222,4 kV, cerca de 3,3% abaixo da tensão nominal. Durante o evento de rejeição de carga, o nível de tensão aumentou para 238 kV, isto é, 3,48% acima da nominal. Após o instante $t=1,5s$ a tensão retornou ao seu valor inicial de 222,4 kV.

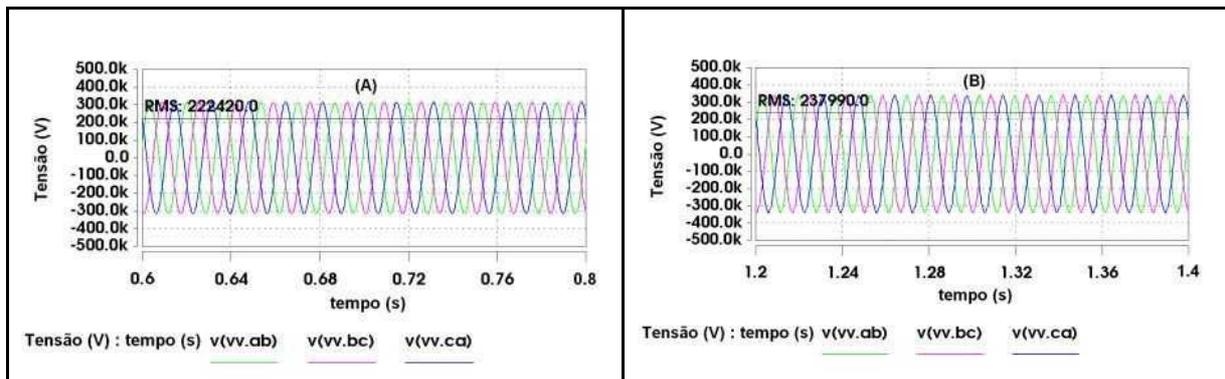


FIGURA 6 – (a)

Zoom região (A).

FIGURA 6 – (b)

Zoom região (B).

FIGURA 6 - Tensão instantânea no barramento de 230 kV da SE 06 com a inserção do compensador – vista detalhada.

Reconhecendo-se o fato de que o reator saturado introduz distorções harmônicas no sistema, através da injeção de correntes harmônicas que têm a mesma ordem que um retificador de 12 pulsos, a distorção harmônica total de tensão (DHTv) encontrada na barra de 230 kV estudada, ficou em torno de 2,7%, sendo que as componentes individuais ficaram em conformidade com as frequências previstas.

3.3 Transitório causado pela energização do compensador

Como o compensador estático aqui tratado apresenta-se constituído pela combinação de um dispositivo eletromagnético com um banco de capacitores paralelo, o comportamento transitório que envolve a operação do equipamento sob esta situação deve ser investigado para impedir os possíveis impactos causados no sistema elétrico como um todo. Desta maneira, na Figura 7 (a) pode-se verificar a corrente transitória de energização individual do reator saturado, e ainda, na sequência, a entrada em operação do banco de capacitores. Assim, no instante $t=0,5s$ ocorre a energização do reator saturado e no instante $t=1s$, ocorre a inserção do banco de capacitores. Evidentemente, a inserção do compensador no sistema, feita em dois estágios, teve como principal objetivo a atenuação do fenômeno transitório. A fim de fornecer uma melhor visualização do efeito transitório mais crítico, qual seja o instante de energização do reator saturado, a Figura 7 (b) mostra uma visão detalhada dessa região.

