

---

## UM PAINEL DO EMPREGO DA ELETRÔNICA DE POTÊNCIA PARA TRANSMISSÃO CA E CCAT EM EMPRESA BRASILEIRA DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

**MANFREDO CORREIA LIMA \***

**Chesf  
Brasil**

**FERNANDO RODRIGUES ALVES**

**Chesf  
Brasil**

***Resumo** – Este artigo apresenta um painel relativo ao emprego da eletrônica de potência em sistemas de transmissão em corrente contínua e alternada de alta tensão em empresa brasileira de geração e transmissão de energia elétrica (Chesf) a partir da década de 1980, quando teve início a operação do compensador estático de potência reativa (SVC) de Fortaleza, até os dias atuais, quando está em curso a implantação do sistema de transmissão em corrente contínua (CCAT) associado ao complexo hidroelétrico do Madeira. São destacados os principais benefícios introduzidos na rede de corrente alternada pelos SVC no desempenho do sistema e as diferenças mais relevantes entre os equipamentos de primeira e última geração, estes últimos instalados na década de 2000. Em complemento, é apresentada uma descrição do sistema de transmissão CCAT associado ao complexo hidroelétrico do Madeira, atualmente o projeto de maior relevância no sistema brasileiro, destacando-se os aspectos mais importantes de tecnologia, projeto, desempenho esperado e controle.*

***Palavras Chave** – Compensador Estático (SVC) - Controle Adaptativo – Conversoras - Corrente Contínua em Alta Tensão (CCAT) – Modernização - Sistema de Controle - Sistema de Transmissão - Válvulas de Tiristores*

### **1 INTRODUÇÃO**

A instalação de compensadores estáticos (SVC) nos sistemas elétricos de potência representa uma alternativa bastante atrativa para a melhoria da sua eficiência, devido ao eficaz e flexível controle de tensão realizado por tais equipamentos. Com esta finalidade, dois SVC foram instalados nas subestações (SE) Fortaleza e Milagres em meados da década de 1980, situadas no subsistema Norte da Chesf; Este sistema possuía, na época, baixa potência de curto-circuito e precárias características de regulação de tensão. O atendimento a essas subestações era efetuado através de três linhas de transmissão 230 kV com cerca de 254km e 660km de extensão entre o complexo gerador de Paulo Afonso e as subestações de Milagres e Fortaleza, respectivamente. A cidade de Fortaleza tinha uma população avaliada em três milhões de habitantes. A SE Fortaleza era ainda alimentada também por uma linha de 230 kV oriunda da SE Sobral II.

O sistema de transmissão Leste da Chesf é conectado ao complexo gerador de Paulo Afonso por linhas de 500 kV e 230 kV. O centro consumidor de Natal, com cerca de dois milhões de habitantes, era, nessa época atendido radialmente a partir da subestação de Campina Grande II através de dois circuitos de 230 kV. O crescimento da carga e restrições financeiras à expansão levaram, na década de 1990, o sistema elétrico a operar em condições degradadas de tensão e carregamento das suas linhas de transmissão, não atendendo aos critérios de planejamento. Tais condições foram observadas, particularmente, nas SE Campina Grande II (CGD) e Natal II (NTD), parte integrante do subsistema Leste, onde tais problemas foram agravados devido à forte presença de cargas tipo motor em Natal. Tais cargas possuem comportamento peculiar e devem ser adequadamente modeladas, devido à sua influência no desempenho do sistema, em particular durante a eliminação de faltas. Para minimizar o impacto de tais efeitos, estudos de planejamento adicionais

recomendaram a instalação na SE CGD do SVC originalmente previsto para a SE Rio Largo, situada em Alagoas, cuja entrada em operação ocorreu ao final do ano 2000.

Estudos de planejamento também definiram a necessidade de instalação de um SVC no 230 kV da SE Funil, localizada na região Sul da Bahia. Este equipamento foi projetado com o objetivo de introduzir melhorias no controle de tensão do sistema associado à SE Funil, que possuía à época características radiais com elevado carregamento e situado a cerca de 500km da fonte principal, SE Camaçari. O início da sua operação comercial deu-se em meados de 2001.

