



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

BR/GPL/21
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - VII

GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GPL

APLICAÇÃO DE REATOR VARIÁVEL CONTROLADO POR SATURAÇÃO NO SISTEMA DE TRANSMISSÃO ELÉTRICO BRASILEIRO

**Marco Antonio Barbosa Horita
ESCOLA POLITÉCNICA - USP**

**Marcos Tiago Bassini
ESCOLA POLITÉCNICA - USP**

**José Antonio Jardini
J2/FDTE**

**Gerson Yuki Saiki
FDTE**

**Milana Lima dos Santos
FDTE**

**Ronaldo Pedro Casolari
FDTE**

RESUMO

Este artigo apresenta uma descrição sucinta sobre o funcionamento de um equipamento ainda incipiente no mercado, os Reatores Shunt Magneticamente Controlados (ou MCSR sigla em inglês), suas possíveis aplicações, simulações para dimensionamento em programa de fluxo de potência (FP) e simulações de um modelo em programa de transitórios eletromagnéticos. No artigo também é apresentado um comparativo entre as tecnologias de compensação reativa mostrando custos, vantagens e desvantagens entre reatores shunt convencionais, compensadores estáticos de reativos e o reator shunt magneticamente controlado.

PALAVRAS-CHAVE

Compensação reativa, FACTS, Reatores Shunt Magneticamente Controlados, MCSR

1.0 - INTRODUÇÃO

Reatores shunt de compensação reativa são amplamente usados nos sistemas de transmissão de energia elétrica e tem a finalidade de regular os valores de tensões nas barras e ao longo das linhas dentro de limites aceitáveis (geralmente de 0.95 p.u. a 1.05 p.u.). Porém as diversas condições de operação do sistema elétrico muitas vezes impossibilita a utilização de simples reatores shunt lineares, fazendo necessário o uso de soluções mais sofisticadas e custosas, normalmente os compensadores estáticos de reativos. Os CERs são soluções robustas, versáteis e confiáveis, porém relativamente mais dispendiosas. Procurando uma alternativa intermediária para solucionar situações em que os reatores shunts convencionais são insuficientes e os CERs seriam subutilizados, pode surgir a oportunidade para a utilização dos MCSRs (magnetic controlled shunt reactors). Estes equipamentos podem preencher o espaço entre os elementos passivos de compensação reativa (como os reatores shunt lineares) e os elementos ativos sofisticados como os CERs.

Os MCSRs em alguns países como Rússia e China estão sendo amplamente empregados em sistemas de transmissão em Extra Alta Tensão. Estes equipamentos são componentes FACTS, pois além de evitarem sobretensões de falta e manobra permitem alterar seu ponto de operação mudando a potência reativa do sistema para melhor acomodar as variações de carga ao longo do dia [1] [2].

2.0 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO MCSR

A ideia por trás do reator magneticamente controlado é, de acordo com a necessidade do sistema, manter o núcleo ferromagnético em uma condição em torno da saturação. O seu efeito é o equivalente de diminuir ou aumentar a seção transversal do núcleo de maneira a alterar a indutância do reator e, portanto, alterar sua potência reativa de trabalho. A figura abaixo mostra de maneira simplificada uma possível estrutura de um MCSR.

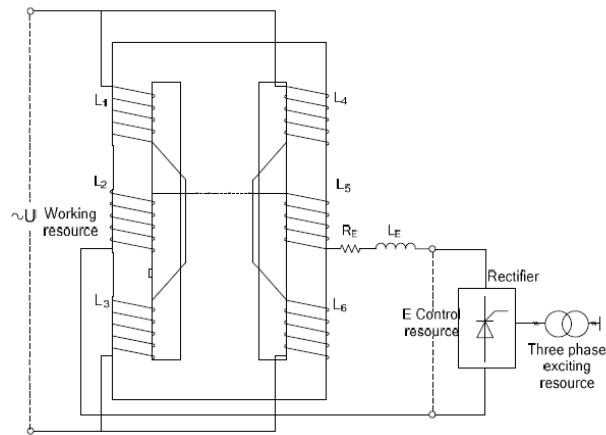


Figura 1 Representação simplificada do MCSR [3].

Na fig.1 observam-se seis enrolamentos. Quatro são enrolamentos de potência e dois são de controle. A eletrônica de potência conectada nos enrolamentos de controle é responsável por injetar um valor de corrente contínua e deslocar a curva de saturação do reator. Dessa maneira é possível variar a condição de operação do equipamento indo de não saturado até completamente saturado. Espera-se que a potência reativa consumida possa chegar a 3 vezes a três vezes o valor nominal de operação. O funcionamento do MCSR é mais detalhado em [3] [4].