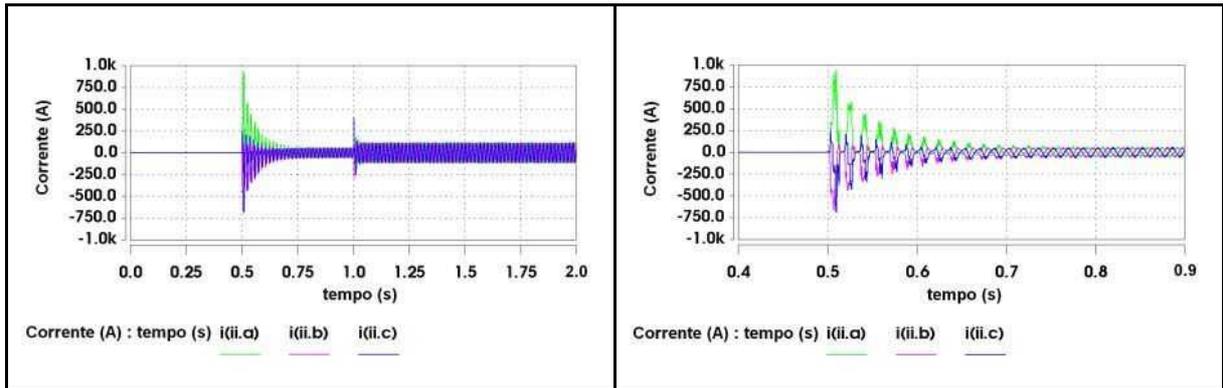


FIGURA 7 – (a)

Corrente solicitada pelo reator saturado durante sua energização.

FIGURA 7 – (b)

Zoom na região mais crítica.

FIGURA 7 – Fenômeno transitório de energização do reator saturado.

Os resultados mostram que o pico máximo encontrado para a corrente transitória de energização do reator, ocorreu para a linha A. Esta atingiu o valor máximo de 933 A, que é aproximadamente 10,5 vezes o valor da corrente de pico nominal do reator saturado. O equipamento atingiu o regime permanente aproximadamente 10 ciclos após sua energização. Durante o instante em que o capacitor é conectado ao sistema, pode-se observar um novo transitório na corrente solicitada pelo reator, sendo que a corrente máxima encontrada nessa condição ocorreu para a fase C, atingindo cerca de, 402 A. Isto está em total consonância com o fenômeno convencional de energização de capacitores. O capacitor atingiu rapidamente o estado de regime permanente, assim como acontece tipicamente durante a energização de componentes dessa natureza. A partir desse instante, pode-se dizer que o compensador estático encontra-se em regime normal de funcionamento.

3.4 Formas de onda das correntes do reator saturado em regime permanente

Na Figura 8, podem ser observadas as formas de onda das correntes solicitadas pelo reator saturado, assim como o seu desempenho frente ao abrupto alívio de carga ocorrido no sistema. Nesta, verifica-se duas regiões distintas, designadas por A e B. A primeira corresponde à operação do reator sob condição de carga normal, enquanto a segunda, corresponde à condição em que ocorre uma rejeição parcial da carga. A segunda situação faz com que o reator saturado opere absorvendo uma potência reativa de 25 MVAR do sistema. O aumento de corrente experimentado pelo reator enfatiza, claramente, o nível de saturação do equipamento e o novo nível de corrente absorvida pelo reator. Tal resultado encontra-se em total consonância com o comportamento físico esperado.

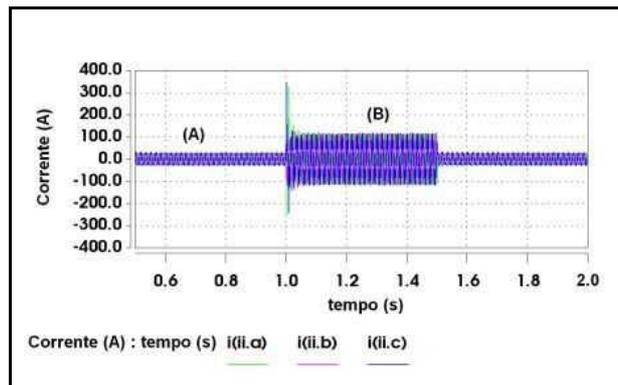


FIGURA 8 – Formas de onda das correntes solicitadas pelo reator saturado para as condições de carga normal e reduzida.

