SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

GSC 23
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO X

GRUPO DE ESTUDO DE SOBRETENSÕES E COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO – GSC

APLICAÇÃO DE CAPACITORES SÉRIE PROTEGIDOS POR TIRISTORES EM SISTEMAS DE POTÊNCIA

Ricardo Carvalho Campos **Cláudio Ferreira** **Pedro Paulo de Carvalho Mendes**

Areva T&D Brasil (*) **Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI**

RESUMO

Durante a sua vida útil, bancos de capacitores série (BCS) são frequentemente submetidos a tensões e correntes transitórias decorrentes de manobras e/ou faltas no sistema. Para controlar o nível destes transitórios, são empregados sistemas de proteção contra sobretensões. O esquema convencional prevê a instalação de varistores de óxido metálico (MOV) e/ou gaps em paralelo com o capacitor. Contudo, para reduzir os requisitos de energia dos MOV, porém sem detrimento da estabilidade angular do sistema, estuda-se substituí-los por tiristores. Este artigo descreve a aplicação de tiristores como dispositivos de proteção de capacitores série e compara os esquemas atualmente disponíveis através de simulações com o software ATP.

PALAVRAS-CHAVE: Capacitor série, sobretensões, MOV, tiristores, requisitos de energia, ATP.

1. INTRODUÇÃO À COMPENSAÇÃO SÉRIE DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

Compensar uma linha significa alterar suas características elétricas. A compensação série consiste em instalar um capacitor em série com uma linha de transmissão, reduzindo a sua reatância indutiva série (X_L) e o seu comprimento elétrico (θ). A redução da reatância série implica na redução da impedância de surto da linha (Z_0), tornando o controle de tensão mais eficiente, porém sem muita influência na estabilidade angular do sistema. Já a redução do comprimento elétrico, além de melhorar a regulação de tensão entre terminais de uma linha e elevar a potência máxima de transmissão, contribui decisivamente para a melhoria da estabilidade angular do sistema. Os parâmetros elétricos de uma linha de transmissão, tais como impedância de surto, comprimento elétrico, potência natural e potência máxima de transmissão, dependem do grau de compensação série (k_{se}) nela instalada.

A determinação do grau de compensação de um sistema é obtida através de estudos sistêmicos, tais como fluxo de carga, estabilidade angular, curto-circuito e transitórios eletromagnéticos. Após a definição do grau de compensação série necessário, pode-se calcular a reatância capacitiva série (X_C) a partir da reatância indutiva da linha (X_L) a partir da equação 1.

$$X_C = k_{se} \cdot X_L \qquad \text{Equação 1}$$

2. ASPECTOS DE PROJETO DE BANCOS DE CAPACITORES SÉRIE (BCS)

2.1. Requisitos de Tensão

Os bancos de capacitores série são caracterizados por duas tensões principais:

- Tensão nominal (U_N): tensão eficaz entre os terminais do capacitor série sob freqüência e corrente nominais, podendo ser calculada conforme a equação 2.

(*) Avenida Nossa Senhora da Piedade, 1021 – Bairro Piedade – CEP 37504-358 – Itajubá/MG – Brasil
Tel: +55 35 3629-7070 – Fax: +55 35 3629-7070 – Email: ricardo.campos@areva-td.com

$$U_C = X_C \cdot I_N \qquad \text{Equação 2}$$

- Tensão limite (U_{LIM}): máxima tensão instantânea entre os terminais do capacitor série imediatamente antes da atuação do dispositivo de sobretensão, podendo ser calculada conforme a equação 3.

$$U_{LIM} = \sqrt{2} \cdot K_U \cdot U_C \qquad \text{Equação 3}$$

Nota: A definição da tensão limite está intimamente ligada a suportabilidade dielétrica (K_U) dos capacitores, que por sua vez depende dos aspectos construtivos e tecnológicos das unidades capacitivas que o compõem. Capacitores com isolamento com filmes de polipropileno, atualmente os mais empregados em BCS, suportam tensões de 2,0 a 2,3 pu da tensão nominal, enquanto os isolados em papel e filmes de PCB, de 2,5 a 2,8. Já os isolados com papel e óleo mineral suportam de 3,0 a 3,5 da sua tensão nominal.

