



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

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO - IV

GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT

**MODELAGEM, ANÁLISE E CONTROLE DE UM ELO DE CORRENTE CONTÍNUA
BACK-TO-BACK COM CONVERSORES VSC**

Luciano O. Daniel
CEPEL

Edson H. Watanabe
COPPE/UFRJ

Antônio Ricardo C. D. Carvalho
CEPEL

Leonardo P. Almeida
CEPEL

RESUMO

Os conversores VSC têm sido cada vez mais aplicados em sistemas de transmissão em corrente contínua. Este tipo de conversor CA/CC utiliza chaves semicondutoras com capacidade de controle de condução e bloqueio e são capazes de controlar rapidamente a potência ativa e reativa de forma independente. Neste trabalho deseja-se apresentar a modelagem de um elo de tensão contínua com conversores fonte de tensão (VSC) em ponte, na configuração *back-to-back*, em um programa de análise de transitórios eletromagnéticos no domínio do tempo. Será apresentado o sistema de controle e análises de desempenho do modelo através de simulações.

PALAVRAS-CHAVE: FACTS, CCAT, VSC, *BACK-TO-BACK*, PWM.

1.0 - INTRODUÇÃO

A contínua expansão dos sistemas elétricos de potência traz vantagens econômicas e mais confiabilidade de suprimento, ao mesmo tempo em que aumenta cada vez mais o grau de complexidade de tais sistemas, gerando assim novos desafios para a sua operação de forma adequada e segura. Entre as tecnologias que surgiram para resolver problemas de controle de tensão e de fluxo de potência estão os equipamentos FACTS ("Flexible AC Transmission Systems" ou sistemas flexíveis de transmissão em corrente alternada) [1] que, com o progresso da tecnologia de componentes semicondutores, se tornaram viáveis e cada vez mais utilizados.

1.1 – Back-to-back com conversores VSC

A configuração de elo de corrente contínua onde o retificador e o inversor encontram-se conectados diretamente sem linhas de transmissão é a chamada conexão de conversores em "back-to-back" (BTB). Podem-se destacar como algumas das principais aplicações deste equipamento, a interconexão de sistemas CA de frequências distintas ou mesmo, a conexão de sistemas CA isolados com a mesma frequência, na qual se deseja manter a operação assíncrona entre eles.

A função principal do elo de corrente contínua é transmitir potência de um ponto a outro do sistema com controlabilidade. Na Figura 1 é mostrado o diagrama de um elo BTB-VSC constituído de dois conversores fonte de tensão, um operando como retificador e o outro como inversor, e um capacitor CC que tem a função de prover a polarização dos dispositivos semicondutores e garantir "ripple" reduzido na tensão CC.

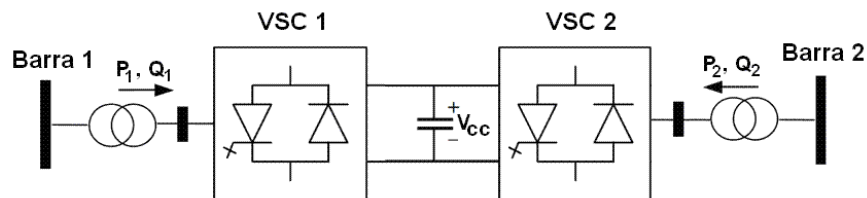


Figura 1 - Diagrama de um elo BTB-VSC.

O controle do elo funciona basicamente da seguinte forma: enquanto um dos terminais VSC controla a potência ativa que flui através do elo, o outro controla a tensão CC. Desprezando-se as perdas nos conversores, pode-se dizer que a potência ativa que entra no sistema CC deve ser igual à potência ativa entregue ao sistema CA do inversor menos as eventuais perdas da transmissão no cabo. Uma das grandes vantagens deste elo é o fato de não necessitar de suporte de reativos (como no caso do elo CCAT a tiristores, ditos conversores fonte de corrente) e ainda possuir controle da potência reativa em ambos os conversores de maneira independente durante a operação normal do elo [2].

Neste trabalho foi implementada a modelagem de um elo de tensão contínua com conversores fonte de tensão (VSC) em ponte, na configuração BTB, em um programa de análise de transitórios eletromagnéticos no domínio do tempo (PSCAD/EMTDC). Para se obter uma forma de onda com um menor conteúdo harmônico, adotou-se uma estratégia de disparos das chaves dos conversores utilizando-se a técnica PWM (pulse width modulation ou modulação por largura de pulso). O sistema de controle do BTB utiliza uma estratégia de controle vetorial, onde cada componente da Transformada de Park da corrente (i_d e i_q) é controlada separadamente de modo a se obter um controle mais eficiente, dado o desacoplamento existente entre as variáveis que estão sendo controladas, como será explicado mais adiante. Serão apresentadas análises de desempenho do modelo tanto em regime permanente como em regime transitório através de simulações e estudos de manutenção da conexão mesmo durante a ocorrência de faltas na rede.

