



V SBQEE

Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica

17 a 20 de Agosto de 2003

Aracaju – Sergipe – Brasil



Tópico: Modelagens e Simulações

CONSIDERAÇÕES SOBRE APLICAÇÃO DE COMPENSAÇÃO SÉRIE EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO VISANDO MELHORIAS NA QUALIDADE DE ENERGIA

Nelson C. de Jesus*
Armando L. Ortiz
João A. M. Neto
UNIJUÍ

Hermes R.P.M de Oliveira
Carlos E.C. Figueiredo
AES Sul

Fausto B. Líbano
Rodrigo A. M. Braga
PUC/RS

RESUMO

Este artigo apresenta aspectos gerais concernentes à utilização e aplicação da compensação série em sistemas de distribuição. Após a definição de conceitos básicos, são discutidos os principais benefícios e problemas no que se refere a operação e desempenho desses sistemas, além das características dos principais componentes. Finalmente, um sistema em operação instalado recentemente em um alimentador de distribuição é utilizado como exemplo de aplicação da referida técnica de compensação.

PALAVRAS-CHAVE

Compensação Série. Sistemas de Distribuição. Qualidade de Energia. Ferrorressonância. Oscilações Subsíncronas.

1.0 - INTRODUÇÃO

A filosofia de compensação série em sistemas de transmissão possibilita o aumento da margem de estabilidade tanto em regime permanente como transitório. Em níveis de alta e extra-alta tensão tem-se uma confiabilidade comprovada através de inúmeros sistemas em operação. A utilização desta técnica em sistemas de distribuição também tem apresentado inúmeros benefícios, sendo que muitos projetos comprovam técnica e economicamente as vantagens sobre o sistema convencional com reguladores de tensão e capacitores shunt. Entretanto, estima-se que, existem aproximadamente 200 bancos de capacitores série (BCS) em operação nos sistemas de distribuição de vários países do mundo [1]. Neste caso, o principal objetivo é a redução da queda de tensão existente e melhoria da regulação do sistema. Atualmente, com a necessidade de níveis de qualidade de energia compatíveis, a utilização de capacitores série também é direcionada no sentido de reduzir flutuações de

tensão e os respectivos índices de severidade de cintilação (*Flicker*). Apesar das inerentes vantagens da compensação série como a regulação automática e instantânea, melhoria do perfil de tensão e suporte à partida de motores, os efeitos adversos são bem conhecidos, decorrentes principalmente dos fenômenos de ferrorressonância e oscilações subsíncronas. Um resumo das principais características quanto à aplicação de capacitores série em sistemas de distribuição é apresentado, incluindo simulações e resultados de laboratório em escala reduzida. Apresenta-se também o layout básico e características do sistema implementado recentemente num alimentador em 23 kV da AES Sul e os respectivos resultados obtidos.

2.0 - COMPENSAÇÃO SÉRIE

O conceito fundamental da compensação série está baseado na redução da reatância indutiva da linha por meio da inserção de bancos de capacitores em série (BCS). A figura 1 ilustra a configuração básica para análise da compensação série em sistemas radiais. Inicialmente, o diagrama fasorial da figura 2 mostra o sistema sem a inclusão do capacitor, considerando uma carga com fator de potência indutivo.

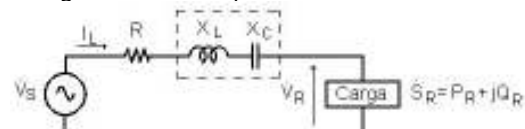


Figura 1 - Sistema radial com compensação série

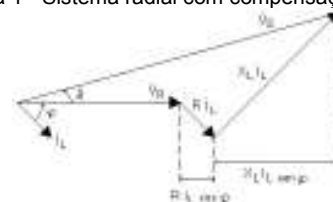


Figura 2 - Diagrama fasorial sem compensação

* Rua São Francisco, 501 - CEP 98700-000 - IJUÍ - RS - BRASIL

A queda de tensão total por fase é calculada de forma aproximada ($\delta < 30^\circ$) pelas seguintes equações:

$$\Delta V \cong RI_L \cos \varphi + X_L I_L \sin \varphi \cong \frac{R P_R + Q_R X_L}{V_S} \quad (1)$$

Para um circuito radial com a inclusão do capacitor série, a reatância equivalente é dada por:

$$X = X_L - X_C \quad (2)$$

A figura 3 mostra o diagrama fasorial considerando dois casos distintos, ou seja, um capacitor série com reatância menor do que a da linha e outro com um valor superior, sendo denominado neste caso de sobrecompensação.

