

# O USO DE COMPENSADORES ESTÁTICOS NA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

Igor Lazarino Lopes<sup>1</sup>

Thiago Borges Teixeira Silva<sup>2</sup>

Fabício Silveira Chaves<sup>3</sup>

*RESUMO: Após sua estabilização econômica e democratização, o Brasil começou a investir em sua infraestrutura, ocasionando o aquecimento dos mais diversos setores da economia. O fornecimento de energia, em especial a elétrica, é essencial para a continuação do desenvolvimento do país. Com espaço físico e fontes geradoras naturais já limitadas, os seus principais centros de carga dependem da energia gerada em lugares que ainda possuem recursos naturais em abundância e que ainda não explorados, como os rios da região norte e os ventos da região nordeste. O fato desses pontos de geração de energia estarem localizados muito distantes dos centros de carga faz com que as linhas de transmissão sejam muito extensas e existam muitas subestações ao longo desses caminhos, e assim, várias cargas com grandezas diferentes e uma maior suscetibilidade a problemas na qualidade dessa energia. A utilização de reatores, aqui denominados compensadores estáticos, como solução do problema é o objeto de estudo deste artigo. No Sistema Elétrico de Potência, os reatores, devido à sua alta eficiência e praticidade, possuem diversas aplicações: compensação de reativos, limitação de correntes de curto circuito e filtragem de harmônicos.*

*ABSTRACT: After the economic stabilization and democratization, Brazil began to invest in infrastructure, causing heating of the various sectors of the economy. The energy supply, particularly electricity, is essential for the further development of the country. With limited physical space and limited natural generating sources, the main load centers depends of the power generated in places that still has abundant natural resources and untapped, as per the rivers of the northern region and the winds of the northeast region. The fact that these power generation points are located far from the load centers makes the transmission lines are very extensive and there are many substations along these paths, and thus several loads with different magnitudes and a greater susceptibility to problems in quality of this energy. The use of reactors, here called static compensators as a solution of the problem is the subject of this article. In Electric Power System, the reactors have many applications, with the use of this equipment in reactive compensation, short circuit currents limitation and filtering harmonics are its main features, due to its high efficiency and practicality.*

<sup>1</sup> Graduando em engenharia elétrica. UNIBH, 2014, MG. Email: lazarino.igor@gmail.com

<sup>2</sup> Graduando em engenharia elétrica. UNIBH, 2014, MG. Email: tbts.borges@gmail.com

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Elétrica. UFMG, Professor do Centro Universitário de Belo Horizonte UNIBH. Belo Horizonte, MG. Email: fabricio.chaves@prof.unibh.br

---

## 1 INTRODUÇÃO

O Sistema Elétrico de Potência merece grande atenção por parte de quem atua diretamente nele, seja na manutenção, estudo ou projeto. Seus componentes, suas particularidades, sua complexidade e sua importância são pontos essenciais a serem decifrados por quem almeja compreendê-lo. Um importante ponto que está em grande destaque nos tempos atuais é a qualidade da energia elétrica. Assim como todo produto que é comercializado, a energia elétrica está sendo alvo de grandes análises em sua qualidade. Isso não é interessante apenas para o consumidor final, mas também para as distribuidoras e geradoras, uma vez que o alto custo de equipamentos e mão de obra para a sua manutenção são fatores que influenciam diretamente no custo final desse produto.

O efeito capacitivo causado pelas linhas de transmissão, aumentando os níveis de potência reativa na linha, o uso de equipamentos ao longo da linha que produzem harmônicos e os altos níveis de curto circuito são causas dos problemas envolvendo a qualidade de energia elétrica, uma vez que esses surtos podem gerar grandes perdas financeiras para a concessionária. Essas condições resultam geralmente em aumento na corrente total que circula nas redes de distribuição de energia elétrica, podendo sobrecarregar as subestações, as linhas de transmissão e distribuição, prejudicando a estabilidade e as condições de aproveitamento dos sistemas elétricos, trazendo inconvenientes diversos, tais como: perdas na rede, quedas de tensão e subutilização da capacidade instalada (ENGELETRICA, 2011).