2.2. Requisitos de Corrente

Os bancos de capacitores série apresentam os mesmos requisitos de corrente de uma linha de transmissão, listados a seguir:

- Corrente nominal (I_N): corrente que o BCS deve ser capaz de conduzir em regime contínuo à freqüência nominal. É obtida através dos estudos de expansão e operação do sistema.

- Correntes de emergência ou de sobrecarga: correntes que surgem no período pós-contingência e/ou em decorrência de manobras no sistema (*swing currents*). Tipicamente, os níveis e as durações das sobrecargas são:

  - 1,10 pu da corrente nominal por 8 h num período máximo de 12 h
  - 1,35 pu da corrente nominal por 30 min num período máximo de 6 h
  - 1,50 pu da corrente nominal por 10 min num período máximo de 2 h

  Nota: Durante as emergências, não é aceitável o by-pass do banco para assegurar a segurança operativa do sistema. Sendo assim, o BCS e seus equipamentos associados devem ser dimensionados para suportar os requisitos de tensão e energia decorrentes das correntes de sobrecarga.

- Correntes de curto-circuito: correntes que surgem na ocorrência de faltas no sistema de transmissão. Tem duração de apenas alguns ciclos, porém provocam tensões inadmissíveis entre os terminais do BCS. Dependendo do nível de falta, os requisitos de energia MOV são elevados, ou seja, estes devem possuir elevada capacidade de absorção e dissipação de energia. Basicamente, os requisitos de energia dos varistores dependem dos seguintes fatores:

  - Localização da falta: interna ou externa à linha compensada [(1)]
  - Tipo de falta: monofásica, bifásica ou trifásica
  - Duração da falta: tempo de eliminação da falta ou de by-pass do BCS
  - Nível de falta: potência de curto-circuito do sistema e localização do BCS na linha [(2)]

  Notas:

  [(1)] Faltas internas são aquelas que ocorrem dentro da linha compensada, enquanto as externas ocorrem em qualquer outro ponto do sistema. Para faltas internas, o by-pass do banco é aceitável, uma vez que ocorrerá a abertura da linha para a eliminação da falta. Porém, para faltas externas, é desejável que o banco permaneça em operação para assegurar maior estabilidade angular do sistema.

  [(2)] A localização do BCS na linha pode ser terminal, central ou distribuído em cada 2/3 da linha. A determinação da melhor localização tem influência sobre a efetividade da compensação, do perfil de tensão ao longo da linha, do sistema de proteção do banco e da própria linha, sobre os requisitos de manutenção do banco e também sobre os requisitos de energia dos MOV.

- Correntes de descarga: correntes que o capacitor deve ser capaz de suportar durante a operação de by-pass do banco série. Caracterizam-se por apresentar elevado valor de pico, alta freqüência e curtíssima duração. As descargas são limitadas pelo circuito de amortecimento, normalmente constituído por um reator com núcleo de ar e, opcionalmente, um resistor em paralelo com o reator. Em geral, as descargas se superpõem às correntes de faltas, resultando em elevadas tensões entre os terminais do BCS. Não apresentam efeito térmico, mas apenas dielétrico e mecânico nos equipamentos do banco.

3. ESQUEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA SOBRETENSÕES DE BANCOS DE CAPACITORES SÉRIE

A configuração típica de um banco de capacitores série é apresentada na figura 1.

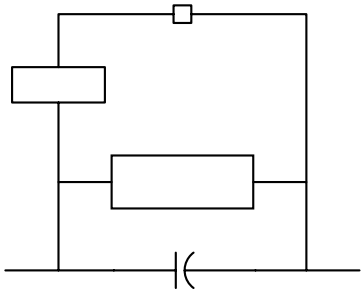

Figura 1 – Configuração básica do capacitor série

O esquema de proteção contra sobretensões é considerado um dos fatores decisivos na especificação BCS, assim como no desempenho elétrico esperado do sistema frente às perturbações externas. A escolha adequada deste sistema deve levar em conta os seguintes fatores:

- Requisitos de corrente do banco (conforme item 2.2)
- Requisitos de estabilidade do sistema (tempo mínimo de reinserção após a eliminação da falta)
- Nível de proteção do capacitor série (U_{LIM})