No momento, a aplicação de transmissão em CCAT no sistema elétrico brasileiro de maior relevância é constituída pelo sistema de transmissão associado às usinas do complexo hidroelétrico do Rio Madeira (Usinas de Santo Antonio e Jirau), com início de operação previsto para 2012 e que irá conectar as estações Coletora Porto Velho, RO (retificadora) e Araraquara, SP (inversora), separadas por cerca de 2500km através de dois bipólos de  $\pm 600$  kV. Estudos de planejamento definiram esta configuração como a melhor alternativa para atendimento ao sistema regional Acre - Rondônia - Mato Grosso, cujo suprimento se dará através de dois conversores CA/CC de cerca de 400 MW cada, ligados na configuração *back-to-back*, instalados na estação Coletora Porto Velho e para escoamento da energia excedente de cerca de 6300 MW para a região Sudeste do Brasil, através do elo CCAT acima citado. O sistema de transmissão em CCAT destinado a promover o escoamento da energia excedente do complexo hidroelétrico do Madeira para a região Sudeste é composto por dois bipólos em  $\pm 600$  kV, com potência nominal de 3150 MW cada. Conforme estabelecido em leilão ANEEL realizado no segundo semestre de 2008, a implantação do primeiro bipólo (BP-1) está a cargo do consórcio Porto Velho Transmissora, formado pelas empresas Eletronorte e Eletrosul, enquanto que a do segundo bipólo (BP-2) está a cargo do consórcio IE Madeira, formado por FURNAS, Chesf e CTEEP. A seguir é apresentado um painel das aplicações de eletrônica de potência aqui relacionadas, ou seja, os SVC em corrente alternada e o elo CCAT do Madeira em corrente contínua.

## 2 ASPECTOS DE PROJETO BÁSICO DOS SVC

Os SVC Milagres e Fortaleza possuem dois bancos de capacitores fixos e dois reatores controlados a tiristores (TCR), que junto com um transformador abaixador, compõem um sistema de doze pulsos, dimensionado para fornecer uma potência reativa continuamente variada, respectivamente, nos intervalos 70MVAR indutivos a 100MVAR capacitivos e 140MVAR indutivos a 200MVAR capacitivos. A Fig. 1 apresenta um diagrama unifilar simplificado do SVC Fortaleza. O SVC Milagres possui arranjo similar, com reatores conectados em série aos capacitores fixos, compondo dois filtros sintonizados na quinta harmônica.

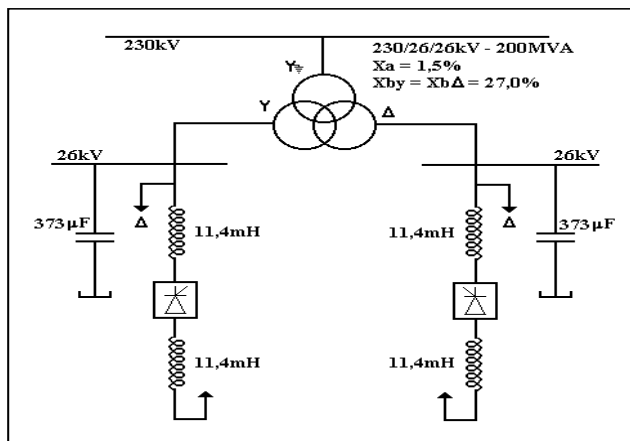


Fig. 1. SVC Fortaleza

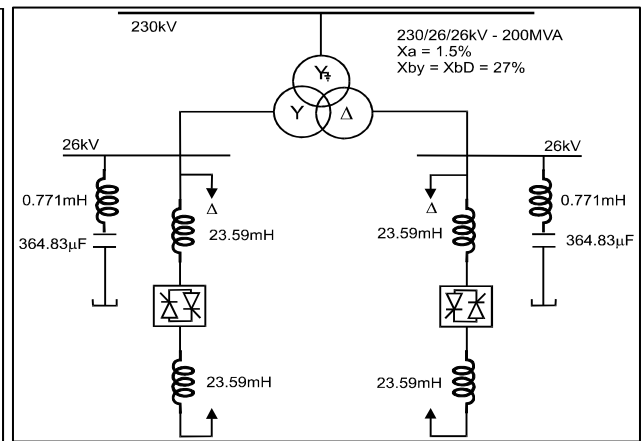


Fig. 2. SVC Campina Grande

O SVC Campina Grande possui dois filtros fixos e dois TCR, que em conjunto com um transformador abaixador 230/26/26kV-200MVA, integram um sistema de doze pulsos, apto a fornecer à rede elétrica um valor de potência reativa compreendido entre 0 e 200MVAR capacitivos (Fig. 2).