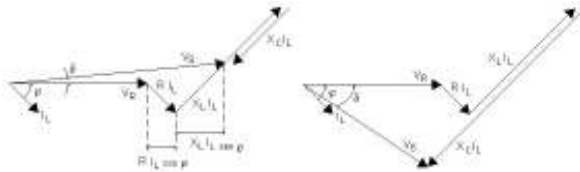


Figura 3 - Diagramas fasoriais com compensação série

Com a inclusão do banco série (BCS), obtém-se a seguinte relação fasorial entre as tensões.

$$\dot{V}_S = \dot{V}_R + [R + j(X_L - X_C)]\dot{I}_L \quad (3)$$

Para efeitos de planejamento a potência base a ser adotada considera a estimativa de crescimento da demanda. Multiplicando-se a equação (3) pelo conjugado complexo da corrente, obtém-se uma relação em termos de potências.

$$P_S + jQ_S = P_R + jQ_R + [R + j(X_L - X_C)]I_L^2 \quad (4)$$

A potência do banco depende da corrente do sistema e do valor da reatância capacitiva requerida. Utilizando a potência do circuito trifásico ($S = \sqrt{3}V_L I_L$) e, normalizando-a em relação a tensão de fase, resulta:

$$\frac{\sqrt{3}V_S}{V_L} = \frac{\sqrt{3}V_R}{V_L} + \frac{\sqrt{3}RI_L}{V_L} + j\frac{\sqrt{3}X_L I_L}{V_L} - j\frac{\sqrt{3}X_C I_L}{V_L} \quad (5)$$

O resultado é interessante, pois mostra que os valores dos componentes do sistema por unidade (pu), são exatamente iguais se referidos em relação a tensão ou potência base [2]. A determinação do banco de capacitores depende do nível de regulação aceitável, do fator de potência da carga e das relações entre os elementos do circuito. Ressalta-se que a equação anterior só é válida para circuitos radiais como o mostrado na figura 1. Se a tensão da carga é assumida como 1,0 pu e, após manipulação das equações anteriores junto ao fasor de corrente, obtém-se:

$$X_C = X_L - \sin \varphi - \sqrt{V_S^2 + \sin^2 \varphi - (1 + 2R \cos \varphi + R^2)} \quad (6)$$

Devido à dependência, em muitos casos é conveniente solucionar a equação (6) para uma relação X/R do sistema, definindo-se as seguintes relações [2]:

$$h = \frac{X_L}{R} \quad (7)$$

$$V_S = 1 + \Delta V \quad (8)$$

Substituindo (7) e (8) em (9), tem-se:

$$X_C = X_L - \sin \varphi - \sqrt{(1 + \Delta V)^2 + \sin^2 \varphi - \left(1 + \frac{2X_L}{h} \cos \varphi + \frac{X_L^2}{h^2}\right)} \quad (9)$$

Considerando os limites estabelecidos pela resolução 505 da ANEEL (26/11/01), a queda de tensão máxima em sistemas de distribuição deverá ser de 5%. As figuras 4 e 5 ilustram as relações obtidas em pu para a queda anterior, considerando fatores de potência indutivos de 0,8 e 0,9, respectivamente.