Na Figura 9 (a) tem-se uma visão detalhada das formas de onda das correntes do reator para a região A (carga original). Pode-se verificar que o valor eficaz da corrente ficou em torno de 19,2 A, ou seja, cerca de 30% da corrente nominal do reator. As formas de onda revelam uma distorção harmônica prevista para o arranjo *twin-tripler*. A escala da figura foi escolhida para fornecer termos comparativos com a forma de onda na região B.

Complementarmente, a Figura 9 (b) detalha as formas de onda das correntes solicitadas pelo reator saturado durante a condição de operação em que ocorre a redução de aproximadamente 70% da carga localizada na baixa tensão do transformador do barramento terminal. A presença do reator saturado manteve a tensão dentro dos limites recomendados pela legislação, lembrando que para alcançar tal objetivo, o mesmo absorveu do sistema uma corrente eficaz de 61,6 A, que corresponde a, aproximadamente, 98% da corrente nominal.

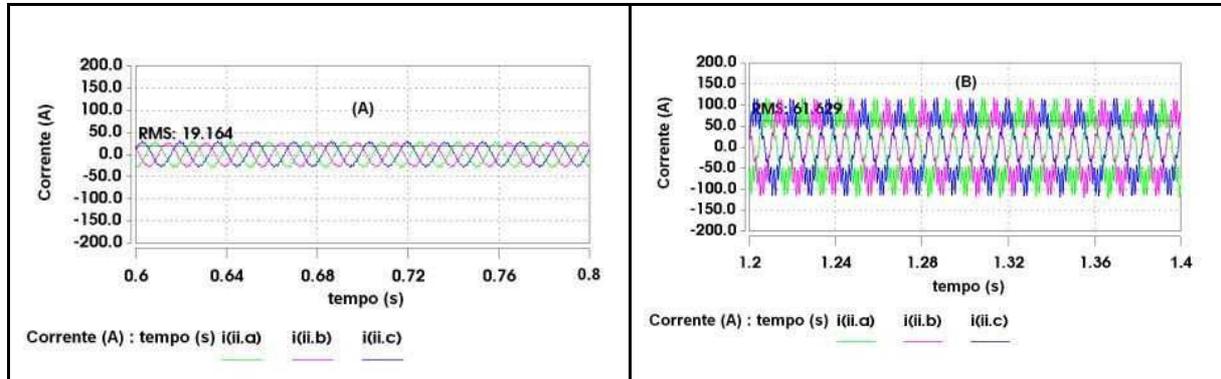


FIGURA 9 (a)

Zoom durante a condição de carga original.

FIGURA 9 (b)

Zoom durante a condição de carga reduzida.

FIGURA 9 – Formas de onda das correntes solicitadas pelo reator saturado para as condições de carga normal e reduzida – vista detalhada.

A Figura 9 (b) evidencia com clareza a distorção harmônica da forma de onda da corrente. Este resultado se mostra em total concordância com a forma de onda esperada. Visando fornecer detalhes sobre as distorções das correntes, as Figuras 10 (a) e (b) mostram, respectivamente, a forma de onda e espectro harmônico da corrente. Os resultados ressaltam que o DHT de corrente ficou em torno de 27,5%, sendo as componentes harmônicas de ordem 11^a e 13^a as mais relevantes. Estes resultados estão em total concordância com os valores e ordens harmônicas esperados para o reator saturado *twin-tripler*.