O SVC Funil (Fig. 3) possui dois reatores controlados a tiristores (TCR), dois bancos de capacitores chaveados a tiristores (TSC) e dois filtros duplamente sintonizados (DTF) na terceira e quinta harmônica, que junto com um transformador 230/13,5kV-200MVA, forma um sistema de seis pulsos, apto a fornecer ao sistema elétrico uma potência reativa continuamente variada no intervalo de 100MVar indutivos a 200MVar capacitivos.

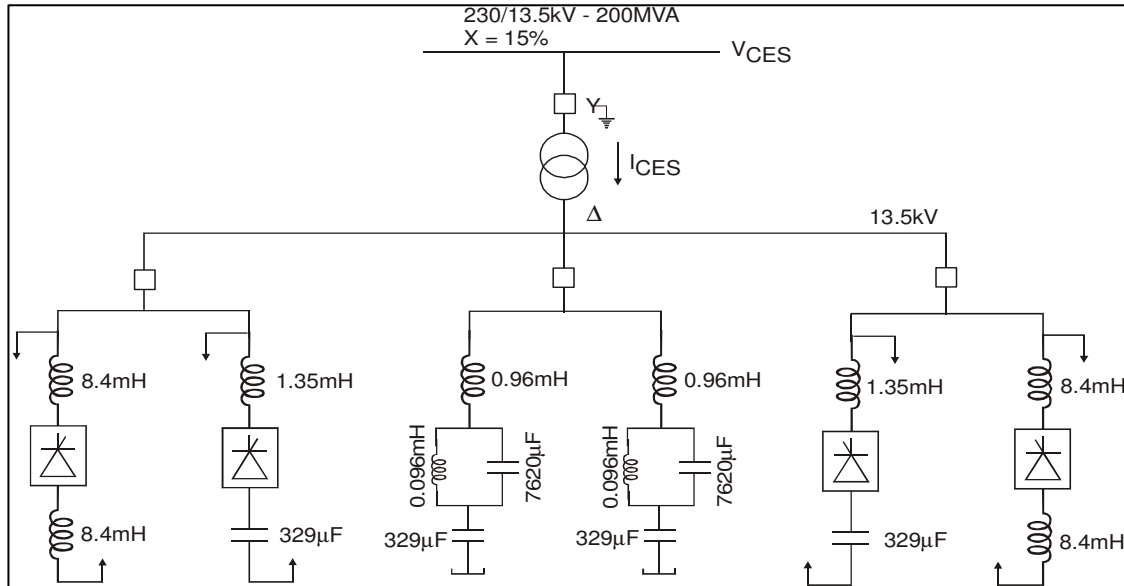


Fig. 3. SVC Funil

### 3 ASPECTOS DE PROJETO BÁSICO DO ELO CCAT

O sistema CCAT do Madeira, utilizado primordialmente para transmissão de potência de Porto Velho a Araraquara, é composto por dois bipólos, denominados BP-1 (Lote LC-CC) e BP-2 (Lote LF-CC), projetados para transmitir, cada um, 3150MW em  $\pm 600$  kV, utilizando um único conversor de 12 pulsos por pólo. A ênfase do presente trabalho é no BP-2, do qual a Chesf integra, junto com FURNAS e CTEEP a equipe responsável pela engenharia do proprietário. Este sistema é dimensionado para permitir o fluxo de potência em ambas as direções, mas otimizado para a transferência de potência de Porto Velho para Araraquara. O bipólo BP2 é conectado ao sistema de corrente alternada (CA) através de bancos de transformadores conversores de dois enrolamentos formados por unidades monofásicas, com potência trifásica nominal de 958MVA (Porto Velho) e 902MVA (Araraquara), por cada conversor de seis pulsos e tensão nominal primária de 500 kV eficaz entre fases.

O circuito de corrente contínua utilizado no projeto básico do elo CCAT BP-2 é mostrado na Fig. 4 e os parâmetros do circuito, indicados na Tabela I. Maiores detalhes do projeto básico do referido equipamento são encontrados em [1].

