



**SVC - STATIC VAR COMPENSATOR
COMPENSADOR ESTÁTICO DE REATIVOS - VISÃO SISTÊMICA**

Elvis Pereira do Amaral¹; Antonio Manoel Batista da Silva²

¹*Universidade de Uberaba - UNIUBE, Uberaba - Minas Gerais*

²*Universidade de Uberaba - UNIUBE, Uberaba - Minas Gerais e Centro Universitário da
Fundação Educacional de Barretos, Barretos - São Paulo
epamaral1@hotmail.com;antonio.manoel@uniube.br*

Resumo

A qualidade da energia elétrica vem sendo cada vez mais exigida e fiscalizada nos dias de hoje. No Brasil, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) juntamente com o ONS (Operador Nacional do Sistema) já têm feito o monitoramento da tensão e da frequência e, ultimamente, o controle das distorções harmônicas passa a ser observado com mais atenção. Para tanto, as empresas de energia elétrica utilizam dispositivos eletromecânicos para fazer o chaveamento de banco de capacitores ou de reatores. Fazem também a motorização de geradores e utilizam-se do sistema ERAC (esquema regional de alívio de cargas). Todavia são dispositivos lentos que causam perturbações no sistema.

1- Introdução

O grande desafio do setor elétrico brasileiro é ter um sistema de transmissão integrado, estável e flexível, ampliando e conectando às suas novas fontes de energia e conservando o sistema existente, que está bastante envelhecido. Nos últimos anos temos acompanhado o crescimento da geração térmica por biomassa e de combustíveis fósseis, observamos também uma inserção considerável de geração eólica, e mais recentemente os novos leilões para a implantação dos parques de geração fotovoltaica. Por outro lado, houve também mudanças das cargas com a adoção de lâmpadas eletrônicas, fontes chaveadas de computadores, entre outras. Estas alterações criaram um cenário para o aumento das distorções harmônicas. Surgem então os *FACTS - Flexible AC Transmission Systems* ou

Sistema de Transmissão CA Flexível. São sistemas de transmissão de corrente alternada que incorporam potência baseada em dispositivos eletrônicos e outros controladores estáticos para aperfeiçoar o nível de controle e aumentar a capacidade de transferência de potência (IEEE, 2011). Existem várias configurações para a instalação dos FACTS que dependem de questões técnicas e econômicas. Entre elas podemos citar seguintes estruturas:

- *MSC/MSR - Mechanically Switched Capacitors/Reactors* que são capacitores e reatores manobrados mecanicamente por meio de chaves ou disjuntores, ligando ou desligando bancos de reatores ou de capacitores;
- Transformadores defasadores;
- *SVC Static VAR Compensador*, em português CER - compensador estático de reativos (Siemens AG).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é explanar sobre o CER (SVC) em relação aos dispositivos de controle de reativos utilizados atualmente e dos ganhos que ele traz para o Sistema Integrado Nacional.

2 - Fundamentos do trabalho

O Sistema Integrado Nacional (SIN), com tamanho e características que permitem considerá-lo único em âmbito mundial, o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários. O Sistema Interligado Nacional, conforme ilustrado (figura 1) é formado pelas

9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015

empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Apenas 1,7% da energia requerida pelo país encontram-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica (ONS 2015).

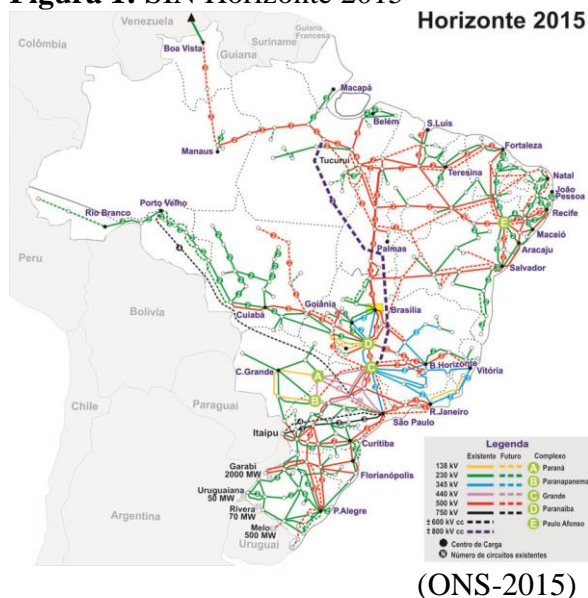
capaz de melhor ou ainda forçar o fluxo de potência de maneira controlada.