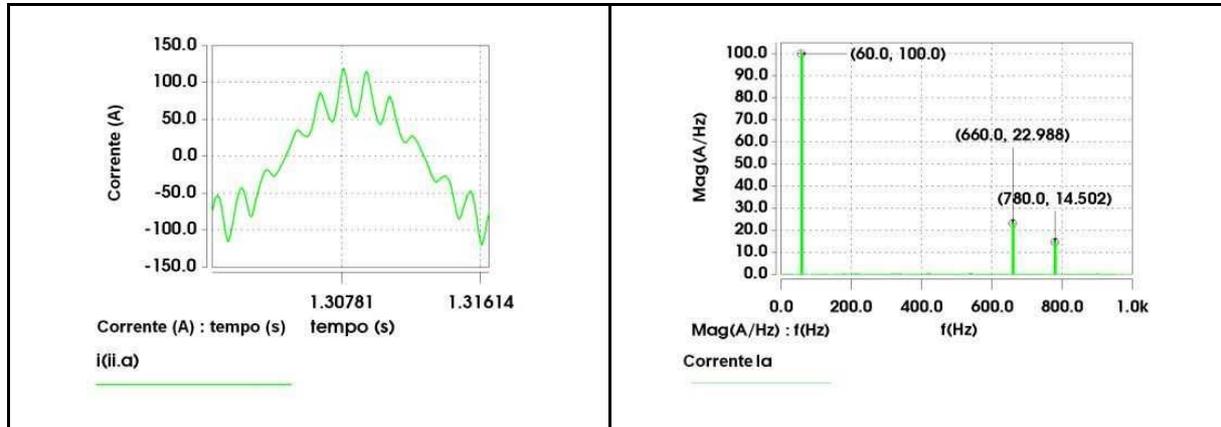


FIGURA 10 (a)

Vista detalhada da forma de onda da corrente solicitada pelo reator saturado.

FIGURA 10 (b)

Respectivo espectro harmônico da corrente solicitada pelo reator saturado.

FIGURA 10 – Forma de onda da corrente solicitada pelo reator saturado e respectivo espectro harmônico durante a condição de operação de carga reduzida em Sinop.

4.0 - CONCLUSÕES

Este artigo teve como objetivo mostrar a eficácia operacional dos compensadores de reativos fundamentados no princípio do reator saturado. O dispositivo, já modelado anteriormente, e um sistema de transmissão foram inseridos em um programa que utiliza técnicas de modelagem no domínio do tempo, possibilitando assim, a realização de avaliações do desempenho do conjunto sob condições transitórias, dinâmicas e em regime permanente de operação. Para realçar a potencialidade do programa e a eficácia do compensador estático na regulação da tensão, foi destacada uma situação operativa atrelada com uma súbita variação de carga manifestada no barramento terminal do complexo elétrico analisado. Os resultados obtidos ressaltaram a eficácia operacional no compensador quanto ao processo da regulação da tensão e, também evidenciou a questão da