1.2 – Possíveis aplicações do BTB-VSC no Brasil

Entre as principais aplicações que se pode vislumbrar para o Back-to-back VSC no Brasil pode-se listar:

- Segmentação de sistemas CA de longa distância, visando eliminar os problemas de grandes aberturas angulares e propagação de distúrbios entre os subsistemas. Este tipo de aplicação pode ser sugerida para futuros aproveitamentos da região Amazônica [3];
- Conexões entre sistemas assíncronos, como por exemplo com os outros países da América do Sul que têm frequência nominal de 50Hz;
- Transmissão de energia gerada em plataformas de extração de gás, como alternativa a gasodutos, principalmente em áreas afastadas da costa [4];
- Conexões de gerações eólicas com operação em frequência variável para melhor aproveitamento energético;
- Conexões em pontos do sistema onde a relação de curto-circuito (SCR) seja baixa, uma vez que os conversores VSC podem fornecer potência reativa mesmo a sistema com SCR muito baixo;
- Limitação de fluxo de potência em interconexões específicas, contribuindo para a melhoria de desempenho dinâmico do sistema com possível aumento de intercâmbios entre determinadas áreas [5].

2.0 - Modelagem do BTB-VSC no programa PSCAD

Para que se pudesse estudar o comportamento do BTB-VSC, foram realizadas simulações digitais em um programa de análise de transitórios eletromagnéticos no domínio do tempo. A Figura 2 mostra o sistema que foi representado no PSCAD/EMTDC [6], que consiste em um BTB com dois terminais conversores VSC de 6 pulsos que se conectam a dois sistemas CA (1 e 2) através de transformadores. Os sistemas CA foram modelados como fontes ideais de tensão e impedâncias RL. Os valores de tensão e corrente utilizados pelo sistema de controle foram medidos nos pontos M1 e M2. Foram também inseridos dois filtros CA tipo High-pass de modo a filtrar uma parte dos harmônicos de mais alta frequência, para se obter uma menor taxa de distorção harmônica (DHT) das correntes CA nos pontos de conexão. As demais especificações e dados deste sistema estão listados na Tabela 1.

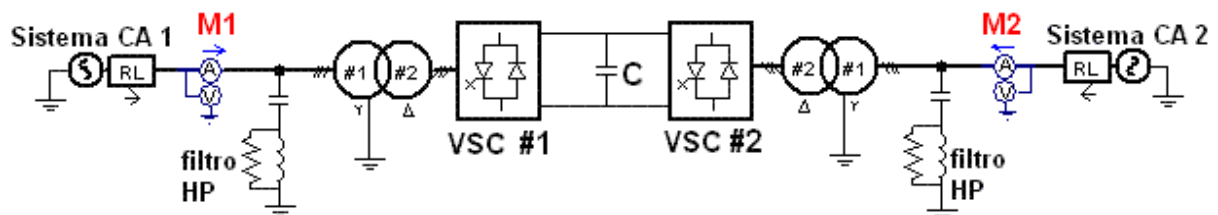


Figura 2 - Modelagem do BTB-VSC no PSCAD/EMTDC.

Tabela 1 – Dados do sistema representado no PSCAD/EMTDC.

ELEMENTOS	DADOS
Sistema CA 1	120 kV, 60 Hz, $RL = 26 \text{ ohms} \angle 80^\circ$
Sistema CA 2	120 kV, 60 Hz, $RL = 26 \text{ ohms} \angle 80^\circ$
Valor do capacitor CC	500 μF
Tensão no capacitor CC	55kV
Constante de inércia	$t = (1/2 \cdot C \cdot V^2) / P = (1/2 \cdot 500 \mu \cdot (55k)^2) / 90 \text{ MW} = 8,4 \text{ milisegundos}$
Transformadores	120/30 kV (Yaterr-Delta) e $X_{tr} = 15\%$ (na base de 100MVA)
Conversores	6 pulsos, Freq_chaveamento = 1260 Hz
Filtros CA High-pass	$R/wL = 1$, freq_corte = 1140Hz, $Q = 15 \text{ Mvar}$ (por fase)
Potência nominal do BTB	90 MW / $\pm 40 \text{ Mvar}$

2.1 – Sistema de controle vetorial do BTB VSC

As malhas principais do sistema de controle vetorial [7] implementado para este BTB são mostradas na Figura 3 e funcionam da seguinte maneira:

- No terminal VSC #1, as correntes trifásicas são medidas no ponto M1 e são calculadas suas componentes i_{d1} e i_{q1} através da Transformada de Park ($abc \rightarrow dq0$). A potência ativa instantânea (p_1) no ponto M1 é calculada (usando os valores das tensões e correntes medidos no ponto M1) e comparada com um valor de referência p_{1ref} , gerando assim um sinal de erro que passa por um controlador proporcional-integral (PI), de onde se obtém o sinal de referência i_{q1ref} . Este sinal é então comparado com a corrente i_{q1} gerando um novo sinal de erro que passa por um segundo controlador PI gerando o sinal de controle vd_1 .
- Paralelamente, a potência reativa instantânea (q_1) no ponto M1 é calculada e comparada com um valor de referência q_{1ref} , gerando assim um sinal de erro que passa por um controlador PI, de onde se obtém o sinal de referência i_{d1ref} . Este sinal é então comparado com a corrente i_{d1} gerando um novo sinal de erro que passa por um segundo controlador PI gerando o sinal de controle vq_1 .
- Finalmente, calcula-se a transformada inversa de park ($dq0 \rightarrow abc$) obtendo-se as tensões V_{a1pwm} , V_{b1pwm} e V_{c1pwm} que são as tensões de referência que serão comparadas com a portadora triangular do método PWM.
- No terminal VSC #2, os sinais de controle vd_2 e vq_2 são gerados de maneira semelhante, porém como este conversor é responsável pelo controle da tensão no capacitor CC (V_{cap}), esta tensão é medida e comparada com um valor de referência V_{capref} , gerando assim um sinal de erro que passa por um controlador PI, de onde se obtém o sinal de referência i_{q2ref} . Este sinal é então comparado com a corrente i_{q2} gerando um novo sinal de erro que passa por um segundo controlador PI gerando o sinal de controle vd_2 .
- Desse modo, enquanto o VSC #1 controla a potência ativa que flui através do elo, o VSC #2 controla a tensão CC, injetando ou absorvendo potência do lado CC. Além disso, em ambos os terminais é possível absorver ou fornecer potência reativa de forma independente.