A saturação do reator permite apenas o aumento da potência reativa consumida no sistema, e caso opere em condição parcialmente saturada ocorrerá a injeção de harmônicas na rede, portanto é desejável que durante operação normal o reator trabalhe não saturado. Essa limitação faz com que seja possível apenas aumentar a potência reativa indutiva consumida e restringe o seu campo de aplicações para linhas muitas vezes operando abaixo de sua potência característica. As figuras 2 e 3 mostram a corrente observada pelo reator em condição não saturada e devido a uma saturação parcial (em apenas uma coluna do núcleo) [5].

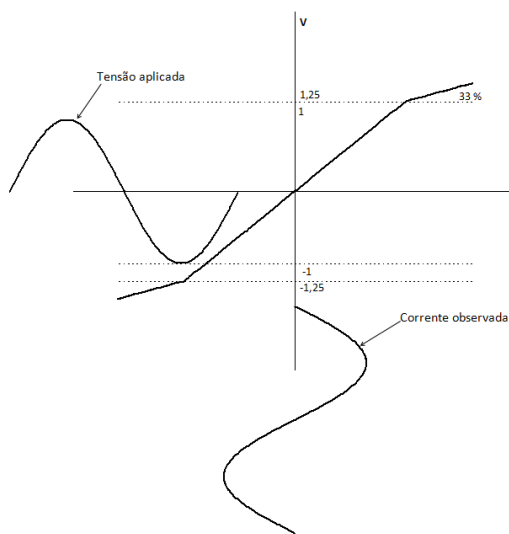


Figura 2 MCSR não saturado.

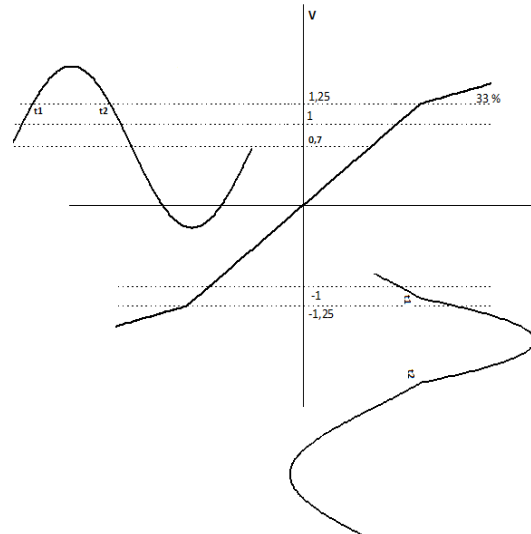


Figura 3 MCSR saturado (lado superior da senoide).

Na figura 3 observa-se a distorção da corrente. Essa distorção sugere que sejam feitos estudos no sistema em que se pretende aplicar o MCSR para averiguar se os efeitos da corrente harmônica injetada requerem a instalação de filtros.

3.0 - DIMENSIONAMENTO

Para o dimensionamento do MCSR foi utilizado um sistema em 500 kV à imagem de um sistema brasileiro em que procurou-se substituir um compensador estático (120 MVar indutivo / 150 MVar capacitivo) e reatores shunt lineares responsáveis por manter as tensões nas barras dentro dos valores estabelecidos por reatores shunt magneticamente controlados. O sistema é apresentado na fig. 4.

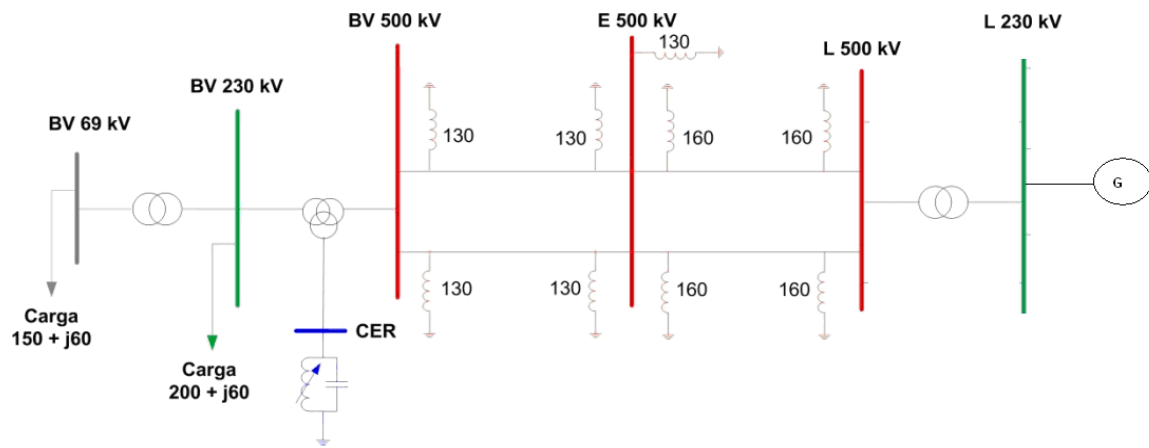


Figura 4 Sistema base.