$$P_{12} = \frac{V_1 V_2}{X} \text{sen}(\delta_1 - \delta_2)$$

Trafo defasador ou controle da carga

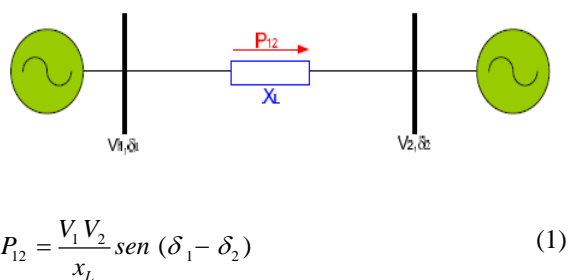
Capacitores em série

Figura 1: SIN Horizonte 2015



Para um sistema elétrico de transmissão, o fluxo de potência conforme ilustrado na figura 2 pode ser calculado utilizando-se a equação 1.

Figura 2: Fluxo de Potência



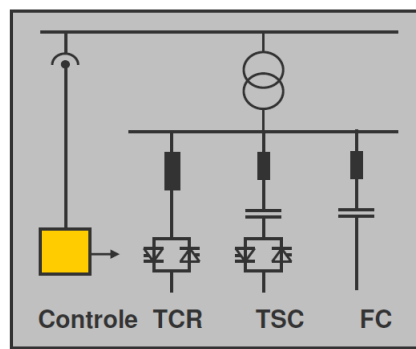
Onde V_1 e V_2 são as tensões nos terminais do sistema, δ_1 e δ_2 são os ângulos de transmissão correspondentes aos vetores de tensão e X_L é a impedância equivalente da LT (linha de transmissão). Utilizando a equação 1 trabalhando em cada uma das sua variáveis foi possível a criação de equipamentos e máquinas

2.1- Descrição do Sistema

Compensador Estático de Reativos é composto de uma reatância continuamente ajustável, uma reatância capacitiva de geração X_C e a reatância indutiva de absorção X_L que respondem imediatamente às perturbações do sistema elétrico. Um compensador dinâmico que se ajusta automaticamente as condições do sistema é basicamente composto por capacitores e reatores conectados em paralelo e controlados por tiristores. Logo a sua principal característica é o controle contínuo da tensão no ponto de conexão, sendo controlada pela rápida troca de potência reativa entre o barramento e os componentes reativos que formam o CER.

O princípio de operação simplificado do CER é composto por um banco de capacitores fixo e um banco de reatores variáveis. A figura 3 mostra um layout básico para um CER.

Figura 3: Esquema elétrico básico CER



2.2 – Componentes Principais do CER

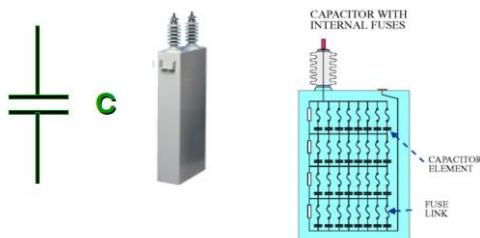
A seguir apresenta-se de forma simplificada o funcionamento dos itens básicos da planta do CER.

9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015

2.2.1 - *Transformador de acoplamento*, conecta o CER ao barramento responsável em fornecer uma tensão mais adequada aos componentes ativos do dispositivo. Esta tensão não é padronizada e varia de acordo com cada fabricante ou projeto. Sua ordem de grandeza se estende de 14,5 a 20 kV no lado de baixa tensão. Normalmente são utilizados transformadores de ligação YD11 ou YD1 no lado da maior tensão “Y (estrela)” e no de menor tensão “D (triângulo)”.