É importante dizer que o controle foi projetado para permitir que a potência ativa flua em ambos os sentidos (através da inversão do sentido da corrente CC, já que o sentido da tensão CC é fixo), bastando apenas inverter-se o sinal do valor de referência (p_{1ref}) no VSC #1 para que se possa inverter o sentido do fluxo de potência no BTB.

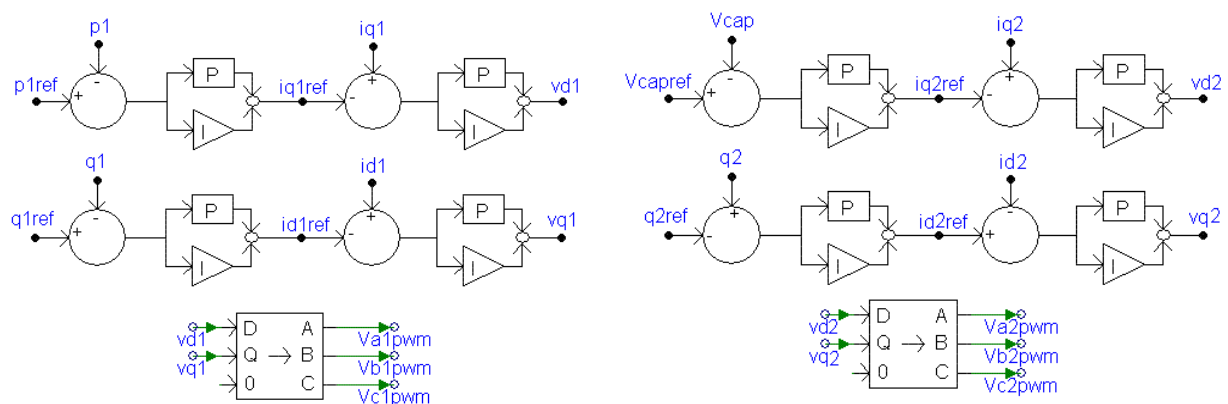


Figura 3 – Controle vetorial de corrente dos conversores #1 e #2.

2.2 – Técnica de redução de harmônicos utilizando PWM

Adotou-se uma estratégia de disparos das chaves dos conversores utilizando-se a técnica PWM (pulse width modulation ou modulação por largura de pulso) [8]. Dessa forma os IGBTs são disparados em uma frequência bem maior que a fundamental que resulta em uma forma de onda com um menor conteúdo harmônico. A desvantagem desta técnica é um aumento das perdas decorrentes dos múltiplos chaveamentos do semiconductor. A Figura 4 mostra a tensão fase-fase do lado CA do conversor #1 e sua componente fundamental.

Para detectar o ângulo da componente de sequência positiva da tensão da rede no ponto M1 utilizou-se um PLL (Phase Locked Loop), de onde se obtém tal ângulo, e que serve como referência para o controle PWM do conversor na geração dos sinais triangulares (Figura 5) que são comparados posteriormente com as tensões de referência. O resultado de tais comparações gera ao longo do tempo os sinais de disparo para os IGBTs da ponte conversora de 6 pulsos.

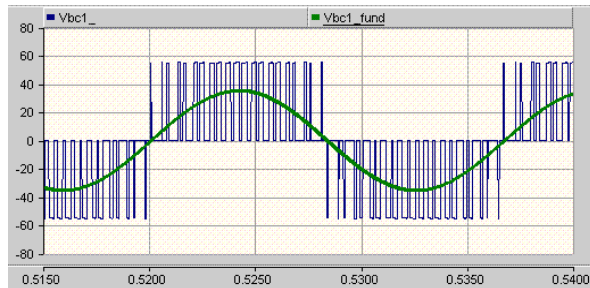


Figura 4 - tensão fase-fase do lado CA do conversor #1 e sua componente fundamental (kV).

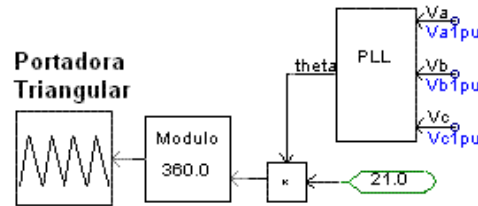


Figura 5 - PLL e ângulo de referência para o controle PWM do conversor.