O compensador estático marcado em azul na figura 4 e os dois reatores de 130 MVA próximos a BV 500 kV e os dois de 160 MVA próximos a E 500 kV (um total de 4) são os equipamentos que serão substituídos pelos MCSRs. A proposta do estudo é avaliar a viabilidade técnico-econômica de trocar os equipamentos citados por quatro reatores magneticamente controlados situados na mesma posição dos reatores shunt convencionais.

Foram avaliadas as condições de fluxo de potência e as tensões nas barras para as situações de perda de uma linha entre as barras BV 500 kV e E 500 kV e a saída da carga na barra BV 230 kV. Para a realização desse estudo os reatores de linha e o compensador estático foram removidos, as barras BV 500 kV e E 500 kV foram alteradas para tipo PV com injeção de potência ativa zero e a tensão fixada em 1,1 p.u. Posteriormente o mesmo estudo foi realizado com tensão nas barras fixada em 0,95 p.u. e uma terceira situação com 1 p.u. em BV 500 kV e 1,05 p.u. em E 500 kV também foi analisada. Objetivo foi identificar possíveis pontos de operação para os reatores controlados por saturação. A tabela 1 mostra os resultados obtidos e os reatores shunt equivalentes que mantêm as tensões nas barras dentro dos limites para as condições de operação normal e contingências já descritas.

Tabela 1 Resumo dos resultados obtidos no FP.

1.1 pu em ambas as barras						
	Reativos injetados nas barras		Reativos necessários por unidade MCSR		Shunt Eq. BV* Shunt Eq. E*	
	BV 500 kV	E 500 kV	BV 500 kV	E 500 kV		
Base	275,5	807,5	137,8	167,8	113,8	138,7
S/ carga em BV 230 kV	366,2	860,4	183,1	194,3	151,3	160,5
S/ 1 LT BV 500 kV-E 500 kV	37,5	569,2	37,5	127,3	31,0	105,2
0.95 pu em ambas as barras						
	Reativos injetados nas barras		Reativos necessários por unidade MCSR		Shunt Eq. BV* Shunt Eq. E*	
	BV 500 kV	E 500 kV	BV 500 kV	E 500 kV		
Base	154,1	950,0	77,1	299,0	85,4	331,3
S/ carga em BV 230 kV	256,9	1.000,0	128,5	324,0	142,3	359,0
S/ 1 LT BV 500 kV-E 500 kV	-31,0	764,8	-31,0	265,1	-34,3	293,7
1.00 pu em BV 500 kV e 1.05 pu em E 500 kV						
	Reativos injetados nas barras		Reativos necessários por unidade MCSR		Shunt Eq. BV* Shunt Eq. E*	
	BV 500 kV	E 500 kV	BV 500 kV	E 500 kV		
Base	419,2	631,2	209,6	100,6	209,6	91,3
S/ carga em BV 230 kV	512,6	684,7	256,3	127,4	256,3	115,5
S/ 1 LT BV 500 kV-E 500 kV	106,5	528,9	106,5	121,1	106,5	109,9

*Normalizado de acordo com a tensão na barra

Na tabela 1, grifado em cinza, estão possíveis condições de operação dos reatores magneticamente controlados. A tabela indica que a substituição proposta é possível e que o MCSR pode ser considerado como alternativa para esse sistema. Na tabela 2 estão indicados os pontos de operação do MCSR.

Tabela 2 Reativos no MCSRs.

	MVAR reator BV	MVAR reator E	Tensão na barra
Base	138	168	1.1
S/ carga em BV 230 kV	183	194	1.1
S/ 1 LT BV 500 kV-E 500 kV	107	121	1.0/1.05

4.0 - CUSTOS

Serão comparadas três alternativas:

- Solução convencional com os equipamentos da figura 4.
- Substituindo os reatores de linha de 130 MVA próximos à barra BV 500 KV e os dois reatores de linha de 160 MVA próximos a barra E 500 kV por reatores controlados por saturação e remoção do CER.
- Como "b", porém utilizando reatores controlados por tiristores (TCR) valores de 183/194 MVar (tabela 2).

Na comparação entre as alternativas a, b e c não serão considerados os custos dos equipamentos comuns às três alternativas (5 reatores fixos, módulos de conexão).

Os custos individuais dos equipamentos serão baseados nos custos de fabricante tradicional.