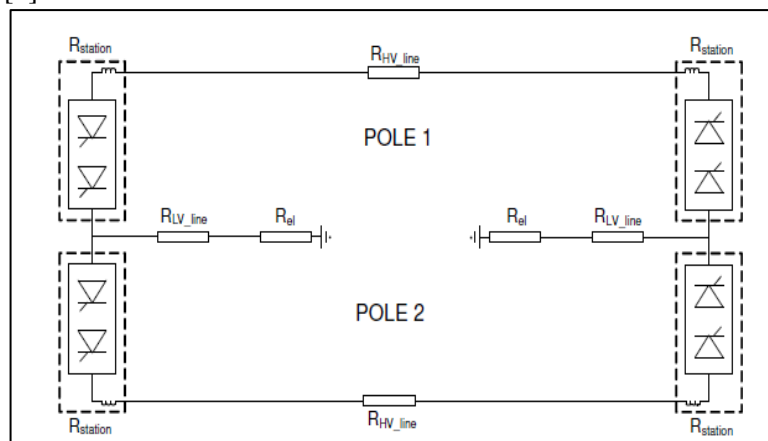


Fig. 4. Circuito CC (BP-2) do elo CCAT do Madeira

TABELA I. PARÂMETROS DO CIRCUITO CC ELO CCAT BP-2

CONDIÇÃO	Rstation ( $\Omega$ )	Rhv_line ( $\Omega$ ) *	Rlv_line ( $\Omega$ ) PVO *	Rlv_line ( $\Omega$ ) ARQ *	Rel ( $\Omega$ )
NOMINAL	0,20	16,480	2,083	0,418	0,350
MÁXIMA	0,30	18,110	2,290	0,460	0,350
MÍNIMA	0,10	14,84	1,875	0,375	0,350

(\*) Máxima temperatura de operação igual a 75°C. Parâmetros definidos conforme Figura 4.

## 4 SVC DE PRIMEIRA GERAÇÃO: ASPECTOS DE EQUIPAMENTOS E CONTROLE

### 4.1 Sistema Controle de Malha Fechada

Os SVC Fortaleza, Milagres e Campina Grande são identificados ao longo deste artigo como equipamentos de primeira geração, pois seus sistemas de controle são puramente analógicos e não adaptativos. Conforme indicado na Fig. 5, as tensões e correntes trifásicas medidas no 230kV são utilizadas para calcular a tensão medida adaptada  $U_{MED}$ , a ser comparada com a tensão de referência, para produzir o sinal de erro  $\Delta U$ , entrada dos canais de controle. A ação de controle do SVC é determinada por dois canais de controle, o canal normal que atua com base em um controlador proporcional-integral (PI), opera continuamente e é o controlador principal e o canal rápido, que atua com base em um controlador proporcional-derivativo (PD) e opera apenas durante grandes perturbações devido à presença de uma banda morta. A amplitude do seu sinal de saída é também adequadamente limitada.

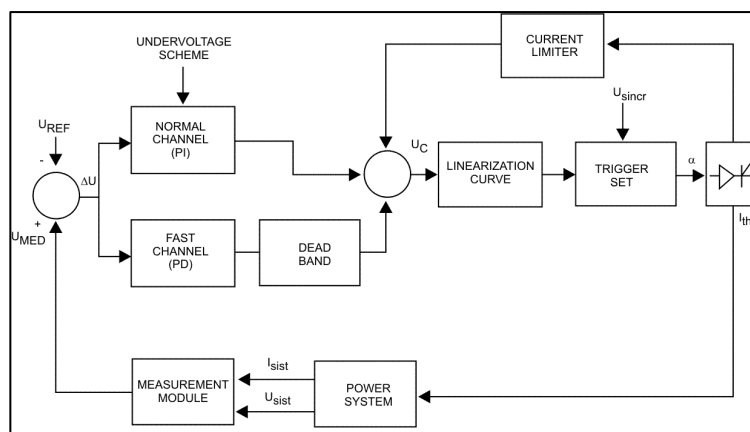


Fig. 5. SVC de Primeira Geração: Sistema de Controle em Malha Fechada

Estes sistemas de controle são puramente analógicos e não adaptativos. Desta forma, um único valor de ganho deve ser utilizado em todas as condições de operação da rede elétrica e em configurações com reduzidos níveis de curto-circuito, tais equipamentos podem eventualmente apresentar desempenho oscilatório. Em tais casos, os SVC deverão operar no modo de susceptância fixa (modo manual) e não estarão aptos a efetuar o controle da sua tensão terminal. O uso de controladores adaptativos, não disponíveis à época do projeto destes equipamentos, contorna esta limitação, conforme descrito na seção 5.