Obs.: Outras alternativas de gerar uma tensão CA mais próxima da senoidal seria aumentando-se o número de níveis de tensão (conversor multinível), ou colocando-se conversores em série defasados magneticamente (aumento do número de pulsos).

3.0 - ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DO BTB-VSC

Foram realizadas simulações no PSCAD com o modelo proposto. Serão apresentadas análises de desempenho do modelo tanto em regime permanente como em regime transitório e estudos de manutenção da conexão mesmo durante faltas.

3.1 – Operação em Regime Permanente

Verificou-se o desempenho de regime permanente do BTB no sistema proposto para um despacho de 60 MW e uma absorção de 40 Mvar em ambos os terminais. Nas Figuras 6, 7, 8 e 9 observa-se que o BTB se comportou de maneira adequada, transmitindo potência do sistema 1 para o sistema 2. A corrente CA no ponto M1 tem DHT igual a 3,4%. A tensão no capacitor CC permaneceu controlada no valor de referência de 55 kV.

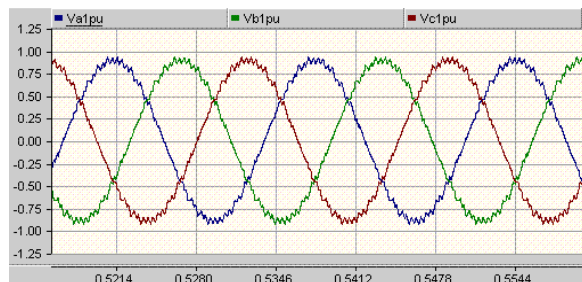


Figura 6 - Tensão no ponto M1 (pu).

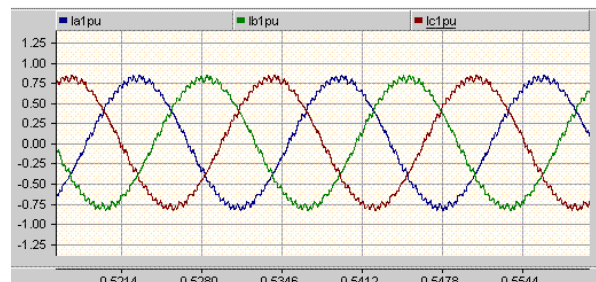


Figura 7 - Corrente no ponto M1 (pu).



Figura 8 – Potência ativa instantânea no ponto M1 (MW).

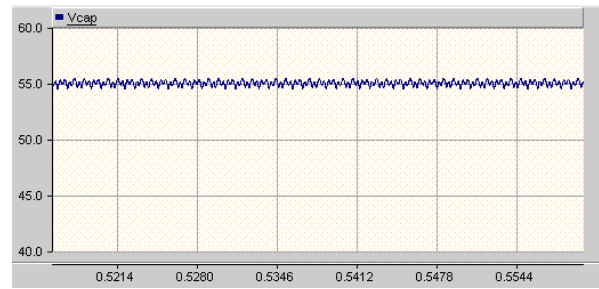


Figura 9 - Tensão no capacitor CC (kV).

3.2 – Degrau na referência de potência ativa

A título de verificação da velocidade de atuação do controle e ajuste dos ganhos, foi aplicado (em $t = 0,5$ s) um degrau na referência de potência ativa ($p1_{ref}$) de 30 MW para 90 MW. A absorção de reativos em ambos os terminais nesse caso é de 10 Mvar.

Na Figura 11 verifica-se que o sistema de controle atua rapidamente controlando a tensão em aproximadamente 8 ms (ou seja, meio ciclo de 60 Hz), o que se pode considerar como um bom desempenho. O aumento da potência injetada pelo VSC #1 na rede CC causou um aumento da energia armazenada no capacitor CC e, conseqüentemente uma elevação de sua tensão, como se pode observar na Figura 13. Devido a este aumento, o controle do VSC #2 atuou corretamente reduzindo a tensão CC (através da injeção de potência ativa no sistema 2).

A potência reativa do conversor permaneceu controlada em 10 Mvar. Pode-se notar na Figura 12 que existe um pequeno acoplamento entre os eixos d e q. Este acoplamento de fato existe nas equações diferenciais de v_d e v_q e, embora não tenha sido feito neste trabalho, é possível compensar tal acoplamento na malha de controle a fim de reduzi-lo.

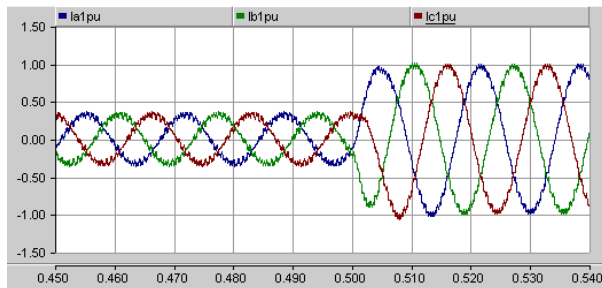


Figura 10 - Corrente no ponto M1 (pu).