Nos esquemas de proteção convencionais (formados por MOV e/ou gaps), o ponto crítico na definição do sistema de by-pass está associado aos requisitos de energia dos varistores sob condições de falta. Dependendo do ciclo de falta (*fault duty* cycle) considerado e dos requisitos de corrente do banco, pode-se resultar numa enorme capacidade de absorção e dissipação de energia, tornando o projeto anti-econômico. Tipicamente, os BCS são dimensionados para os ciclos de falta apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Ciclos de faltas típicos de bancos de capacitores série

Localização da Falta	Tipo da Falta	Duração da Falta (ciclos)
Faltas Externas	Fase-terra	4 ciclos – 500 ms (Open) – 12 ciclos
	Trifásica	12 ciclos
Faltas Internas	Fase-terra	4 ciclos (1) – 500 ms (Open) – 12 ciclos (1)
	Trifásica	12 ciclos (1)

Nota: (1) Para faltas internas, é aceitável o by-pass do BCS pelo disjuntor de by-pass durante os 4 ou 12 ciclos.

3.1. Esquemas de Proteção contra Sobretensão dos Bancos de Capacitores Série

Os esquemas de sobretensão são formados pela aplicação de MOV, gaps e/ou tiristores. O esquema formado por gaps ou tiristores fornece um caminho paralelo, de baixa impedância, para a corrente de falta que passa pelo capacitor. A tensão entre os terminais do banco é consideravelmente reduzida e a corrente de falta é quase totalmente desviada do capacitor. Por outro lado, os MOV atuam limitando a tensão entre os terminais do banco a um determinado nível de proteção (da ordem de 2,0 a 2,3 pu da tensão nominal), desviando apenas o excesso da corrente de falta que passa pelo banco.

Estas diferenças no modo de atuação são fatores determinantes tanto na especificação do BCS e equipamentos associados, quanto no desempenho elétrico esperado do sistema no que diz respeito às questões de estabilidade (tempo mínimo de reinserção após a eliminação da falta). A tabela 2 apresenta uma comparação entre os esquemas de proteção contra sobretensões de bancos de capacitores série.

Tabela 2 – Comparação dos esquemas de proteção contra sobretensões de capacitores série

Sistema de Proteção	Gaps	Varistores	Tiristores
Custo Total do BCS	Baixo	Alto	Muito Alto
Área (Dimensão e Custo da Plataforma)	Pouca	Grande	Média

Tempo de Reinserção (Estabilidade)	200 – 400 ms	Instantâneo	Instantâneo
Requisitos de Energia dos MOV (By-Pass)	Baixo	Alto	Baixo
Tensões Transitórias (Nível de Isolamento)	Altas	Baixo	Baixo
Flexibilidade Operativa (Upgrade do BCS)	Bom	Ruim	Médio
Contribuição para Ressonância Subsíncrona (SSR)	Alta	Pequena	Pequena

3.1.1. Esquema de Proteção por meio de Gaps

O by-pass do banco de capacitores é estabelecido quando ocorre a ignição (atuação) do gap, a partir de uma determinada tensão entre seus terminais. A ignição pode ser automática (por exemplo, quando a tensão atingir o limite dielétrico do gap e, então, ocorre ignição natural através do rompimento deste dielétrico) ou forçada (quando a ordem para ignição vem de um sistema de supervisão externo ao gap).

A reinserção do banco de capacitores ao sistema só poderá ocorrer após a restauração da resistência dielétrica do gap (deionização do meio dielétrico). Sendo assim, se o tempo necessário para a recuperação dielétrica do gap for relativamente grande, poderá ocorrer degradação da segurança operativa do sistema. Tipicamente, o tempo médio de reinserção é de 200 a 400 ms após a eliminação da falta, podendo ser reduzido para 80 a 100 ms quando for utilizado um sistema com 2 gaps (*dual gap system*).

Os gaps podem ser projetados para operar com arcos sustentados (elementos tipo K) ou não sustentados (elementos tipo L). Quando protegidos por elementos tipo K, os capacitores são expostos a apenas um pico de tensão e, consequentemente, a apenas uma descarga em cada operação do gap, cuja amplitude geralmente é limitada a 100 vezes a corrente nominal do banco. Porém, quanto protegidos por elementos tipo L, os bancos estão sujeitos a sucessivos picos de tensão e correntes de descarga, uma vez que a corrente no gap é interrompida a cada ciclo quando passa pelo zero. Por causar uma maior solicitação térmica e dielétrica nos equipamentos, a corrente de descarga deve ser limitada a no máximo 50 vezes a corrente nominal do banco.