### 4.2 Válvulas de Tiristores

Nos SVC de primeira geração, as válvulas de tiristores são do tipo ETT (*Electrically Triggered Thyristor*). Isto requer que o ângulo mínimo de disparo não seja inferior a 92,5°, pois a eletrônica dos tiristores requer no mínimo 2,5° para acumular energia suficiente para o disparo dos tiristores. A eletrônica dos tiristores inclui também um esquema de disparo protetivo, que dispara os tiristores caso a tensão aplicada aos mesmos atinja um limite previamente definido. Como os bancos de capacitores são fixos, as perdas no SVC não são otimizadas, uma vez que uma pequena potência reativa indutiva de saída requer elevados valores de corrente nos reatores controlados. A limitação de corrente nas válvulas de tiristores é implementada através da elevação do ângulo mínimo de disparo dos tiristores, o que produz uma redução na potência reativa indutiva do SVC.

## 5 SVC DE ÚLTIMA GERAÇÃO: ASPECTOS DE EQUIPAMENTOS E CONTROLE

### 5.1 Sistema Controle de Malha Fechada

Com base na medição do erro na entrada do controlador, o sistema de controle em malha fechada define a susceptância shunt do SVC, requerida no 230kV, obtida através de combinações entre os TCR e TSC disponíveis no momento, pois ambos os filtros deverão estar conectados em operação normal. As tensões do sistema são retificadas e filtradas para produzir a tensão medida do sistema  $V_{ACT}$ . No modo de controle de tensão (VCM), o sinal  $V_{ACT}$  é comparado com uma referência ajustável de tensão  $V_{REF}$ , compensada pelo estatismo. O sinal de erro resultante serve de entrada a um controlador proporcional-integral (PI) com constante de tempo de 12ms e ganho variável. A saída deste controlador define a susceptância de saída do SVC requerida para fornecer a desejada potência reativa de saída no 230kV. No modo de susceptância fixa (FSM), o sinal de controle do SVC é definido pelo operador, que manualmente ajusta a potência reativa de saída. Caso um dos seus componentes torne-se indisponível, o SVC passará a operar no modo degradado apropriado até a próxima manutenção programada. Um modo degradado permitido requer a presença de pelo menos um TCR, sem o qual não é possível efetuar o controle contínuo da potência reativa produzida pelo SVC. A operação sem filtros também não é permitida, devido aos harmônicos produzidos pelos TCR. Existem no SVC Funil 35 modos degradados permitidos além do modo normal, assegurando elevado grau de disponibilidade e flexibilidade de operação.

### 5.2 Controlador Automático de Ganho

O controle automático de ganho é requerido para atender à especificação, que exige uma resposta com parâmetros de performance constantes para o SVC dentro de um intervalo especificado de níveis de curto-circuito no 230kV. Através da estimativa do coeficiente de sensibilidade entre tensão e potência reativa, é calculado o ganho do sistema de controle em malha fechada requerido para produzir a resposta desejada. Para assegurar desempenho estável em condições de operação degradada do sistema elétrico, caracterizadas por reduzidos níveis de curto-circuito no 230kV, um controlador de estabilidade é requerido. Caso sejam detectadas múltiplas e consecutivas mudanças de direção no sinal de saída do controlador PI em um intervalo de tempo previamente definido, o seu ganho é reduzido através de degraus, até ser obtido desempenho estável. Este controlador de estabilidade é ativado apenas para oscilações de frequência superior a 4Hz, para evitar interações indesejáveis com malhas de amortecimento de oscilações eletromecânicas.

### 5.3 Válvulas de Tiristores

Os tiristores de última geração são disparados diretamente por sinais de luz (LTT), não sendo necessária a conversão de sinais de luz para sinais elétricos no potencial da válvula de tiristores. Para o SVC Funil, as válvulas dos TCR e TSC consistem de um módulo de tiristores por fase; cada módulo é composto de sete níveis de tiristores, incluindo um nível redundante para os TCR e de onze níveis de tiristores incluindo um nível redundante para os TSC. Cada nível é composto por um par de tiristores conectados em anti-paralelo, um circuito *snubber* e um resistor equalizador de tensão. Os tiristores LTT são disparados por luz, 4 polegadas, 8 kV, com proteção de sobretensão integrada. Esta proteção é realizada através da implementação de um diodo de avalanche no centro do tiristor. O emprego de LTT permite que o seu ângulo mínimo de disparo seja fixado em 90°, pois não é necessário fornecer energia à eletrônica de tiristores durante o processo de disparo.