2.2.2 - *TSC* (capacitores chaveados por tiristores) possui um banco de capacitores que é normalmente ligado em triângulo e, quando ligado está sempre em sua potência máxima. Os capacitores utilizados são dotados de fusíveis internos, conforme figura 4.

Figura 4: Capacitores de Potência

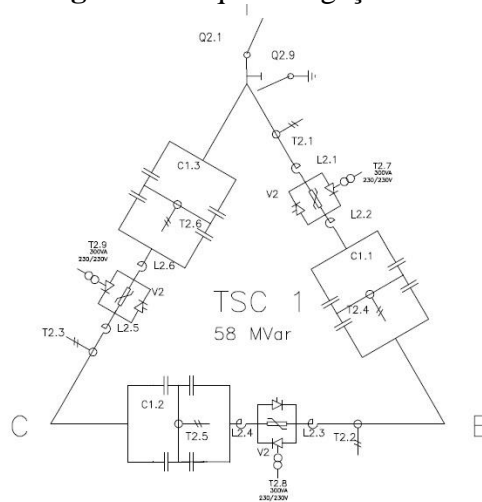


O TSC tem resposta rápida e não gera harmônico, mas no momento do chaveamento do banco de capacitores gera transitórios de valores elevados. Para evitar estes transtornos, é utilizado o reator de amortecimento em série com o banco conforme figura 6. Além disso, é feito o controle do ângulo de disparo dos tiristores de modo adequado. Os módulos que formam o rack do banco de capacitores são ligados em ponte “H” com o fechamento em triângulo conforme as figuras 5 e 6.

Figura 5: Banco Capacitores do CER

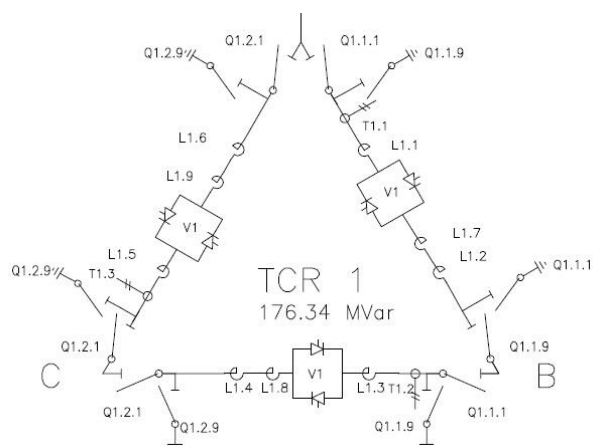


Figura 6: Esquema ligação TSC



2.2.3 - *TCR* (reator controlado por tiristores) é dotado de um banco de reatores responsável pelo controle de reativos indutivos. Este é ligado em triângulo e sua resposta é rápida, mas gera distorção harmônica. Quando em serviço, pode variar a sua potência de 0 a 100%, controlado pelo ângulo de disparo dos tiristores que varia entre 90° a 180°. Em sistemas trifásicos, o arranjo mais utilizado é a conexão de três reatores ligados às válvulas monofásicas na formação triângulo. A figura 7 mostra a ligação dos reatores série em cada ramo e o fechamento em triângulo.

Figura 7: Esquema ligação TCR



2.2.4 - *Reatores de Potência* são construídos com núcleo de ar e o material utilizado no enrolamento é o alumínio (figura 8). Não

9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015

devem ser utilizados materiais ferrosos na estrutura ou nas proximidades dos reatores devido o intenso campo magnético durante a sua operação. Pode-se observar na figura 9 que a estrutura de sustentação dos reatores é feita em alumínio.

Figura 8: Reator de Potência



Figura 9: Banco Reatores do TCR



2.2.5 - *Filtros de Harmônicos* são compostos por capacitores/reatores e tem a função principal de controlar e reduzir as distorções harmônicas das ondas de tensão e corrente produzidas pelos disparos dos tiristores e para a redução da própria contaminação harmônica do sistema elétrico. Estes filtros são construídos para funcionar sintonizado a uma frequência específica. No Brasil é comum encontrar os filtros de 3H e de 5H no CER. Ficam conectados ao barramento de saída do transformador, tem a função extra de fornecerem reativos capacitivos e ficam ligados permanentemente. Na fase da elaboração do projeto, deve-se realizar os estudos das impedâncias harmônicas do ponto de conexão. A figura 10 ilustra o reator e o banco de capacitores que formam um filtro.