Um dos esquemas de proteção mais utilizados prevê a instalação combinada de MOV com gaps com disparo forçado (*forced-triggered gaps*), cuja função principal é o by-pass rápido do varistor durante faltas internas e sua atuação baseia-se na leitura de certas quantidades (tensão, corrente, energia, taxa de variação, etc).

3.1.2. Esquema de Proteção por meio de Varistores

Os varistores limitam temporariamente a tensão através do capacitor, conduzindo apenas o excesso de corrente de falta que passa pelo BCS. Esta limitação ocorre em cada meio ciclo durante a condição de sobrecorrente, até a abertura do disjuntor de by-pass ou do disparo do gap de proteção do varistor. A máxima tensão no banco depende apenas da característica não linear tensão-corrente do varistor e da magnitude da sobrecorrente, que pode ser representada pela equação 4.

$$I_{MOV} = K \cdot U_{MOV}^{\alpha} \qquad \text{Equação 4}$$

A figura 2 apresenta a curva U_{MOV} x I_{MOV} de um varistor com α igual a 33 (típico), considerando uma tensão limite de 2,3 pu e corrente de descarga de 10 kAp.

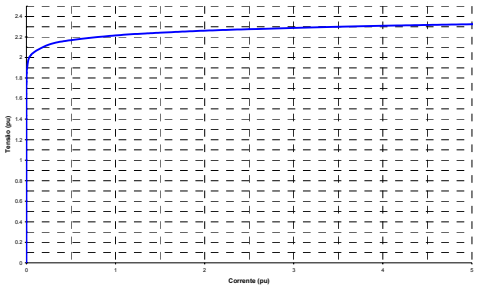

Figura 2 – Característica U=f(I) dos Varistores

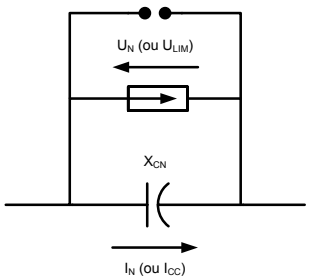

Figura 3 – Esquema de Proteção com MOV + Gap

A seleção do nível de proteção deve levar em consideração os requisitos de corrente do BCS. Os varistores devem ser capazes de suportar as tensões associadas às diversas condições operativas e, em seguida, a absorção da energia decorrente das correntes de falta e de descarga do capacitor. Em geral, pode-se afirmar que baixos níveis de proteção resultam em maior absorção de energia devido à maior condução de corrente durante as manobras do sistema. A elevação do nível de proteção reduz os requisitos de energia dos varistores, porém os capacitores deverão ser dimensionados para suportar maiores sobretensões.

Quando o nível das faltas internas é elevado (sistemas com alta potência de curto-circuito), pode-se optar pela instalação de um gap de atuação rápida em paralelo com o disjuntor de by-pass, conforme figura 3, que limitará a absorção de energia pelos MOV quando da ocorrência de faltas na linha. Neste caso, o varistor deve suportar as correntes de falta até que a atuação do gap.

3.1.3. Esquema de Proteção por meio de Tiristores

Esta recente aplicação busca aplicar eletrônica de potência (tiristores) nos sistemas de by-pass de BCS. Por volta do ano 2000, uma grande concessionária norte-americana substituiu um de seus bancos de capacitores série protegidos por gaps, que se encontrava em operação por mais de 30 anos, por um capacitor série protegido por tiristores (TPSC – *Thyristor Protected Series Capacitor*), cuja configuração básica é mostrada na figura a seguir.

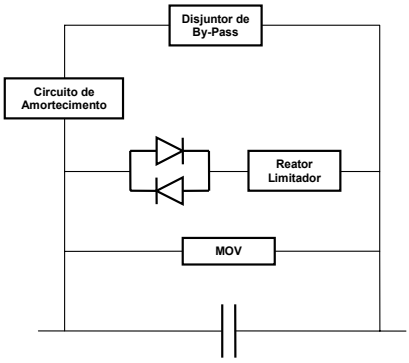

Figura 4 – Configuração básica do TPSC

Princípio Básico de Funcionamento

Durante a operação normal, os tiristores estão bloqueados e a corrente de linha passa através do capacitor. Quando o sistema de proteção detecta a ocorrência de uma falta interna no sistema, as válvulas são comutadas e o capacitor é curto-circuitado. Considerando que a impedância do circuito dos tiristores é menor que a do circuito do capacitor série, quase a totalidade da corrente de linha é desviada, reduzindo consideravelmente a tensão entre os terminais do capacitor série.