Uma réplica térmica dos tiristores dos TCR e TSC é implementada no sistema de controle de malha fechada dos SVC de última geração. Para o cálculo da temperatura da junção  $\theta_j$ , são utilizadas as correntes nos TCR/TSC e a temperatura da água de refrigeração. O comportamento do tiristor é simulado através de resistências térmicas diferenciais variantes no tempo e caso os níveis permissíveis de temperatura sejam atingidos, as seguintes ações de controle são executadas:

- Nível 1 ( $\theta_j > 100^\circ\text{C}$ ): Tiristores disparados com 90°, pois perdem capacidade de bloqueio acima desta temperatura.
- Nível 2 ( $\theta_j > 112^\circ\text{C}$ ): Desligamento do elemento correspondente pela proteção, para evitar danificação dos tiristores por sobreaquecimento.

Quando comparada ao esquema de limitação de corrente dos SVC de primeira geração, a réplica térmica é mais precisa, não implica em redução da faixa indutiva do compensador e permite uma melhor utilização da capacidade de sobrecarga dos tiristores.

## 6 ASPECTOS DE MODERNIZAÇÃO DE SVC

Estudos de planejamento com horizonte (2010-2016) confirmam a importância dos SVC Fortaleza, Milagres e Campina Grande para manter o desempenho do sistema elétrico dentro do desejado. Entretanto, diversos componentes destes equipamentos, em especial as válvulas de tiristores e sistema de controle já apresentam dificuldades na obtenção de peças reserva a custos competitivos e prazos compatíveis, o que pode provocar uma indisponibilidade forçada de duração indeterminada. Desta forma, a viabilidade de realização da modernização dos SVC de primeira geração em operação na Chesf está sendo estudada, iniciando-se pelo SVC Fortaleza e contemplando a substituição dos seguintes componentes:

- Sistemas de proteção e controle.
- Válvulas de tiristores.
- Sistema de resfriamento dos tiristores.
- Disjuntores, transformadores de potencial, de corrente e chaves seccionadoras de média tensão.
- Bancos de capacitores.
- Serviços auxiliares.

Podem ser aproveitados desta forma os seguintes componentes do SVC Fortaleza:

- Equipamentos e conexão de alta tensão.
- Transformador abaixador.
- Reatores controlados.

Consultas preliminares realizadas aos fabricantes sinalizam que tal modernização apresenta um custo básico inferior a 40% do preço total de um novo SVC de potência equivalente e um prazo de treze meses após a assinatura do contrato para conclusão dos trabalhos. Estudos de transitórios eletromagnéticos apresentados em [2] mostram a importância de um esquema de controle adaptativo nos SVC Fortaleza e Milagres, para garantir o desempenho desejado em contingências de transmissão, esquema este que será implantado ao longo dos trabalhos de modernização.

## 7 ELO CCAT: ASPECTOS DE CONTROLE E DESEMPENHO

A função principal do sistema de controle de um elo CCAT é tentar manter a potência transmitida ou a corrente no elo em níveis pré-estabelecidos, para as condições de operação analisadas. Para isto, ações de controle são tomadas sobre os ângulos de disparo do retificador ( $\alpha$ ) e de extinção do inversor ( $\gamma$ ), conforme destacado a seguir.

Retificador:

- Controle da corrente no elo CCAT através da variação do ângulo de disparo  $\alpha$ .
- Variação dos tapes dos transformadores conversores para manter o ângulo de disparo  $\alpha$  dentro de um intervalo pré-estabelecido em regime permanente.

Inversor:

- Controle rápido da tensão CC, coordenado com o controle lento do ângulo de extinção  $\gamma$ .
- Variação dos tapes dos transformadores conversores para manter a tensão CC dentro de um intervalo pré-estabelecido em regime permanente.

Além das funções anteriormente descritas, conforme estabelecido em [3], o elo CCAT atua no sentido de:

- Limitar o valor máximo da corrente CC, para evitar danificação das válvulas de tiristores.
- Minimizar o consumo de potência reativa pelas conversoras.
- Minimizar a probabilidade de ocorrência de falhas de comutação.
- Auxiliar os sistemas CA para manutenção da estabilidade.