Custo reator fixo 12 USD / kVar

Custo compensador estático indutivo ou capacitivo 52 USD / kVar para L ou C

Reator	500 kV	130 MVar	1,56 M USD
Reator	500 kV	160 MVar	1,92 M USD
CER	500 kV	I 120/ C 160 MVar	6,24 + 7,8 = 14,04 M USD (menor valor)

Não se dispondo de preço na mesma base para o reator controlado por saturação, seu preço será estimado considerando:

- Preço de eficiência: (100%) valor de 115 MVar ou 140 MVar (reator fixo) a 1 p.u. (corresponde aos valores de MVar da linha 1 da tabela 2). Desta forma estes reatores terão perdas a regime equivalentes a solução de referência.
- O reator saturável é dividido em duas partes com metade da potência total por parte. Considerou-se que isso acarreta um acréscimo de 20% no custo.
- Como o reator deve trabalhar, no caso base, levemente saturado suas perdas em regime normal de operação serão maiores e, portanto o sistema de refrigeração deverá ser mais eficiente. Por conta disso o equipamento deverá encarecer cerca de 10%.
- O enrolamento de controle acarreta aumento de 5% no custo.
- Das perdas totais 85% ocorrem no cobre e 15% no ferro. Ao trabalhar saturado (no caso base) as perdas no ferro passarão de 0,15 p.u. para 0,45 p.u. Para compensar o aumento de perdas no ferro precisa-se diminuir as perdas no cobre em 35%. O aumento da secção do cobre implica em um custo adicional de 20%.
- Substituição das ferragens de aço por aço inox (saturação). Aumento de 10%.

Desta forma o reator controlado por saturação deverá ter um custo 1,65 vezes o custo de um reator fixo.

Tabela 3 Comparativo entre as soluções a, b e c.

	Solução convencional (a)	Solução com MCSRs (b)	Solução com RCT (c)
Reator em BV	3,12	4,56	19,0
Reator em E	3,84	5,55	20,2
Compensador Estático	14,04	-	
TOTAL	21,0	10,11	39,2

Conclui-se que o MCSR pode ser competitivo dentro das bases de custo indicado ou mesmo que custe 3,5 vezes o valor do reator fixo similar.

5.0 - MODELO DE TRANSITÓRIOS ELETROMECAÂNICOS.

Com o objetivo de melhor compreender o comportamento do MCSR durante os eventos estudados com o programa de fluxo de potência é proposto o modelo para transitórios eletromecânicos apresentado na figura 5.

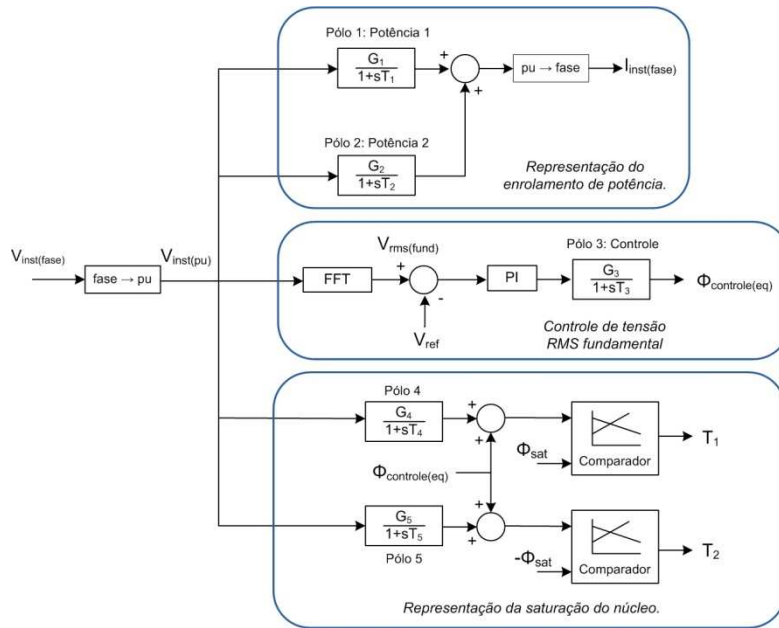


Figura 5 Modelo proposto para o MCSR.

O modelo procura controlar apenas a componente fundamental da tensão na barra. Como mencionado anteriormente, o comportamento não linear do MCSR injeta harmônicas na rede. Portanto é necessária uma avaliação mais profunda sobre a necessidade de filtros para a operação do equipamento. Nesta análise preliminar esses filtros não foram considerados nas simulações.

No modelo da Figura 5, as constantes multiplicando os sinais de entrada e saída (V_{inst} e I_{inst}), são constantes de conversão para valores por unidade. O polo da função de transferência $\left(\frac{G}{1+sT}\right)$ indicado como enrolamento de controle que segue o PI caracteriza o atraso para a variação do fluxo no núcleo dos reatores. O valor máximo na saída do PI é função da potência máxima de operação dos tiristores. Os dois polos que representam os enrolamentos de potência multiplicando sinal V_{inst} (p.u.) são idênticos e incluem as características como fator de qualidade, a relação L/R e a saturação. Os polos 4 e 5 representam o fluxo induzido no núcleo pelos enrolamentos de potência.