O valor de pico da corrente é definido como critério para distinguir o tipo de falta (interna ou externa). Para faltas internas, os tiristores devem conduzir a corrente de falta até o fechamento do disjuntor de by-pass (tipicamente, o tempo de condução é de 2 a 3 ciclos da corrente de falta). Entretanto, adota-se um tempo de até 10 ciclos, correspondente ao tempo de eliminação da falta pela proteção de retaguarda da linha. Para faltas externas, não é aceitável a atuação do disjuntor de by-pass. Porém, poderá ocorrer o disparo dos tiristores para correntes superiores as de sobrecarga e inferiores às equivalentes de faltas internas na linha.

Os tiristores, quando estão no processo de condução, apresentam requisitos de absorção de energia e elevação de temperatura consideravelmente inferior aos dos MOV para a mesma aplicação. Sendo assim, os tiristores estarão aptos para retornar a operação em poucos minutos após a eliminação da falta na linha, enquanto que os varistores podem requerer elevados tempos de resfriamento, dependendo do nível de energia absorvida durante as faltas. O curto tempo de resfriamento dos tiristores garante excelente segurança operativa ao sistema.

4. ASPECTOS DE PROJETOS DE CAPACITORES SÉRIE PROTEGIDOS POR TIRISTORES (TPSC)

4.1. Tiristores

Os tiristores são baseados na tecnologia LTT (*Light-Triggered Thyristor*), atualmente empregada em sistemas de compensação estática (SVC – *Static Var Compensator*) e transmissão em corrente contínua (HVDC – *High Voltage Direct Current*). Os LTT apresentam algumas vantagens com relação aos tiristores convencionais, com disparo através de circuito elétrico, tais como: toda a proteção individual do tiristor é integrada no próprio equipamento; os pulsos de disparo ópticos são gerados na base da própria base do tiristor e transmitidos diretamente ao gate, melhorando a sua característica de disparo (*turn-on*); os pulsos de disparo estão disponíveis a qualquer instante de tempo mesmo em condições de baixa tensão nas válvulas; e, por fim, o projeto do circuito de disparo é passivo, sem a necessidade de fontes e circuitos de proteção. Isso minimiza o uso de cabos e elimina a ocorrência de descargas parciais e interferências eletromagnéticas, fazendo do LTT um equipamento com maior confiabilidade.

4.2. Reator do Circuito dos Tiristores

Em série com os tiristores deve ser instalado um reator com núcleo de ar, denominado *valve-damping reactor*, que tem a finalidade de limitar a corrente através das válvulas, bem como a sua taxa de crescimento (di/dt). Deve ser projetado com baixo fator de qualidade (da ordem de 4 a 8) para apresentar um elevado amortecimento em alta freqüência. Em regime normal, como os tiristores estão bloqueados, não há necessidade de projetar este reator para os mesmos requisitos de corrente da linha (nominal e de sobrecarga). Entretanto, devem ser dimensionados para suportar as correntes de falta até que o disjuntor de by-pass seja fechado.

4.3. Disjuntor de By-pass e Circuito de Amortecimento

O disjuntor de by-pass e o circuito de amortecimento devem ser projetados para suportar a superposição da corrente de curto-circuito à freqüência fundamental com a corrente de descarga do capacitor série à freqüência de descarga. A limitação e o amortecimento desta descarga são obtidos pela inserção de reatores com núcleo de ar e, opcionalmente resistores, em série com o disjuntor de by-pass.

O circuito de amortecimento (reatores + resistores) deve ser dimensionado para os requisitos de corrente da linha de transmissão. Também é requerido baixo fator de qualidade em altas freqüências, que neste caso são da ordem de 500 a 1500 Hz. Tipicamente, o fator de qualidade varia entre 5 e 10.