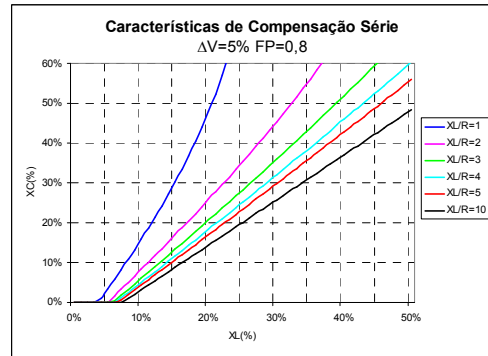


Figura 4 - Relação X_C/X_L ($\Delta V = 5\%/FP=0,8$)

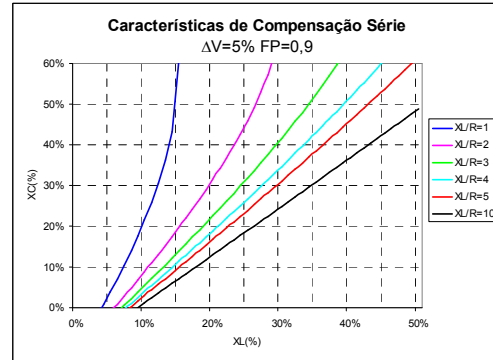


Figura 5 - Relação X_C/X_L ($\Delta V = 5\%/FP=0,9$)

3.0 - APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Em sistemas de distribuição normalmente as aplicações são mais atraentes para cargas remotas supridas por longos alimentadores, em sistemas com baixo nível de curto-circuito e fator de potência entre 0,8 e 0,95. Da análise anterior, o desempenho depende das características do sistema (relação X/R), do grau de compensação e, principalmente, do fator de potência no ponto de instalação. Considere o seguinte sistema de compensação série para análise em alimentadores de distribuição. Na figura 6, as cargas são distribuídas ao longo do alimentador.

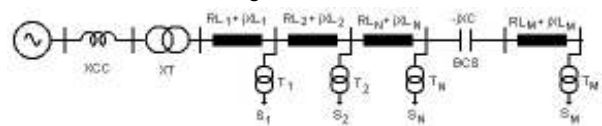


Figura 6 - Sistema típico de distribuição com BCS

Para sistemas de distribuição radiais torna-se conveniente definir-se o grau de compensação (K_{CS}) da seguinte forma [1]:

$$K_{CS} = \frac{X_C}{X_P} \quad (10)$$

Onde:

X_C - Reatância capacitiva do BCS (Ω);

X_P - Reatância até o BCS = $X_{CC} + X_T + X_{L1} + X_{L2} + X_{LN}$ (Ω).

Em função de experiências passadas, normalmente, tem-se como valor prático um grau de compensação máximo de 150%, pois para valores superiores ocorre um aumento significativo da probabilidade dos possíveis fenômenos adversos, os quais serão apresentados posteriormente.

3.1 Melhoria do Perfil de Tensão

A aplicação de BCS difere em termos de potência reativa, pois para capacitores shunt a potência depende da tensão, enquanto que nos BCS é dependente da corrente, sendo proporcional ao quadrado de seu módulo. Além disso, as respostas para variações rápidas de cargas são totalmente distintas dos bancos shunts chaveados, com superioridade significativa em relação ao tempo de resposta. Um dos principais objetivos da utilização de BCS é a melhoria do perfil e regulação de tensão do sistema. A seguir, tem-se estimado e representado de maneira simplificada o alimentador de distribuição com BCS, AL03 de Sobradinho/RS de propriedade da AES SUL, o qual se encontra em plena operação (Figura 15). Neste caso [3], foi realizada uma simples substituição de um regulador automático de tensão de 32 degraus pelo BCS com reatância de $-j 35 \Omega$. Deste modo, o grau de compensação equivale a 180%. Após o comissionamento, energização e operação por mais de dois anos e meio, não foram observados quaisquer eventos relacionados a oscilações e problemas clássicos verificados ao longo da história por algumas instalações com BCS.

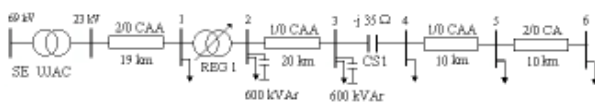


Figura 7 - Sistema com BCS (AL 03 - UJAC 320)

Por meio de simulações em programas de fluxo de carga, onde se considerou uma demanda de 5 MVA e carga com FP = 0,9, tem-se o perfil de tensão obtido, comparando-se o desempenho do BCS em substituição ao regulador, como mostrado na figura 12.