No modelo proposto a saturação do reator foi representada por duas retas. Uma passando pela origem com inclinação 1 e outra com inclinação 33% a partir de 1,25 p.u. de tensão. As regiões designadas por “Representação da saturação do núcleo” alteram o valor da constante de tempo dos polos 1 e 2 entre o valor normal de operação e 1/3 desse valor (a constante L/R muda de 1 L/R para 1/3 de L/R) dependendo do valor da tensão “injetada” no modelo.

Especificação do enrolamento de potência:

Para o cálculo do polo do enrolamento de potência levou-se em consideração a potência nominal do reator sem saturação de 150 MVar e fator de qualidade $Q = 200$. O polo em valores p.u. é apresentado abaixo:

$$\frac{I(s)}{V(s)} = \frac{200}{1 + 0,5305s}$$

É importante notar que o valor da constante $L/R = 0,5305$ é alterado para $0,5305/3 = 0,1768$ no momento em que ocorre a saturação do núcleo.

Especificação do enrolamento de controle:

Como o enrolamento de potência terá o efeito de desmagnetizar o núcleo ferromagnético durante o meio ciclo em que a corrente tem sentido contrário, o fluxo imposto pelo enrolamento de controle deverá ser maior para anular o efeito desmagnetizante e manter o núcleo saturado.

Supondo que a eletrônica de potência tenha capacidade de operar com 3% da potência nominal do reator. $P_c = 0,03 * 150 = 4,5$ MW. O polo que representa o enrolamento de controle em valores p.u. deverá ser:

$$\frac{I(s)}{V(s)} = \frac{481,335}{1 + 1,065s}$$

Saturação do núcleo ferromagnético:

Como já mencionado a representação da saturação do reator foi modelada como uma mudança na constante de tempo L/R dos enrolamentos de potência quando o fluxo passando pelo núcleo atinge a saturação, em p.u. esse valor é 1,768 (constante de comparação na fig.5). A indutância do enrolamento de controle em p.u. é de 0,84. Os polos 4 e 5 na figura 5 representam o fluxo induzido no núcleo pelos enrolamentos de potência. Note que esse polo (ao contrário dos polos 1 e 2) possui constante L/R fixo, pois representa o efeito de magnetizar e desmagnetizar o núcleo da mesma maneira que o enrolamento de controle.

6.0 - SIMULAÇÕES EM PROGRAMA EMT.

Em uma primeira análise um sistema simples composto por uma fonte ideal, uma linha e uma barra com uma carga e tensão regulada pelo modelo do MCSR proposto foi criado em programa de transitórios eletromagnéticos. O objetivo é controlar o nível de tensão na ocasião de uma rejeição de carga em 6s e religamento em 10s. A figura abaixo apresenta a rede usada na simulação.

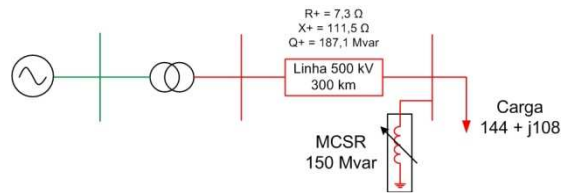


Figura 6 Sistema simples com MCSR.

A linha, representada como um circuito PI na figura acima é o equivalente de uma linha com 300 km para tensão de 500 kV. A linha representada na figura 6 é a mesma linha entre as barra E 500 kV e BV 500 kV da figura 4.

A carga possui potência nominal de 180 MVA e fator de potência 0,8.

O reator magneticamente controlado é representado como uma fonte de corrente controlada e possui potência nominal de 150 MVAR. O modelo é exatamente o mesmo apresentado no item 6.

Os resultados das simulações são apresentados a seguir. Gráficos da tensão RMS na barra, potência reativa do reator, potência reativa da carga e a potência reativa total são mostrados na próxima figura.

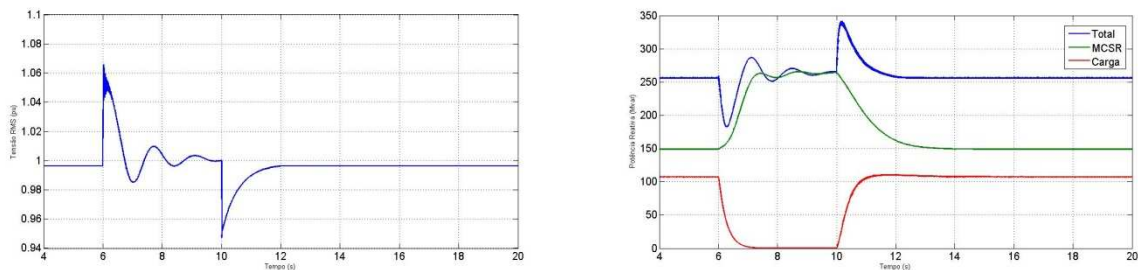


Figura 7 Gráficos da tensão rms e potências reativas no sistema simples com MCSR.