Para evitar o fluxo de corrente em regime permanente através do resistor, elevando as perdas ativas do sistema, pode-se instalar um pequeno gap em série com o resistor. Quando a tensão entre os terminais do reator atingir um determinado valor, o gap é disparado e a corrente é dividida entre o reator e resistor. Após a eliminação da falta e o amortecimento da corrente de descarga, o gap inibe novamente a passagem de corrente pelo resistor.

5. APLICAÇÃO DO TPSC EM SISTEMAS DE POTÊNCIA

Para analisar o desempenho elétrico do TPSC em sistemas de potência, foram realizadas simulações em um sistema fictício utilizando o software ATP (*Alternative Transient Program*). O sistema teste adotado para as análises é apresentado na figura a seguir.

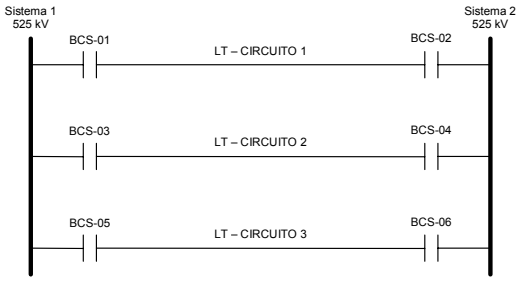

Figura 5 – Sistema teste para análise de desempenho do TPSC

O sistema teste consiste em dois subsistemas, com tensão nominal de 525 kV, freqüência 60 Hz e elevada potência de curto-circuito trifásico (13500 MVA e 26500 MVA para os subsistemas 1 e 2, respectivamente), interligados através de três linhas de transmissão, com 200 km de comprimento e grau de compensação de 70%, divididos em 2 bancos instalados nas subestações terminais de cada circuito.

Os parâmetros elétricos da linha de transmissão são 0,01943 + j 0,32886 Ω/km e j 5,097 μS/km, para seqüência positiva, e 0,2987 + j 1,0368 Ω/km e j 3,5517 μS/km, para seqüência zero. A corrente nominal da linha de transmissão é de 2400 A e o requisito de sobrecarga é de 1,45 pu durante 30 minutos. Cada banco série tem potência nominal trifásica de 400 Mvar, tensão nominal de 56 kV e nível de proteção de 2,3 pu.

Para efeito de comparação entre os esquemas de by-pass, foi considerada a ocorrência de um curto-circuito trifásico no terminal de linha do BCS-06, com tempo de eliminação da falta pelo sistema de proteção de 100 ms (6 ciclos). Foram registradas as tensões, correntes e requisitos de energia associados aos bancos BCS-01, submetido a uma falta externa, e BCS-06, submetido a uma falta interna. Todos os BCS possuem um MOV com tensão de 150 kVp (relativa a uma corrente de descarga de 10 kAp).

O BSC-06 foi modelado tanto com o esquema de proteção por MOV quanto por tiristores. No esquema com MOV, foi adotado como limite de energia o valor de 100 MJ por fase para faltas internas. Para faltas externas, não foram impostos limites para os requisitos de energia. No esquema com tiristores, o critério para distinção de faltas internas foi o de valor de pico da corrente de linha no valor de 10 kAp. Os resultados são apresentados nas seções 5.1 e 5.2.

5.1. Esquema com MOV

As tensões entre terminais dos BCS-01 e BCS-06 estão apresentadas nas figuras 6 e 7. Verifica-se que o tempo de atuação do disjuntor de by-pass é de aproximadamente 3 a 4 ciclos da corrente de falta, de tal forma que a energia absorvida pelo MOV do BCS-06 não exceda o limite estabelecido.

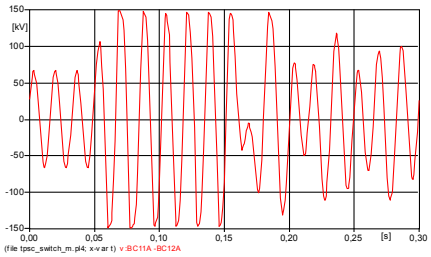

Figura 6 – Tensão entre terminais no BCS-01

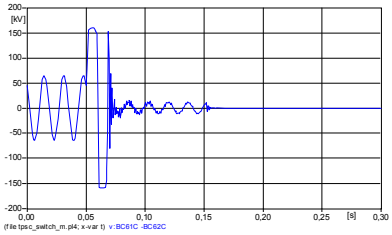

Figura 7 – Tensão entre terminais no BCS-06

Os requisitos de energia dos MOV dos BCS estão apresentados nas figuras 8 e 9. A energia registrada no BSC-01 corresponde aos requisitos para faltas externas de todos os BCS.