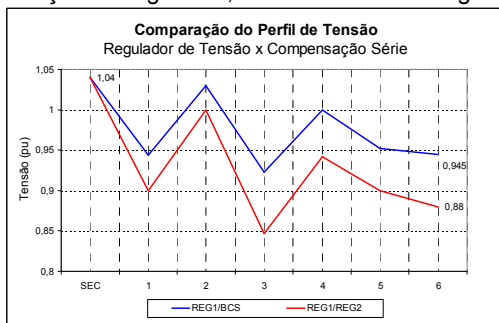


Figura 8 - Perfil de tensão (AL 03 - UJAC 320)

3.2 Suporte à Partida de Motores

A potência reativa solicitada por motores durante a partida é muito maior do que sob regime, portanto, com fator de potência reduzido, tipicamente entre 0,3 e 0,6. A queda de tensão durante a partida de grandes motores pode ser problemática para outros consumidores do sistema, ou mesmo influenciar no processo de aceleração do próprio motor. Com a inclusão do BCS a queda de tensão causada pela alta corrente reativa pode ser compensada, fornecendo assim um suporte adequado à partida de motores.

3.3 Redução de Flutuações de Tensão

Em casos de flutuação de tensão devido a grandes variações de cargas, a compensação série resultará na melhoria da qualidade de energia fornecida. Este fator pode ser verificado com o auxílio do diagrama fasorial da figura 3 e por meio da equação (1). Salienta-se que a melhoria da regulação de tensão promovida pelo BCS é contínua e instantânea. Nota-se que a compensação série é mais efetiva na redução de flutuações de tensão causadas por picos de potência reativa da carga. Portanto, a aplicação de BCS é uma alternativa a ser analisada quando se deseja reduzir problemas de oscilações e cintilação (*Flicker*). Conforme análise anterior, o suporte a partida de motores colabora na mitigação deste tipo de problema.

3.4 Divisão entre Circuitos Paralelos

Em circuitos paralelos, a corrente solicitada por cada circuito é inversamente proporcional a impedância equivalente. Em muitos casos, a divisão de correntes não é otimizada com a capacidade dos circuitos e objetivos de planejamento da rede. A compensação série pode ser aplicada em um dos circuitos para ajuste da razão de impedâncias e, por conseguinte, equilibrar o balanço das correntes entre os sistemas. Isto torna possível melhorar a divisão entre os circuitos paralelos, minimizando as perdas e aumentando a capacidade da rede. A otimização das perdas nestes casos ocorre quando as relações X/R das duas impedâncias são idênticas, conforme a equação 11. A figura 13 esclarece o exposto.

$$\frac{X_1 - X_C}{X_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (11)$$

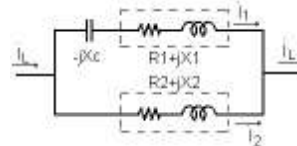


Figura 9 - Melhoria da divisão de correntes com BCS

Resumidamente, pode-se destacar as seguintes vantagens quando da aplicação de BCS: Aumento da capacidade da linha e melhoria do perfil de tensão; Redução das quedas de tensão e balanço de potência reativa; Suporte a partida de motores; Auto-regulação com resposta instantânea, automática e contínua; Melhor divisão da corrente em circuitos paralelos; Redução de flutuações de tensão e índices de cintilação; Redução da potência reativa e aumento do fator de potência; Diminuição das perdas do sistema; Adequação frente à rejeição de cargas, etc.

4.0 - PROBLEMAS RELATIVOS À OPERAÇÃO DE CAPACITORES EM SÉRIE

Apesar das inerentes vantagens dos sistemas de compensação série, os efeitos colaterais são bastante severos, motivo pelo qual se exige uma análise detalhada para definição e especificação final do projeto, sendo recomendadas simulações utilizando programas de transitórios eletromagnéticos do tipo EMT. A seguir, comenta-se brevemente a respeito dos principais problemas encontrados, os quais devem ser avaliados principalmente quando a sobrecompensação série é necessária.