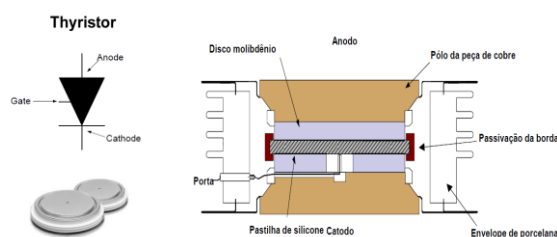
Figura 10: Filtro de Harmônicos



2.2.6 - *Sistema de controle do CER* por meio do seu sistema de controle digital programável tem a função de encontrar por intermédio da medição de tensão do sistema (V_{pcc} do barramento) o correto ângulo de disparo dos tiristores para manter a tensão do sistema no valor de referência e controlar também a potência reativa. Conceitualmente, o sistema de controle do CER pode ser dividido em duas partes: controle de malha aberta e controle de malha fechada. O controle de malha aberta é responsável pelas condições de comando, verificações, registros, comunicação, supervisorio, (trip) abertura de emergência (Song). O controle de malha fechada tem por função ajustar a potência de saída do compensador, chavear o TSC e controlar o TCR.

2.2.7 – *Tiristores* são responsáveis por conduzirem corrente elétrica a cada meio ciclo e seu acionamento depende do ângulo de disparo determinado pelo sistema de controle. Cada tiristor de potência opera com tensão nominal de 5 a 7 kV e correntes de 815 a 3350A, em uma faixa de temperatura de - 40 a + 125°C.

Figura 11: Tiristor de Potência



2.2.8 – *Válvulas (ilustradas na figura 12)* são compostas por tiristores de potência ligados na

9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015

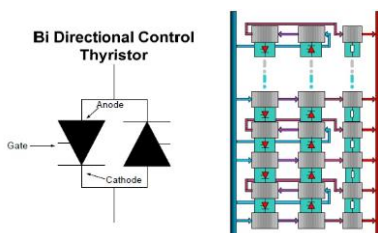
formação antiparalela. As válvulas recebem o sinal do controle promovendo o disparo de todos os tiristores. Podem funcionar como uma chave ligando ou desligando o banco de capacitores ou como uma válvula controladora, abrindo ou fechando o circuito elétrico de acordo com o acionamento do controlador, permitindo o controle da potência fornecida aos reatores.

Figura 12: Válvulas de Tiristores



2.2.10 – *Sistema de Resfriamento* é refrigerado a água deionizada em circuito fechado sendo dotado de trocadores de calor que estão montados entre os tiristores e as suas tomadas de corrente, conforme ilustram as figura 13 e 14.

Figura 13: Montagem das válvulas e o resfriamento



3 - Resultados

O CER tem funções nobres no ponto em qual está conectado. Todavia em regime permanente deve controlar a tensão ou exercer um controle trifásico da tensão (figura 14) e dos reativos no ponto de sua conexão, amortecer oscilações durante as perturbações (figura 15), absorver as distorções harmônicas do barramento, bem como os harmônicos gerados por ele mesmo durante a sua operação.