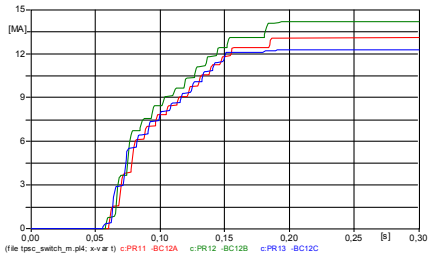

Figura 8 – Requisitos de energia do BCS-01

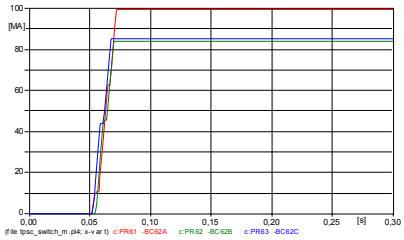

Figura 9 – Requisitos de energia do BCS-06

5.2. Esquema com Tiristores

As tensões entre terminais dos BCS-01 e BCS-06 estão apresentadas nas figuras 10 e 11. Verifica-se que a tensão no BCS-06 durante o by-pass é menor do que a tensão em regime, devido ao fato de que a maior parte da corrente foi desviada para o circuito dos tiristores.

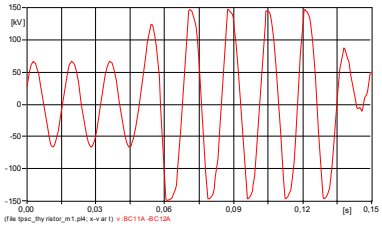

Figura 10 – Tensão entre terminais no BCS-01

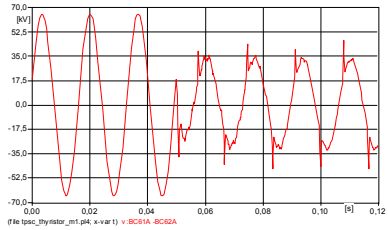

Figura 11 – Tensão entre terminais no BCS-06

A energia absorvida pelos MOV do BCS-01 está apresentada na figura 12. Verifica-se que os níveis de energia encontrados são menores do que os obtidos com o esquema por MOV. A figura 13 apresenta a corrente através dos tiristores da fase A, enquanto figura 14, a corrente que passa pelo reator limitador do circuito dos tiristores durante o by-pass do banco.

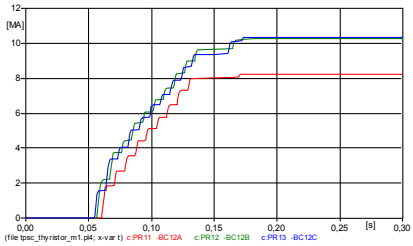

Figura 12 – Requisitos de energia do BCS-01

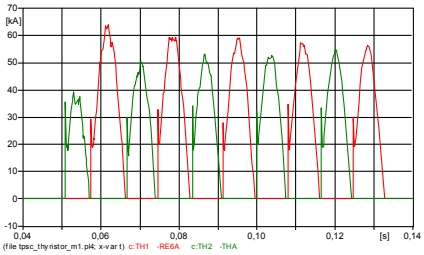

Figura 13 – Corrente através dos tiristores da fase A

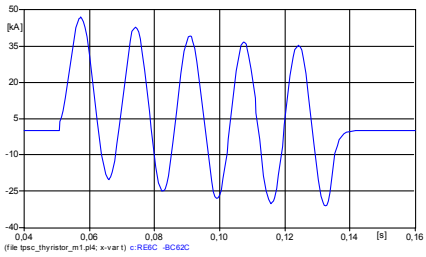

Figura 14 – Corrente através do reator limitador do circuito dos tiristores

6. CONCLUSÕES

Com o avanço tecnológico da eletrônica de potência, o TPSC pode-se tornar uma alternativa viável para a compensação série de linhas de transmissão, em substituição aos convencionais capacitores série protegidos por MOV, quando estes apresentarem elevados requisitos de energia sob condições de falta. Porém, o alto custo dos tiristores ainda coloca este novo esquema de proteção em desvantagem ao esquema convencional com MOV. No que diz respeito às questões sistêmicas, tanto o TPSC quando o BCS convencional apresentam desempenhos similares, com tempos de reinserção praticamente nulos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Anderson, P.M. & Farmer, R.G.; Series Compensation of Power System; PBLSH! Inc.; 1996.