4.1 Ferrorressonância

Quando um transformador a vazio ou com baixo carregamento é energizado, as correntes transitórias de energização (*Inrush*) podem permanecer momentaneamente com valores significativos e superiores ao nominal. Os valores dependem das condições do núcleo e sistema, ocorrendo os valores máximos quando a energização é próxima do ponto zero da onda de tensão (sem considerar o fluxo residual). Neste caso, os harmônicos preponderantes são os pares de baixa ordem, com forte saturação do meio magnético. Se, entretanto, o transformador é alimentado por um circuito com capacitor série, uma temporária ou permanente condição de ressonância não-linear pode ocorrer. Corrente subharmônicas e oscilatórias podem ser estabelecidas. Este fenômeno é denominado de ferrorressonância e causa severas sobretensões. As seguintes precauções devem ser aplicadas para evitar a ferrorressonância [2].

- A sobrecompensação deve ser avaliada para sistemas em que a relação X/R é maior que um;
- Curto-circuitar o BCS na energização do circuito e manter o bay-pass temporariamente por alguns segundos.

Quando a ferrorressonância ocorre, a solução pode ser a inserção de um resistor de amortecimento em paralelo ao BCS, normalmente sendo comandado por um relé de subfrequência. No caso de TP's, deve-se inserir uma carga resistiva, promovendo assim o amortecimento do fenômeno. A figura 10 apresenta os resultados de simulações da ferrorressonância, ilustrando a corrente de magnetização e a tensão de uma das fases no BCS. Este caso se refere a energização de um transformador a vazio de 500 kVA num sistema com sobrecompensação ($K_{CS} = 200\%$).

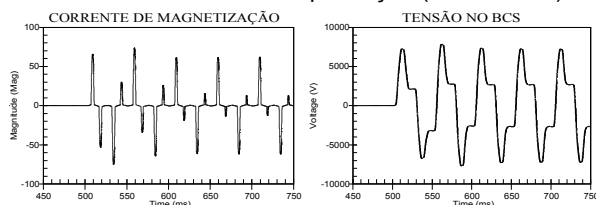


Figura 10 - Corrente e tensão durante ferrorressonância

4.2 Auto-Excitação de Motores de Indução

A combinação do capacitor série e da reatância indutiva resulta num circuito ressonante série. Para o sistema elétrico compensado, a frequência natural

deste circuito ressonante é quase sempre subsíncrona, com valores de 10 a 90% da frequência fundamental, dependendo da reatância do BCS. Para cargas indutivas, como motores de indução (MIT's), a indutância do motor é um elemento da equação que determina a reatância indutiva total. A existência da frequência subsíncrona tem prestado problemas na partida de motores sob certas condições. Durante a partida, o rotor pode estabilizar-se e continuar a desenvolver uma velocidade abaixo da nominal, correlacionada à frequência de oscilação subsíncrona, com elevadas correntes sustentadas. O efeito neste caso equivale a uma ação geradora da máquina na frequência subsíncrona. Nestas condições, o motor pode danificar-se devido à excessiva vibração e sobreaquecimento. A ocorrência da auto-excitação é mais provável quando as potências nominais dos maiores motores excedem a 5% a do sistema. A presença de carga ativa em paralelo com o motor tende a reduzir o problema. Entretanto, mesmo neste caso, a possibilidade de auto-excitação em fase de projeto deve ser avaliada se a demanda ativa mínima a jusante do BCS é menor do que 10% da potência nominal do motor. As seguintes alternativas podem ser estudadas para eliminação de oscilações provenientes de ressonâncias subsíncronas (efeito gerador):

- By-pass temporário do BCS durante a partida de motores. Esta não é uma solução conveniente se a queda de tensão é considerável nesta condição, pois em muitos casos, o BCS é projetado para reduzir as variações com suporte de tensão à partida de motores.
- Conexão permanente ou temporária do resistor de amortecimento em paralelo ao BCS, como no caso da ferrorressonância. Normalmente, os valores do resistor ficam na faixa de 5 a 10 vezes o da reatância nominal do banco. Obviamente, a inclusão do resistor implica em perdas adicionais e redução do ganho de tensão.

As figuras a seguir mostram, respectivamente, a velocidade e corrente obtidas por simulações durante um caso de auto-excitação de um motor de 200 CV em um sistema de distribuição sobrecompensado [3].