Nos gráficos da figura 7 observa-se que o modelo do MCSR comportou-se como esperado e foi capaz de manter a tensão na barra em 1 p.u.

O sistema estudado com o FP no item 4 foi modelado em programa EMT para análise dinâmica de contingências.

A rede completa do programa de FP foi reduzida na região do subsistema de interesse, modelando os intercâmbios entre área interna e externa como cargas PQ nas barras onde há exportação e como fontes equivalentes de Thevenin nas barras onde há importação. As fontes equivalentes foram obtidas da simulação de curto circuito e operação em vazio na rede completa. As linhas foram modeladas por π equivalentes a 60 Hz, os transformadores tiveram seus taps fixos na condição de regime e não foi implementado OTC. A rede no programa EMT é trifásica e contempla a sequência zero, exceto pelas fontes equivalentes. As cargas foram modeladas como impedância constante. O modelo do MCSR foi estendido para um modelo trifásico com controle de tensão independente por fase. A figura 8 mostra a rede no software de transitórios eletromagnéticos

Dois reatores shunt fixos de 130 MVA e dois de 160 MVA foram substituídos por MCSRs de 100 MVA e 130 MVA respectivamente. Os novos reatores controlados por saturação foram programados para manter as barras onde estão conectados em 1,1 p.u. As mesmas situações simuladas no fluxo de carga foram reproduzidas no programa EMT. Uma simulação de rejeição de carga também foi realizada através do disjuntor entre a barra BV 500 kV e o disjuntor (em verde na figura 8). A tabela 2 apresenta um resumo do estudo.

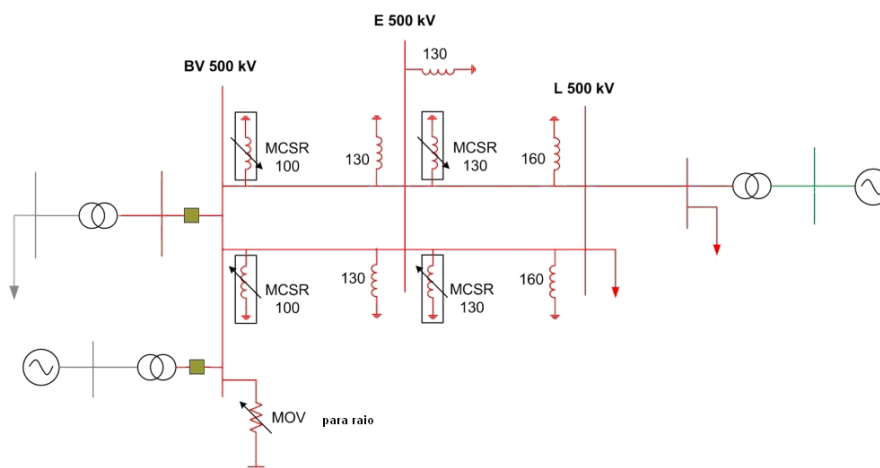


Figura 8 Sistema base com os MCSRs.

Tabela 4 Resumo dos resultados.

Resumo das simulações no programa EMT	Reativo injetado pelos MCSRs (MVar)		Tensão nas barras (pu)		Distorção harmônica total		Distorção harmônica individualizada (3º)	
	E 500 kV	BV 500 kV	E 500 kV	BV 500 kV	E 500 kV	BV 500 kV	E 500 kV	BV 500 kV
Base	139.5 x 2	99.8 x 2	1.1	1.1	1.7%	2.3%	1.6%	2.2%
S/ a carga em BV 230 kV	158.3 x 2	155.9 x 2	1.1	1.1	3.1%	3.0%	3.1%	2.9%
S/ 1 LT entre BV e E (500kV)	130 x 2	100 x 1	1.0	1.04	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Rejeição de carga	207.6 x 2	186.8 x 2	1.1	1.1	3.0%	8.1%	2.9%	8.1%

Comparando as tabelas 1 e 4 percebe-se que a expectativa de reativos é razoavelmente cumprida pelos reatores controlados por saturação. Os MCSRs foram capazes de manter as tensões nas barras em 1,1 p.u. Para o caso da perda de uma linha de transmissão entre as barras BV 500 kV e E 500 kV percebe-se que os reatores controlados por saturação passam a atuar totalmente não saturados, pois a tensão nas barras está abaixo do limite controlado por esses equipamentos. Na tabela 4 também se percebe que a distorção harmônica causada pelos MCSRs é sensível e principalmente composta por terceira harmônica (o que torna os filtros caros). Provavelmente deverão ser providos filtros para compensar o caso base (as situações sem carga e sem linha duram poucas horas e na rejeição de carga o transitório dura milissegundos não sendo preocupantes).