geração de componentes harmônicas quando o reator é solicitado. Estes aspectos revelam que os efeitos negativos não devem ser esquecidos e indicam à necessidade da realização de estudos complementares antes que a tecnologia contemplada por este trabalho seja implementada como uma solução para a regulação da tensão em sistemas reais. Embora os resultados demonstrem que o uso do compensador estático de reativos, aqui tratado, seja eficaz no que tange as suas atribuições técnicas, deve-se salientar que o bom desempenho deste quando aplicado no sistema avaliado nesta proposta, não pode ser estendido de maneira generalizada a outras configurações. De fato, os desempenhos transitórios, dinâmicos e de regime permanente deverão ser cuidadosamente investigados antes da real utilização desta ou de qualquer outra técnica de compensação de reativos para a regulação da tensão em sistemas elétricos.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) FRIEDLANDER, E., JONES, K. M. Saturated reactors for Long Distance Bulk Power Lines; *Electrical Review*, pp 940 – 943, 27th June 1969.
- (2) COOPER, C. B., YOUNG, D. J. Saturated Reactor and Compensator for Stabilizing Voltage at Load and Generation Points; *IEE International Conference on HD and/or AC Power Transmission*, November 1973, London.
- (3) VASCONCELLOS, A. B. Modelagem, Projeto e Construção de Compensadores Estáticos Tipo Reator à Núcleo Saturado para Melhoria da Qualidade da Energia: Análise Computacional e Validação Experimental; Tese de Doutorado – Universidade Federal de Uberlândia – Brasil – Setembro 2004.
- (4) CARVALHO, M. A. Aplicação de Reatores Saturados em Sistemas de Transmissão; in *Proc. XIII SNPTEE*, Camboriú-SC, Brasil, Outubro 1995.
- (5) OLIVEIRA, J. C., VASCONCELLOS, A. B., APOLÔNIO, R. Saturated Core Reactor Static Compensator: Computational Versus Experimental Performance Analysis; in *Proc. XI ICHQP*, New York-NY, USA, September 2004.
- (6) OLIVEIRA, J. C., VASCONCELLOS, A. B., APOLÔNIO, R. A Strategy for Voltage Regulation in Eolic Systems; in *Proc. XI ICHQP*, New York-NY, USA, September 2004.
- (7) OLIVEIRA, J. C., VASCONCELLOS, A. B., APOLÔNIO R. Compensador Estático a Reator Saturado: Geração Harmônica Sob Condições Ideais e Não Ideais de Suprimento; *V SBQEE*, Aracaju-SE, Brasil, Agosto 2003.
- (8) OLIVEIRA, J. C., VASCONCELLOS, A. B., APOLÔNIO, R. Análise do Desempenho Dinâmico de um Compensador Estático a Reator a Núcleo Saturado; *VI SBQEE*, Belém-PA, Brasil, v. II. p. 356-361, Agosto 2005.
- (9) BARBOSA JR., J. A. F. Modelagem e Análise de Desempenho Transitório e Dinâmico de Compensadores Estáticos de Reativos Utilizando Reatores Saturados; Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia – Brasil – Fevereiro 2009.
- (10) PACHECO, J. M., Determinação dos Parâmetros de Compensadores Estáticos de Reativos e Estratégia para o Projeto Otimizado de Reatores Saturados; Tese de Doutorado – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – Brasil – Setembro 2008.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



José Carlos de Oliveira nasceu em Itajuba–MG, Brasil. Obteve em 1970 e 1974 respectivamente, os títulos de Bacharel e Mestre em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Itajubá-Brasil, e o título de PhD em 1978 na University of Manchester - Institute of Science and Technology-Reino Unido. Atualmente é professor e pesquisador na Faculdade de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Uberlândia - Brasil.



Arnulfo Barroso de Vasconcellos nasceu em Corumbá-MT, Brasil. Obteve o título de Bacharel em Engenharia Elétrica em 1980 na Universidade Federal de Mato Grosso, o título de Mestre em 1987 na Universidade Federal de Uberlândia – Brasil e o título de Doutor em 2004 na Universidade Federal de Uberlândia - Brasil. Atualmente é professor e pesquisador na Faculdade de Arquitetura Engenharia e Tecnologia, da Universidade Federal de Mato Grosso - Brasil.



João Areis Ferreira Barbosa Júnior nasceu em Rio Verde-GO, Brasil. Obteve em 2007 o título de Bacharel em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Mato Grosso e o título de Mestre em 2009 na Universidade Federal de Uberlândia – Brasil. Atualmente é Doutorando em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Uberlândia – Brasil.



Jackson Marques Pacheco nasceu em Cuiabá–MT, Brasil. Obteve em 1980 e 2000 respectivamente, os títulos de Bacharel e Mestre em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Mato Grosso – Brasil e o título de Doutor em 2008 na Universidade Federal de Uberlândia – Brasil. Atualmente é professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso – Brasil.



José Eduardo de Carvalho nasceu em Monte Aprazível–SP, Brasil. Obteve em 1981o título de Bacharel em Engenharia Elétrica na Escola de Engenharia de São Carlos-USP. Trabalha como Engenheiro Eletricista na Eletronorte desde 1989.