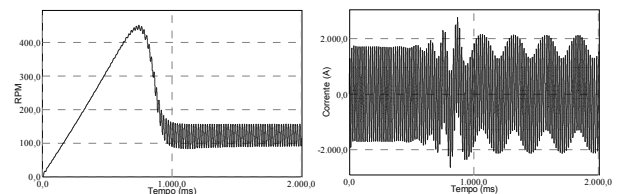


Figura 11- Velocidade e corrente com auto-excitação

A título de ilustração, comparou-se os resultados de simulações e experimentais para um arranjo em escala reduzida (BCS na BT), sendo ilustradas as correntes equivalentes durante o regime de auto-excitação.

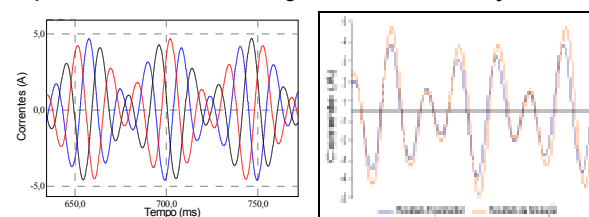


Figura 12- Correntes simuladas e experimentais para auto-excitação em escala reduzida (MIT de 1/2 CV)

4.2 Oscilações Periódicas (*Hunting*)

O fenômeno de *Hunting* em motores síncronos com baixo carregamento está relacionado a variações periódicas sustentadas na velocidade rotórica dos motores em regime. É decorrente de chaveamentos do sistema e variações de carga ou excitação do próprio motor. Esta perturbação não pode ser atribuída diretamente à ressonância, sendo que seu fator principal é a razão da resistência e reatância total do alimentador (incluindo o BCS) entre a fonte e os terminais do motor [4]. Se a razão é menor que um e positiva, a variação periódica de velocidade é pouco provável. A variação periódica de velocidade não é limitada a motores síncronos, podendo ocorrer também junto a motores de indução. Desta forma, dependendo da respectiva relação X/R, a aplicação de BCS em sistemas contendo motores de indução no acionamento de cargas do tipo bombas e/ou compressores poder ser extremamente problemática.

5.0 - PRINCIPAIS COMPONENTES DE SISTEMAS DE COMPENSAÇÃO SÉRIE

Sistemas de compensação série podem ser do tipo autoprotetido, dimensionados para suportarem as sobretensões transitórias, ou com proteção externa contra sobretensões, sendo esta última alternativa geralmente a preferida por motivos econômicos. Nesta configuração, o sistema é composto por grupos de capacitores, equipamentos de proteção contra sobretensões, chave de by-pass e amortecimento, além de um sistema de controle, comando e proteção. As características de especificação dependem da potência nominal e do ponto de localização do BCS. Neste sentido, a localização adequada para sistemas radiais como o da figura 1 é preferencialmente próxima à carga, evitando que defeitos ao longo da linha (a montante do BCS) afetem o equipamento, além de contribuir a um projeto mais econômico do BCS [1], [2]. Para sistemas distribuídos, a determinação do local é mais detalhada, mas usualmente segue os mesmos padrões de análise dos reguladores de tensão. Uma regra geral é a inserção no ponto do sistema onde a queda é metade ou um terço da queda de tensão total. Duas configurações incluindo os principais equipamentos utilizados no BCS tipicamente para sistemas de distribuição são mostradas na figura 13.

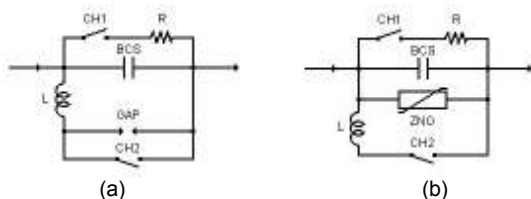


Figura 13 - Configurações de sistemas de compensação série
Figura 13 - (a) Gap Figura 13 - (b) Varistor

Com relação a figura anterior, devido a evolução dos sistemas de proteção, existe uma tendência de mudança em termos de filosofia, devido a aplicação de varistores de óxido de zinco (ZNO) com alta capacidade de absorção de energia, eliminando a necessidade de utilização de centelhadores e ajustes dos dispositivos (*Gap*). Deste modo, os comentários a seguir tratarão dos componentes da configuração atual da figura 13 - (b) e adicionais, como se segue.