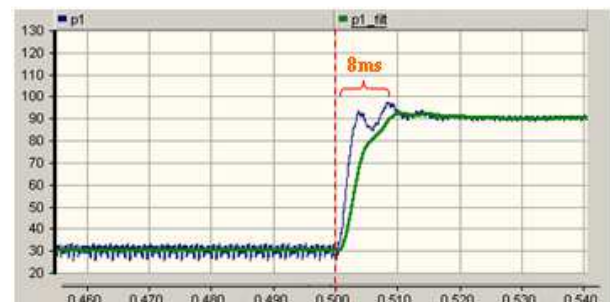


Figura 11 - Valores instantâneo e filtrado de $p1$ (MW).

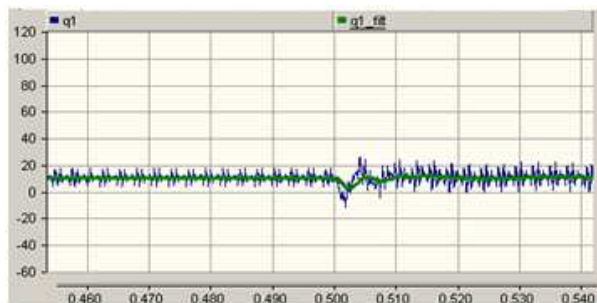


Figura 12 – Valores instantâneo e filtrado de $q1$ (Mvar).

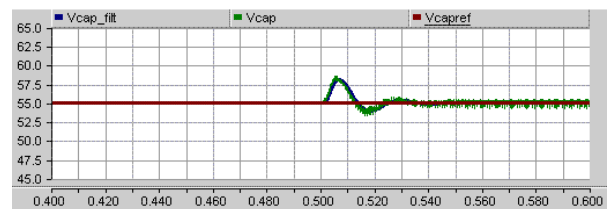


Figura 13 - Tensão no capacitor CC e seu valor de referência (kV).

3.3 – Reversão de potência

Aplicando-se (em $t = 0,5$ s) um degrau na referência de potência ativa ($p1_{ref}$) de 40 MW para -40 MW, reverte-se a potência no BTB, que passa a fluir do sistema 2 para o sistema 1, como é mostrado na Figura 14. A absorção de reativos em ambos os terminais nessa caso é de 10 Mvar.

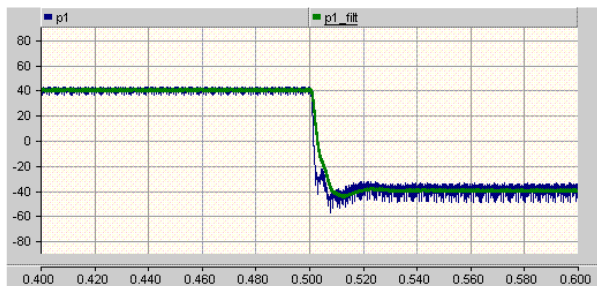


Figura 14 - Valores instantâneo e filtrado de p1 (MW).

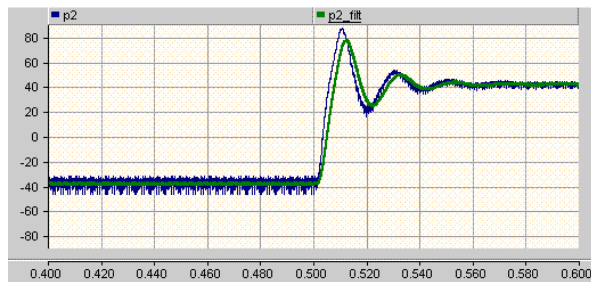


Figura 15 – Valores instantâneo e filtrado de p2 (MW).

3.4 – Degrau na referência de potência reativa

Nesta simulação foi aplicado (em $t = 0,5$ s) um degrau na referência de potência reativa do VSC #1 ($q1_{ref}$) de 10 Mvar para 40 Mvar e, instantes depois (em $t = 0,6$ s), um degrau na referência de potência reativa do VSC #2 ($q2_{ref}$) de 10 Mvar para -20 Mvar. Verifica-se nas Figura 16, 17, 18 e 19 que as potências reativas foram corretamente alteradas e as potência ativas permaneceram inalteradas, como se esperava.

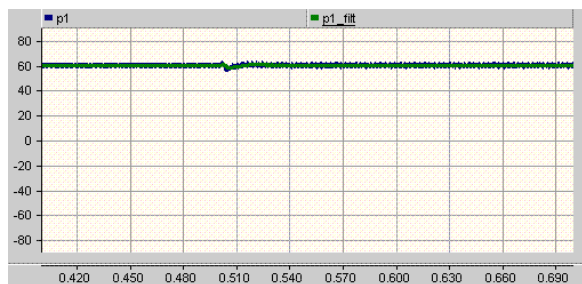


Figura 16 – Valores instantâneo e filtrado de p1 (MW).

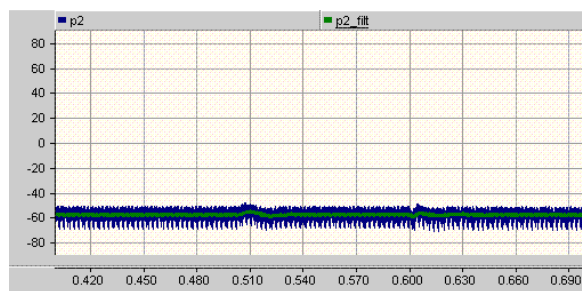


Figura 17 – Valores instantâneo e filtrado de p2 (MW).