Os gráficos que seguem mostram as tensões nas barras BV 500 kV e E 500 kV e as correntes absorvidas pelos MCSRs na simulação de rejeição de carga (caso em que há maior THD).

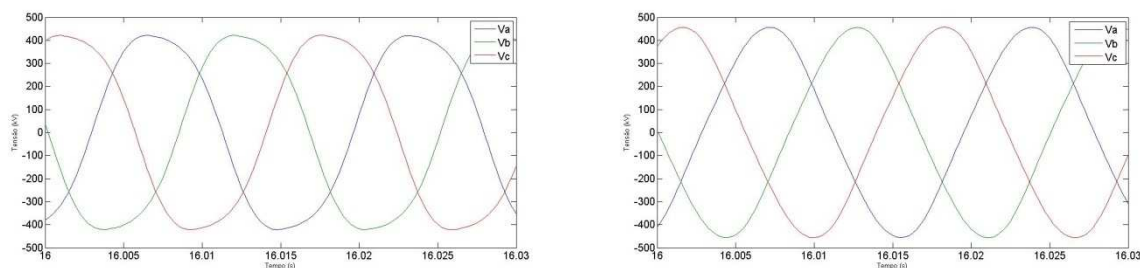


Figura 9 Tensões nas barras BV 500 kV (esquerda) e E 500 kV (direita).

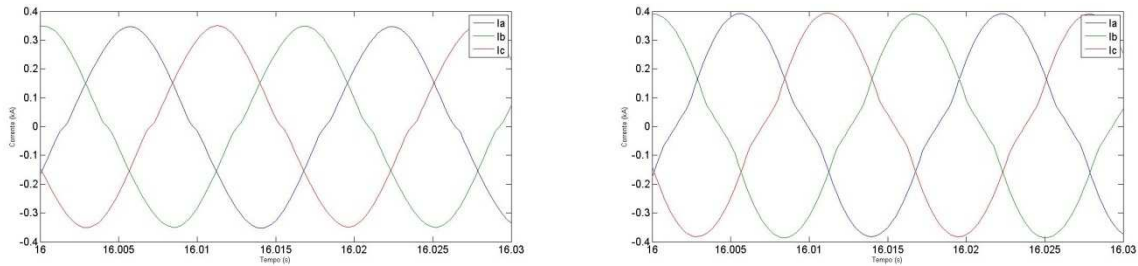


Figura 10 Correntes absorvidas pelos reatores de 100 MVA (esquerda) e 130 MVA (direita).

Nas figuras 9 e 10 é possível verificar as distorções nas formas de onda da tensão e da corrente devido à característica não linear do reator magneticamente controlado.

7.0 - CONCLUSÕES

O reator controlado por saturação (MCSR) mostra-se uma alternativa para controle de tensão nos sistemas AC de alta a extra alta tensão. É um equipamento capaz de controlar dinamicamente a tensão através da modulação da sua impedância indutiva, sendo provavelmente mais baratos que os compensadores estáticos de reativos, porém possui uma atuação mais lenta e injeta harmônicos de baixa ordem (principalmente terceira) o que eventualmente implica na necessidade de filtros que encareceriam o sistema. O provável custo da alternativa com reator saturável é menor que a solução convencional mesmo que o reator saturável venha custar 2,5 o custo do fixo. O modelo proposto desenvolvido para programa tipo EMT baseia-se em características reais do equipamento e procura capturar principalmente a dinâmica dos balanços de potência. É adequado para estudo de estabilidade, porém para estudo de transitórios eletromagnéticos as simplificações impostas nos modelos precisam ser revistas. Estudos mais detalhados são necessários para o modelo proposto a fim de averiguar as possíveis divergências com o equipamento real. As utilidades do MCSR são muitas e devem ser considerados em novos projetos de transmissão e como alternativa para o aumento da capacidade de transmissão de linhas já existentes.

8.0 - AGREDECIMENTOS

Este trabalho teve como origem o projeto TRANSMITIR (Alternativas não convencionais para a transmissão de energia elétrica em longas distâncias), do qual participaram as empresas cooperadas Eletrobrás Eletronorte, Eletrobrás Furnas, CEMIG-GT, CTEEP, TBE. Este projeto foi desenvolvido no âmbito do programa de Pesquisa e Desenvolvimento ANEEL.