[2] Kirschner, L., Bohn, J. & Sadek, K.; Thyristor Protected Series Capacitor – Part 1: Design Aspects; IEEE PES T&D; São Paulo; 2002.

[3] Kumar, A., Kuhn, G. & Braun, K.; Thyristor Protected Series Capacitor – Part 2: Control and Protection Concepts; IEEE PES T&D; São Paulo; 2002.

[4] ATP Rule and Thory Books.

8. BIOGRAFIA DOS AUTORES

Ricardo Carvalho Campos

Nascido em Cristina/MG, em 1976. Graduado em Engenharia Elétrica pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá em 2001. Obteve o título de Mestre em Sistemas Elétricos de Potência pela Universidade Federal de Itajubá em 2007. Atualmente exerce a função de supervisor de engenharia de reatores e bobinas de bloqueio na Areva T&D Ltda. Também atuou como engenheiro de sistemas de potência no Núcleo Sul do Operador Nacional do Sistema Elétrico, em 2006, e como engenheiro de projetos de reatores e bobinas de bloqueio na Areva T&D Ltda., de 2001 a 2005.

Cláudio Ferreira

Professor Adjunto da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Engenheiro eletricista, formado pela EFEI, em 1977. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília (UnB), em 1983. Doutor em Engenharia Elétrica pela UNIFEI, em 1998. Professor do Curso de Especialização em Sistemas Elétricos (CESE). Consultor da Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria (FUPAI). Serviços de consultoria realizados para Furnas, Cemig, Cepel, Aneel, ONS, CPFL, Itaipu, JPEletric, Norconsult, CSN, TermoRio, Maggi, etc. Diversos cursos ministrados nas áreas de Sistemas Elétricos de Potência, para Companhias de Eletricidade e Indústrias Brasileiras. Engenheiro da firma de consultoria Themag Engenharia Ltda de 1978 a 1991. Assessor de Diretor na Agência Nacional de Energia Elétrica em 1999 e 2000. Seu campo de interesse é em Sistemas Elétricos de Potência, nas áreas de análise, dinâmica, transitórios eletromagnéticos, controle, operação e planejamento.

Pedro Paulo de Carvalho Mendes

Nascido em 2 de julho de 1956 em Itajubá – Minas Gerais. Graduou-se em Engenharia Elétrica pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá – EFEI em dezembro de 1977. Em junho de 1989 concluiu o programa de Mestrado em Engenharia Elétrica na EFEI, com atuação na área de “Controle Automático da Geração”. Em julho de 1999 finalizou o seu programa de Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, com tese desenvolvida na área de “Estabilidade de Tensão”. Como experiência profissional destacam-se: Engenheiro da Balteau Produtos Elétricos Ltda. - 1978 a 1980 (atual AREVA). Chefe do Departamento de Engenharia e Controle de Qualidade da Balteau Produtos Elétricos Ltda - 1979 a 1980. Engenheiro das Centrais Elétricas Brasileiras S/A - ELETROBRÁS - 1980 a 1989. Membro do Grupo de Trabalho de Análise do Sistema Interligado SUL/SE Brasileiro (Comportamento Dinâmico) - GTAS - 1981 a 1989. Professor da EFEI/UNIFEI desde Agosto/1989. Chefe e Sub-Chefe do Departamento de Eletrotécnica da EFEI - 1991 a 1993. Professor Adjunto da EFEI/UNIFEI desde Dezembro/1998. Membro do Grupo de Engenharia de Sistemas – GESis. Consultor da Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria - FUPAI e da Fundação de Apoio ao Ensino Pesquisa e Extensão de Itajubá - FAPEPE. Áreas de Atuação: Análise de Sistemas de Potência; Dinâmica de Sistemas de Potência; Estabilidade de Sistemas de Potência; Controle de Sistemas de Potência; Operação de Sistemas de Potência; Máquinas Elétricas.