Figura 14: SVC Controle de Tensão

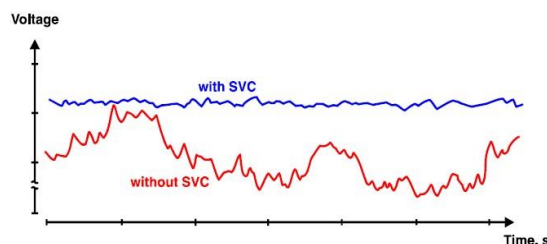
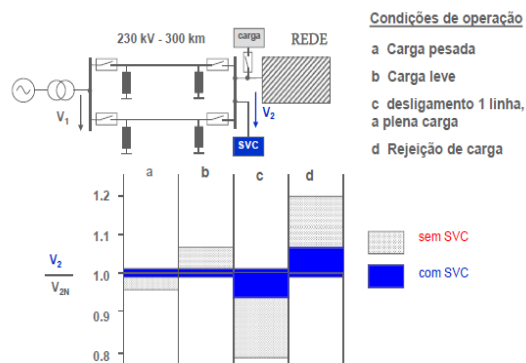


Figura 15: Performance do Barramento da subestação



Apesar da grande interligação do SIN (Sistema Interligado Nacional) unindo as grandes usinas do Brasil aos grandes consumidores e das interligações regionais, quando ocorre uma falta promovendo o desligamento de um gerador ou de um simples religamento automático de linha de transmissão, isso causará uma perturbação momentânea no sistema. O CER fornece potência de forma instantânea de modo a amortecer as oscilações da malha em suas proximidades. Nas subtensões e sobretensões com amplitudes de até 1,3 pu durante o tempo máximo de um segundo, o CER deve atuar simultaneamente nos TCR e TCS de modo a facilitar o aumento ou diminuição da tensão, devendo voltar a sua configuração normal tão logo a perturbação termine.

4 – Discussão

Os grandes potenciais hidroelétricos ainda não explorados estão na Amazônia, cada vez mais distantes dos centros consumidores exigindo longas linhas de transmissão que requerem dispositivos sofisticados na operação devido aos altíssimos valores de tensão, tanto

9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015

em AC 500kV/750kV ou HVDC (High voltage direct current) 600kV/800kV.

A evolução tecnológica contemporânea possibilitou o desenvolvimento de dispositivos semicondutores que constituem a base de funcionamento e operação dos dispositivos conversores de eletrônica de potência, ambos controlados por válvulas de tiristores que operam rapidamente nas situações de controle de tensão, rejeição de cargas e energização de LTs, possibilitando ainda o aumento da capacidade de transmissão de potência de LTs, ou seja, estabilidade dinâmica em ação.

5 – Conclusão

Normalmente o sistema é mais estável quando a geração é fixa e a carga é variável, mas com a incorporação da geração fontes variáveis como os parques eólicos e fotovoltaicos, tem-se oscilação na potência instantânea durante a sua operação.

As soluções convencionais inicialmente empregadas para tentar corrigir os problemas relacionados com o sistema de transmissão de energia como a estabilidade, limites térmicos, transmissão de grandes blocos de potências e operação de longas linhas de transmissão eram a utilização de bancos de capacitores e de reatores chaveados mecanicamente. Entretanto a dificuldade e a pouca flexibilidade destes dispositivos levou a pesquisa e desenvolvimento de novos equipamentos que permitissem alterar com rapidez os parâmetros elétricos que controlem a dinâmica de

funcionamento de uma linha de transmissão ou de um barramento. Os FACTS são também justificados pela necessidade dos projetistas, planejadores e do ONS (Operador Nacional do Sistema) em controlar o sistema elétrico brasileiro cada vez mais dinâmico e ao mesmo tempo limitado. Não se pode deixar de elencar as restrições que o Brasil vivencia, sejam elas políticas, econômicas ou estruturais. Todavia a diminuição dos recursos naturais e a necessidade de se otimizarem os ativos elétricos existentes fazem do CER um elemento crescente e importante possibilitando o maior carregamento das linhas de transmissão.

6 – Referências

Guia IEEE Std 1031-2011. **IEEE Guide for the Functional Specification of Transmission Static Var Compensators**, 2011.

Siemens AG, Energy Sector. **Discover de world of FATS Technology. Technical Compendium**. Erlangen, Alemanha, 2010.

Song, Y.H.; Johns, A.T. **Flexible AC Transmission Systems (FACTS)**. Londres, Reino Unido, The Institution of Electrical Engineers (IEE), 1999.

http://www.ons.org.br/conheca_sistema/o_que_e_sin.aspx (out/2015).