Especiais agradecimentos ao engenheiro Geraldo Luiz Costa Nicola pelos comentários e sugestões e ao engenheiro Tamyres Luis Machado Jr pelo apoio no entendimento de projeto de reatores.

9.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Belyaev A N, Smolovik S V, "Steady-state and transient stability of 500kV long-distance AC transmission lines with magnetically controlled shunt reactors", IEEE Power Tech Conference, Russia, 2005, Vol.13, No.5, pp.743–749.
- [2] A. Bryantsev, M. Bryantsev, B. Bazylev, S. Dyagileva, A. Negryshev, R. Karymov, E. Makletsova, S. Smolovik, "Power Compensators Based on Magnetically Controlled Shunt Reactors in Electric Networks with a Voltage between 110 kV and 500 kV", 2010 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America
- [3] ZHAO Shi-shuo, YIN Zhong-dong, Li Peng, "Research of Magnetically Controlled Reactor Simulation Model and its Experiments", 2012 IEEE 7th International Power Electronics and Motion Control Conference - ECCE Asia, June 2-5, 2012, Harbin, China.
- [4] A. Bryantsev, V. Dorofeev, M. Zilberman, A. Smirnov, S. Smolovik. "Magnetically controlled shunt reactor application for AC HV and EHV transmission lines", CIGRE-2006, Paris, B4-307.
- [5] Liang Yan-ping, Zhang Fang, Zhang Haiting, "Leakage inductance calculation and simulation research of extra-high voltage magnetically controlled shunt reactor", IEEE conference on industrial electronics and application 2010, Vol.21, No.8, pp.425–430.

10.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Marco Antonio Barbosa Horita: nasceu em São Paulo em 05 de outubro de 1988 e ingressou no curso de Engenharia na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em 2007 graduando-se em 2011 como Engenheiro Eletricista com ênfase em Energia e Automação. Em 2012 iniciou o programa de mestrado na mesma instituição e atualmente trabalha em projetos de P&D e é pesquisador ligado à Fundação de Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE).



Marcos Tiago Bassini: nascido em São Paulo, em 1988, graduou-se em Engenharia Elétrica com ênfase em Energia e Automação, na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em 2011. Atualmente busca o título de M.Sc. em Sistemas de Potência pela mesma instituição e é pesquisador ligado à Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE).



Milana Lima dos Santos: nascida em Duque de Caxias, estado do Rio de Janeiro, em 1975, graduou-se em Engenharia Elétrica na Universidade Federal da Paraíba, em 1998, e obteve os títulos de Mestre e Doutora na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em 2010 e 2012, respectivamente. Atualmente é pesquisadora ligada à Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE). Trabalhou no Consórcio de Alumínio do Maranhão (1998-2002), na área de Sistemas de Potência, na ABB Ltda (2002-2007), na configuração, instalação e comissionamento de sistemas de supervisão e comando de subestações, e na Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (2007-2009), na área de projetos de proteção, controle e automação.



José Antonio Jardini nasceu em Espírito Santo do Pinhal – SP em 27 de março de 1941. Obteve os graus de Engenheiro Elétrico, Mestre e Doutor pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em 1963, 1970 e 1973, respectivamente. De 1964 a 1991 trabalhou na Themag Eng. Ltda. desenvolvendo estudos de sistemas de potência e projetos de Linhas de Transmissão e Automação de Sistemas de Potência. Atualmente é professor titular no Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica da Universidade de São Paulo. É membro do CIGRE tendo sido o representante Brasileiro na SC38 da CIGRE e membro dos grupos B2 e B4. É fellow member da IEEE e Distinguished Lecturer da IAS/IEEE e PES/IEEE. Entre suas áreas de interesse destacam-se a Automação de GTD, linhas e estudos de sistemas de potência.



Gerson Yukio Saiki nascido em 30 de março de 1970, graduado em engenharia de eletricidade pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em 1997. Obteve seu título de Mestre em Engenharia de Eletricidade pela mesma instituição em 2001. Atualmente trabalha como pesquisador em grupo ligado à Fundação para Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia.



Ronaldo Pedro Casolari Engenheiro eletricista pela Escola de Engenharia Mauá-SP, 1972. Mestre em Sistemas Elétricos de Potência pela Universidade de São Paulo, 1996. Trabalhou na Themag Engenharia Ltda, Companhia Energética de São Paulo, Main Engenharia S.A. e Marte Engenharia Ltda. A partir de 1993 atuou como pesquisador no Centro de Excelência da Distribuição (IEE-USP) e no Departamento de Engenharia Elétrica da escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Atualmente atua como consultor em projetos ligados à Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia-FDTE.