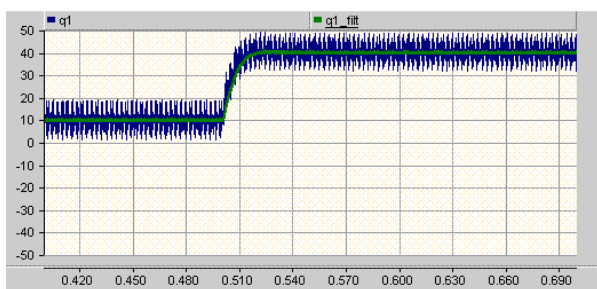


Figura 18 - Valores instantâneo e filtrado de q1 (Mvar).

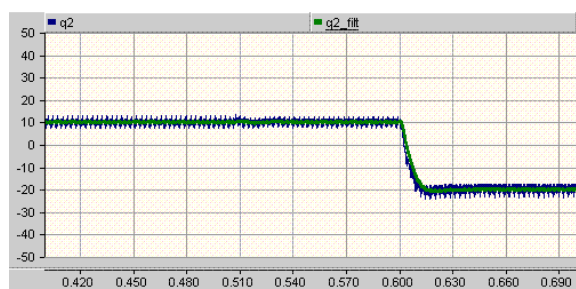


Figura 19 - Valores instantâneo e filtrado de q2 (Mvar).

3.5 – Curto-circuito CA trifásico

Para que fosse verificado o comportamento do controle diante da ocorrência de perturbações na rede CA, foi aplicado (em $t = 0,5$ s) um curto-circuito trifásico equilibrado através de uma impedância no ponto M1 (com duração de 60 ms). Na Figura 21 vemos que a corrente ultrapassa 1 pu durante o curto. Isso ocorre porque diante do afundamento da tensão CA (Figura 20), o controle de potência do VSC #1 atua visando restabelecer a potência ativa para o valor de referência (Figura 22), aumentando consequentemente a corrente. Uma forma de evitar este crescimento elevado da corrente seria reduzindo-se a ordem de potência ($p1_{ref}$) imediatamente após a falta.

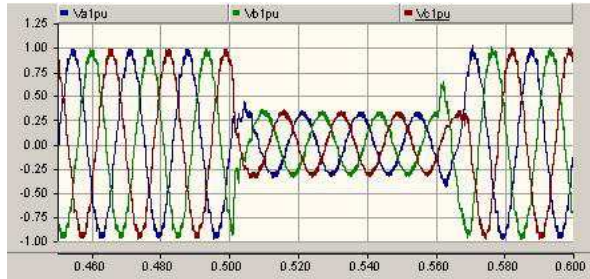


Figura 20 - Tensão no ponto M1 (pu).

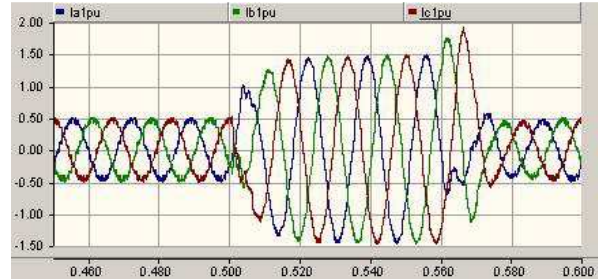


Figura 21 - Corrente no ponto M1 (pu).

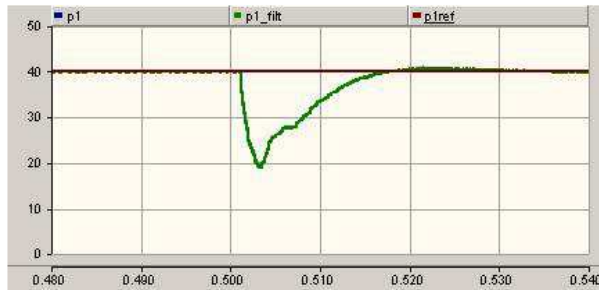


Figura 22 - Valores de $p1$ e $p1_{ref}$ (MW).

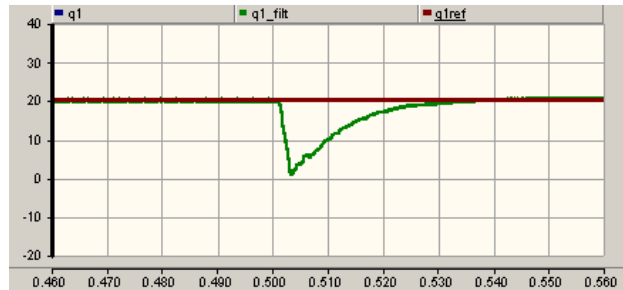


Figura 23 - Valores de $q1$ e $q1_{ref}$ (Mvar).