⇨ BCS: Formado normalmente por grupos de unidades capacitivas em série e/ou paralelo com reatância equivalente especificada. Além dos valores nominais, deverão ser especificados em função da máxima corrente de falta, o valor máximo instantâneo (V_{LIM}) e a tensão máxima suportável de curta duração (V_{TCA}), em função dos ensaios prescritos por normas específicas.

⇨ Chave de isolamento: Chaves de manobra do tipo a vazio (faca), para isolamento do banco em atividades de manutenção (2 NF, 1 NA);

⇨ Chave de proteção: Chaves sob carga para proteção do BCS. Normalmente são utilizadas chaves do tipo a óleo ou a vácuo (1 NA).

⇨ Varistor (ZNO): A característica (V/I) define o ponto de proteção instantânea contra sobretensões. A energia nominal do varistor é selecionada em conformidade com a máxima corrente de falta durante o tempo máximo de atuação das proteções.

⇨ Reator de descarga: Destinado a limitar a corrente de descarga dos capacitores quando do fechamento da chave automática. A indutância e fator de qualidade determinam a corrente de pico e a frequência de descarga na chave durante a atuação da proteção.

⇨ Resistor de amortecimento: Resistor com valores típicos de 5 a 10 X_C para amortecimento de oscilações subharmônicas (ferroressonância ou auto-excitação), se necessário.

⇨ Controle e proteção: Os sistemas completos fornecidos por fabricantes sofreram evolução tecnológica significativa, com sistemas dedicados e específicos à compensação série em níveis de distribuição. Em contraste aos comandos eletromecânicos tradicionalmente utilizados, atualmente os modernos sistemas de controle e proteção (*Master Control*) são constituídos com arquitetura digital a base de DSP's, detector de ressonâncias, programação lógica, oscilografia de eventos, sistemas de comunicação e monitoramento, fornecendo um controle completo visando proteger tanto o equipamento quanto o sistema [5].

6.0 - EXEMPLO DE SISTEMA EM OPERAÇÃO

Como exemplo de um sistema de compensação série em operação, tem-se o banco instalado em um dos alimentadores de distribuição em 23 kV, na área de concessão da AES Sul, localizado na cidade de Arroio do Tigre/RS e pertencente ao alimentador 03 de Salto do Jacuí/RS (AL 03/UJAC-320). A figura 14 ilustra o diagrama unifilar do sistema de compensação série. Já a figura 15, apresenta uma visão geral do sistema implementado e em operação desde janeiro de 2001.

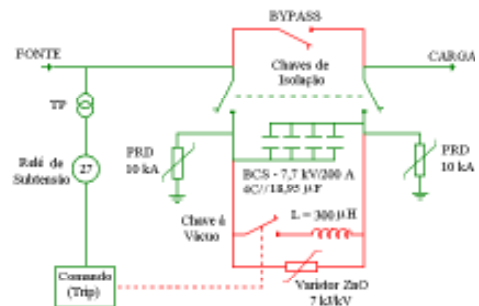


Figura 14 - Diagrama unifilar do sistema de compensação série



Figura15 - Implementação do sistema de compensação série

A energização deste sistema foi realizada sob condições normais de operação, obtendo-se elevações de tensão significativas em determinados períodos. Não foram verificados quaisquer sinais de oscilações, sendo que o sistema mostrou-se bastante estável e com uma boa regulação de tensão. A figura 16 ilustra o comportamento das tensões RMS a montante e a jusante do capacitor série, registradas imediatamente a fase final do comissionamento e energização do banco, com resultados considerados satisfatórios. Neste caso, durante a operação sob carga máxima ocorreram quedas significativas de tensão. Deve-se salientar que os dois bancos de capacitores shunt mostrados na figura 7 não estavam em operação. Neste sentido, durante a carga máxima já existe uma deterioração da tensão na própria subestação, o que dificultou a obtenção de um perfil adequado das tensões do sistema no referido período. De qualquer modo, o ganho de tensão máximo com o BCS chegou a 15% durante determinados períodos de carga.