São as seguintes as principais malhas de controle utilizadas no bipólo BP-2 do elo CCAT associado ao complexo hidroelétrico do Madeira [4]:

- Controle da corrente no elo CCAT: atua no sentido de controlar o valor da corrente no elo CCAT no valor da ordem de corrente. É o modo normal de controle do elo CCAT em regime permanente.
- Controle da tensão CC no inversor: atua controlando a tensão contínua no terminal inversor no valor de referência e é utilizado no modo de operação em tensão reduzida do elo CCAT.
- Controle do ângulo de extinção  $\gamma$ : na operação como inversor, procura manter o ângulo  $\gamma$  no valor de referência.
- Controle do ângulo de disparo máximo: procura evitar que o ângulo de disparo  $\alpha$  ultrapasse o valor máximo permitido.
- Controle da tensão CC no retificador: procura evitar que a tensão CC no retificador ultrapasse o valor máximo permitido.
- Controle do ângulo de disparo mínimo: procura evitar que o ângulo de disparo mínimo caia abaixo do valor mínimo permitido.

Tais malhas de controle operam em paralelo, mas a cada momento, apenas uma delas determina o instante em que as válvulas de tiristores do elo CCAT são disparadas.

Por ter relevante influência no desempenho dinâmico do elo CCAT durante a eliminação de faltas na rede AC, a seguir é efetuada uma descrição simplificada da malha adicional de controle denominada VDCOL (Voltage Dependent Current Order Limiter), presente no elo CCAT do Madeira, que limita a ordem de corrente definida pelo sistema de controle de bipólo, em função da magnitude da tensão CC durante a ocorrência de faltas. Caso um distúrbio provoque redução na tensão alternada, haverá aumento do ângulo de comutação ( $\mu$ ), elevação do consumo de potência reativa pela conversora e aumento da probabilidade de falha de comutação. Quando a tensão alternada é reduzida abaixo de um patamar pré-ajustado, VDCOL atua reduzindo a ordem de corrente, limitando o ângulo de comutação e o consumo de potência reativa pela conversora, minimizando os efeitos do distúrbio e contribuindo para uma recuperação mais rápida do sistema após a eliminação do defeito. Desta forma, a velocidade de recuperação da potência CC será adequada à capacidade do sistema alternado. Para proporcionar o desempenho desejado ao elo CCAT, constantes de tempo diferentes são usadas para redução e elevação da ordem de corrente pelo VDCOL. Quando a tensão CC decresce, tem-se uma rápida redução na ordem de corrente; em caso de recuperação da tensão contínua, tem-se uma constante de tempo maior para retorno da ordem de corrente ao valor original, o que proporciona menor demanda de potência reativa por parte do elo CCAT e uma recuperação mais segura do sistema na eliminação de defeitos. Como exemplo, a seguir é apresentada uma simulação em MATLAB SIMULINK™ de aplicação e eliminação de falta monofásica no lado alternado do inversor de um elo CCAT monopolar de 12 pulsos com as seguintes características:

- Sistema alternado retificador: 500kV, 5GVA, 60Hz.
- Sistema alternado inversor: 345kV, 10GVA, 50Hz.
- Elo CCAT: 1000MW (500kV, 2kA).

Os conversores são conectados por uma linha CC de 300km com parâmetros distribuídos e indutores de alisamento de 0,5H em ambas as extremidades. O comutador de tapes dos trafos conversores não foi representado. A potência reativa requerida pelos conversores é fornecida, nos terminais retificador e inversor, por capacitores fixos e filtros passivos de 11<sup>a</sup>, 13<sup>a</sup> harmônicas (fator de qualidade = 100) e 24<sup>a</sup> harmônica (fator de qualidade = 300), de 150MVar cada. Logo após a aplicação da falta, a corrente contínua sofre brusca elevação para compensar a redução na tensão contínua, pois o elo CCAT tenta manter a potência transmitida constante. Em seguida, ocorre atuação do VDCOL, que reduz a ordem de corrente de 1,0 pu para 0,3 pu, permanecendo neste valor durante a falta. Decorridos 25ms da eliminação da falta, VDCOL passa a atuar no sentido inverso, liberando gradativamente o valor da ordem de corrente de 0,3pu para 1,0 pu; Isto contribui para a recuperação do elo CCAT, que atinge de forma satisfatória o novo regime permanente pós-falta em 100ms da sua eliminação. Ressalta-se a diferença entre as constantes de tempo do VDCOL para redução (na aplicação da falta, quando ocorre a redução de 1,0 pu para 0,3 pu em cerca de 12ms) e elevação (na eliminação da falta, quando ocorre elevação de 0,3 pu para 1,0 pu em 77ms) da ordem de corrente, de forma que o elo CCAT não prejudica a recuperação do sistema alternado na eliminação da