3.6 – Curto-circuito CA monofásico

Desta vez, foi aplicado (em $t = 0,5$ s) um curto-circuito monofásico através de uma impedância no ponto M1 (com duração de 60 ms). Novamente a corrente CA atinge valores muito altos devido às características do controle já mencionadas. Na Figura 27 é possível notar uma oscilação na tensão CC do capacitor na frequência de 120 Hz (2ω) que aparece devido ao desequilíbrio causado pelo curto monofásico na rede CA. A mesma oscilação está presente na potência ativa, como mostrado na Figura 26. Esta oscilação acarretará o aparecimento do terceiro harmônico de sequência positiva do lado CA que pode causar problemas para o sistema. Uma possível maneira de mitigar este efeito seria aumentando-se o valor do capacitor CC.

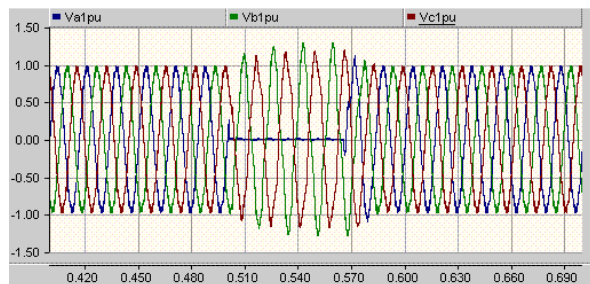


Figura 24 - Tensão no ponto M1 (pu).

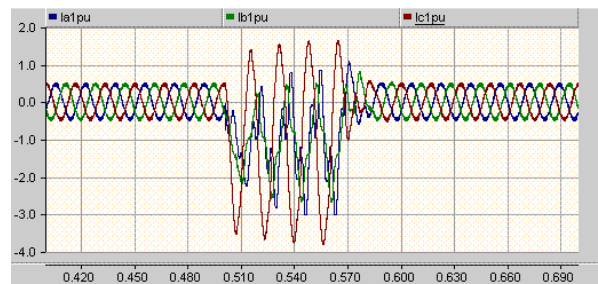


Figura 25 - Corrente no ponto M1 (pu).

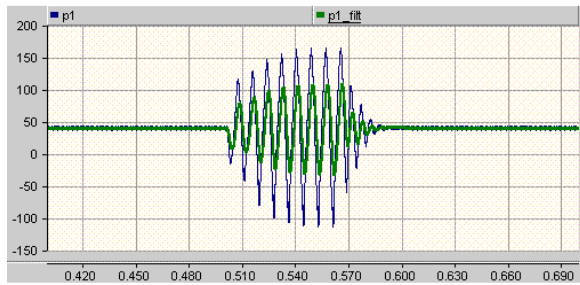


Figura 26 - Valores instantâneo e filtrado de $p1$ (MW).

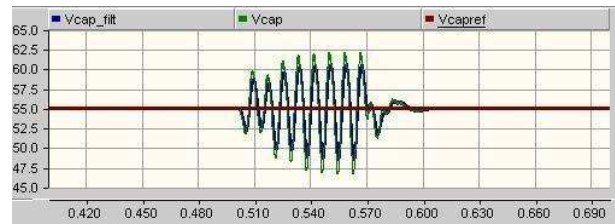


Figura 27 - Tensão no capacitor CC e seu valor de referência (kV).

4.0 - CONCLUSÃO

As aplicações mais atrativas de conversores VSC são aquelas que exigem desempenho rápido (menor que meio ciclo) e soluções para problemas como conexões em sistemas com baixa relação de curto circuito (SCR) ou onde a limitação de espaço seja crítica. Em um sistema de potência de grande porte como o sistema interligado brasileiro pode-se utilizar o BTB com VSC para segmentar a transmissão em CA com o objetivo de se elevar os limites de transmissão de potência atenuando-se, pela ação do controle de tensão, as restrições impostas pelas quedas de tensão ao longo de linhas de comprimentos elevados. Além disso, é possível ainda eliminar-se as restrições operativas devidas ao desempenho dinâmico do sistema.

Nas simulações realizadas concluiu-se que para perturbações que causam desequilíbrio na rede CA, como o curto-circuito monofásico, é necessário um maior aprofundamento nas investigações dos problemas identificados, uma vez que em aplicações reais de sistemas de potência o desempenho do equipamento precisa ser adequado e atender a requisitos específicos como, por exemplo, a "Low Voltage Ride Through" [9] a qual exige que os aerogeradores devem resistir às quedas de tensão a um determinado percentual do valor nominal, durante um período determinado.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Hingorani, N.G., "High Power Electronics and Flexible AC Transmission System", IEEE Power Engineering Review, July 1988.
- [2] Cigrè Working Group, "VSC Transmission", Technical Brochure 269, WG B4.37, April 2005.
- [3] Gárdos, R., "Transmissão de energia a longa distância com linhas CA segmentadas por conversores VSC B2B", tese de mestrado, UFRJ/COPPE, Junho 2008.
- [4] Biruel Jr., J. "Análise comparativa das tecnologias embarcadas de aproveitamento de gás natural", tese de mestrado, UFRJ/COPPE, Setembro 2008.
- [5] Rangel, R.D., Gárdos, R., Pedroso, A., Watanabe, E.H., "Representação de Elos CC back-to-back baseados em conversores de tensão para estudos de estabilidade eletromecânica", XI SEPOPE, Belém-PA, Março 2009.
- [6] Manitoba HVDC Research Centre, "PSCAD/EMTDC User Manual", Tutorial Manual, 1994.
- [7] Shauder, C., Mehta, H., "Vector analysis and control of advanced static VAR compensators", IEE Proceedings, Vol. 140, No. 4, July 1993.
- [8] Rangel, R.D., "Modelagem de equipamentos FACTS baseados em inversores de tensão para análise de fluxo de potência e fenômenos eletromecânicos", tese de doutorado, UFRJ/COPPE, Setembro 2004.
- [9] Lima, F. K. A., Aerogerador Baseado em Máquina de Indução Duplamente Alimentada - Suportabilidade para Afundamento de Tensão. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009.