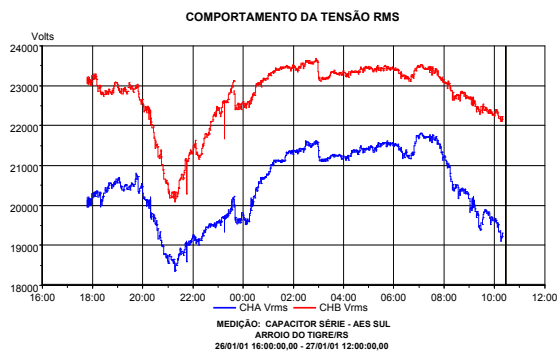


Figura17 - Comportamento das tensões no BCS

Portanto, os resultados indicaram uma aplicação conveniente após estudos detalhados tanto em regime permanente quanto transitório, principalmente em comparação a operação do sistema com dois reguladores de tensão. Atualmente, as tensões no referido alimentador encontram-se dentro de padrões adequados de desempenho após ajustes finais.

7.0 - CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou considerações quanto à aplicação de sistemas de compensação série na distribuição. Além dos casos citados, existe uma aplicação particular em termos monofásicos, destinada a redução de oscilações causadas por equipamentos de tração. Salienta-se que para sistemas de subtransmissão a análise seria semelhante, sendo também objeto de investigação quanto ao custo-benefício e implicações técnico-econômicas. Apesar de estudos e relatos de experiências de sistemas de compensação série em alimentadores de distribuição terem origem na década de 20, onde os primeiros sistemas foram implementados, ainda se constituem de avaliação refinada em termos de engenharia, sendo as simulações ferramentas importantes no sucesso dos projetos. Observa-se que estudos de possíveis problemas devem ser realizados em fase de planejamento, evitando assim prejuízos para as concessionárias e consumidores. Contudo, em função das diretrizes de correção do fator de potência, as aplicações tendem a ficar limitadas, agravando-se pela alta resistência de sistemas de distribuição, que gera a necessidade de sobrecompensação para a solução dos problemas de quedas de tensão. Esta é uma questão chave, como comprova-se pela análise analítica simplificada em relação a influência deste fator, sendo recomendadas análises para faixa de 0,8 a 0,95. Além de avaliações quanto aos efeitos colaterais, ou seja, ferorrressonância, auto-excitação e *hunting*, o grande desafio é o de encontrar-se uma forma de padronização para sistemas típicos de distribuição, como no caso de reguladores de tensão. Em sistemas dinâmicos, a análise conjunta de equipamentos de regulação deve ser verificada, buscando a adequação e melhoria da qualidade de energia. De qualquer forma, a análise técnico-econômica deve finalizar o processo de proposições quanto a possíveis aplicações de BCS em sistemas de distribuição.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. A. Miske, "Considerations for the Application of Series Capacitor to Radial Power Distribution Circuits", *IEEE Trans. On Power Delivery*, Vol. 16, No.2, pp. 306-318, April 2001.
- [2] P. M. Anderson, R. G. Farmer, *Series Compensation of Power Systems*, California: PBLSH! Inc., 1996.
- [3] H. R. P. M. Oliveira, C. E. C Figueiredo, N. C. Jesus, "Resultados Obtidos na Operação de Sistemas de Compensação Série em Alimentadores de Média Tensão da AES Sul", Anais do XV SENDI - Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Novembro 26-29, Salvador/BA, 2002.
- [4] D. S. Guimarães, M. H. M. Vale, "Utilização de Compensação Série em Sistemas de Distribuição", Anais do IX ERLAC - Encontro Regional Latino-Americano da Cigré, Maio 27-31, Foz do Iguaçu/PR, 2001.
- [5] F. R. Garcia, G. S. Mello, "Compensação Série em Sistemas de Distribuição e Subtransmissão: Novas Tecnologias de Controle e Proteção", Anais do IX ERLAC - Encontro Regional Latino-Americano da Cigré, Maio 27-31, Foz do Iguaçu/PR, 2001.