falta. A definição dos ajustes do VDCOL depende de vários fatores, intrínsecos da rede elétrica onde encontra-se inserido o elo CCAT e deve ser realizada com base em estudos contemplando uma modelagem detalhada dos componentes envolvidos. A Fig. 6 apresenta os sinais de saída da simulação descrita.

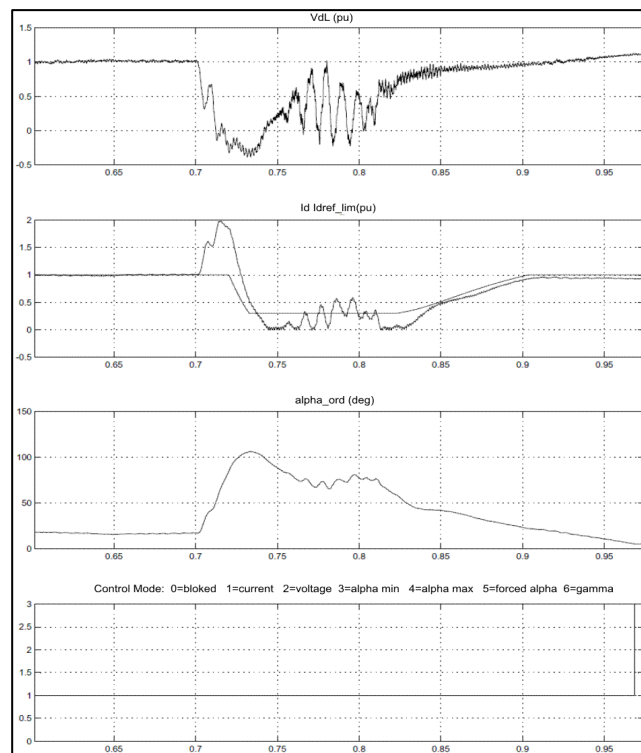


Fig. 6. Aplicação e eliminação de falta 1F-G no lado AC do inversor com escala de tempo em segundos

## 8 CONCLUSÕES

- A utilização de compensadores estáticos no controle de tensão de sistemas de potência em corrente alternada apresenta resultados satisfatórios ao longo de mais de vinte anos de experiência operacional.
- A utilização de esquemas de controle adaptativo em compensadores estáticos introduz grande flexibilidade na sua operação, produzindo desempenho satisfatório dentro de um vasto conjunto de configurações da rede elétrica.
- A modernização de compensadores estáticos já existentes representa uma atraente alternativa para restaurar os níveis de disponibilidade, confiabilidade e desempenho de tais equipamentos.
- O uso de elos CCAT representa uma atrativa e eficiente alternativa para o transporte de grandes blocos de energia a grandes distâncias, proporcionando elevadas controlabilidade e flexibilidade ao sistema elétrico de potência. A experiência operacional de várias décadas comprova os bons resultados obtidos com a utilização de elos CCAT.

## 9. REFERÊNCIAS

- [1] KAIBABU B. N., “Engineering Report: Main Scheme Parameters – T0121\_01081\_XREP\_B\_1\_E”, AREVA T&D Power Electronics and FACTS.
- [2] LIMA M. C., ALVES F., TYLL, H., “Transient Performance Analysis of High Voltage Static VAR Compensators Operating Electrically Close and Benefits of their Rated Power Expansion with Control Systems Upgrade,” VIII Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia Elétrica (CBQEE), Blumenau, Agosto de 2009.
- [3] CARVALHO A. R., ALMEIDA, L. P., DANIEL, L. O., BARROS, J. G. C., “Princípios dos Controles Aplicados a Elos de Transmissão em CCAT” XI Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica (SEPOPE), Belém, Maio de 2009.
- [4] LI M., TOTTERDELL A. J., “Engineering Specification: HVDC Operation and Control Strategy – STAND/2003/FUNC-B”, AREVA T&D Power Electronics and FACTS.