DADOS BIOGRÁFICOS

**Luciano de Oliveira Daniel**

Graduou-se em Engenharia Elétrica em 2004 na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Atualmente está cursando Mestrado na área de Eletrônica de Potência na COPPE/UFRJ, onde realiza pesquisa sobre modelagem de elos de corrente contínua. Trabalhou no Operador Nacional do Sistema (ONS) no ano de 2005 atuando em projetos na Gerência de Proteção e Controle (GPE1). Trabalha desde 2006 no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) como pesquisador efetivo do Departamento de Redes Elétricas, onde se dedica principalmente à realização de estudos elétricos de sistemas de potência solicitados por diferentes agentes do Setor. Participou do estudo das alternativas de transmissão para o aproveitamento das usinas do rio Madeira e, mais recentemente, da usina de Belo Monte. Suas principais áreas de interesse são: Transmissão em corrente contínua, tecnologia FACTS, controle aplicado a sistemas de potência, estudos de regime permanente, transitórios eletromecânicos e eletromagnéticos e armazenamento de energia em supercondutores.

**Edson Hirokazu Watanabe**

Graduou-se em Engenharia Eletrônica pela Escola de Engenharia / UFRJ e obteve o grau de mestre (M.Sc) em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ, em 1975 e 1976, respectivamente. Em 1981, obteve o título de Doutor em Engenharia (D.Eng.) pelo Instituto de Tecnologia de Tóquio, Japão. Neste mesmo ano ele passou a Professor Adjunto e, em 1994, a Professor Titular da COPPE / Universidade Federal do Rio de Janeiro, onde atua em Eletrônica de Potência. Suas áreas de maior interesse são filtros ativos, tecnologia FACTS, análise, modelagem e projeto de conversores. É co-autor do livro "Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning" do IEEE-Press / Wiley. Dr. Watanabe é membro do IEE-Japan, da Sociedade Brasileira de Automática, da Sociedade Brasileira de Eletrônica de Potência, do CIGRE, do Power Engineering, Industry Applications e Power Electronics Societies do IEEE. Em 2005, foi admitido na Ordem Nacional do Mérito Científico na classe de Comendador.

**Antônio Ricardo Cavalcanti Dias de Carvalho**

Graduou-se em Engenharia Elétrica em 1981 na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Em 1987 obteve o título de Mestre na área de Sistemas de Potência na COPPE/UFRJ, apresentando dissertação sobre a Modelagem de Sistemas de Controle de Elos CCAT em Programas de Transitórios Eletromagnéticos (Programa EMTP). Até 1986 trabalhou em Furnas, no Departamento de Estudos Elétricos da Operação, tendo se dedicado principalmente aos estudos associados ao início da operação dos bipolos CCAT do Sistema da UHE Itaipu. No CEPEL, atuou em diversos trabalhos envolvendo transmissão CCAT e equipamentos FACTS, tais como: desenvolvimento de modelos de elos CCAT, SVC e TCSC no programa ATP; Projeto "HVDC Multifeed", em conjunto com o EPRI (USA); estudos elétricos do Projeto CCAT/CCC de Garabi e nos estudos da alternativa CCAT para o Aproveitamento das usinas do rio Madeira e Belo Monte. É membro dos Comitês de Estudos B4, C1 e C2 do Cigré-Brasil. Seus campos de interesse são: Transmissão CCAT, Equipamentos FACTS, Controle aplicado a Sistemas de Potência, bem como Estudos de Transitórios Eletromagnéticos e Eletromecânicos.

**Leonardo Pinto de Almeida**

Graduou-se em Engenharia Elétrica em 2000 na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Em 2004 obteve o título de Mestre na área de Sistemas de Potência na COPPE/UFRJ, apresentando dissertação sobre a Análise de Desempenho do Controle Automático de Geração e do Controle Secundário de Tensão. Desde 1998 trabalha no CEPEL. Atualmente, encontra-se no Departamento de Redes Elétricas e, tem se dedicado à realização de estudos elétricos de sistemas de potência solicitados por diferentes agentes do Setor. Participa dos estudos do Projeto de Transmissão em CCAT para o Aproveitamento das usinas do rio Madeira, e mais recentemente, da usina de Belo Monte. É membro do Comitê de Estudos B4 (CCAT e Eletrônica de Potência) do Cigré-Brasil. Seus campos de interesse são: Transmissão CCAT, Equipamentos FACTS, Controle aplicado a Sistemas de Potência, bem como Estudos de Transitórios Eletromagnéticos e Eletromecânicos.