Estes problemas podem ser facilmente resolvidos ou mitigados avaliando a intensidade de um determinado problema e dimensionando um reator, para cada um destes problemas, como solução, seja ele, compensador de potência reativa, limitador de corrente de curto circuito ou filtro de harmônicos.

O modo com que estes equipamentos são aplicados para resolver estes problemas são o objeto de estudo deste artigo.

## **2 COMPENSAÇÃO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO**

Em linhas de transmissão muito extensas um problema crítico é o aumento da tensão ao longo da linha de transmissão, fazendo com que a tensão na extremidade final seja maior que a tensão do lado onde ocorre a geração de energia. Este fenômeno é conhecido como “efeito Ferranti” e se dá pelo fluxo de corrente capacitiva devido às indutâncias em série da linha (ARAUJO, 2005).

A solução mais usual para o problema supracitado é a compensação da potência reativa ao longo da linha. Esta solução pode ser feita com o uso de reatores (indutores) controlado por tiristores.

A compensação é feita, de um modo geral, através da correção do fator de potência da linha. A correção do fator de potência está relacionada à injeção de potência reativa conforme necessário para aproximar o fator de potência de um valor unitário. Dessa forma, toda a potência gerada, pode ser consumida.

Além da correção do fator de potência, a compensação de linhas de transmissão traz outros benefícios como: garantir maior e melhor aproveitamento do sistema elétrico existente, propiciar equilíbrio no balanço geração/consumo de potência reativa, ajustar módulos de tensão e eliminar o uso inadequado de equipamentos controlados como, por exemplo, a utilização de compensadores síncronos, atendendo à potência reativa da carga (CHAVES, 2007).

Apesar disto, a solução mais utilizada na transmissão em corrente alternada convencional, que é a compensação, ao longo da linha, da reatância série e paralela, torna-se dispendiosa quando aplicada em distâncias muito longas (SANTOS, 2010).

## **3 REATORES**

Os reatores (ou mais geral, os indutores) são dispositivos fabricados para introduzir indutância em um circuito, consistindo de uma série de voltas de um fio condutor bobinado. Normalmente as espiras são enroladas em torno de um material magnético, denominado núcleo, o qual é capaz de armazenar uma quantidade maior de energia por Ampère de corrente, que o próprio ar.

A indutância do reator depende do formato da mesma (área e comprimento), da permeabilidade do material do qual é feito o núcleo, do número de espiras, da distância entre as espiras, de como estas espiras são enroladas e de outros fatores como por exemplo, indutância mútua e acoplamento magnético.

Reatores, assim como os capacitores, são básicos nos sistemas de transmissão e distribuição. Dependendo de sua função, os reatores são conectados em série ou em *shunt* (derivação) com o sistema, singularmente (reatores limitadores de corrente, reatores *shunt*) ou em conjunto com outro componente básico tal como capacitores (reatores para chaveamentos de capacitores *shunt*, reatores para descarga de capacitores e reatores para filtros).

Reatores são utilizados para prover reatância indutiva no sistema de potência para uma vasta variedade de aplicações. Isto inclui: limitadores de corrente curto circuito e filtros de harmônicos, compensadores de potência reativa.

Reatores podem ser instalados nos mais variados níveis de tensão tipo industrial, de distribuição ou transmissão e podem ser dimensionados para suportar os mais variados níveis de corrente.

Estes reatores podem ser classificados pelo seu método de resfriamento e pelo seu núcleo. São eles os reatores imersos em óleo e reatores a seco com núcleo de ar. As principais características de cada um destes modelos são:

- Reator Imerso a Óleo: Seu resfriamento é feito em óleo mineral e possui suas espiras enroladas em torno de um núcleo de ferro. Este reator fica protegido sob uma blindagem eletromagnética. Outra característica importante é o fato de possuir núcleo em material ferromagnético ele possui saturação para diferentes intensidades de corrente. Suas principais vantagens são: ausência de Poluição magnética e campo magnético extremamente baixo nas proximidades do equipamento devido a sua proteção eletromagnética e do aumento da densidade de campo no interior do equipamento devido ao seu núcleo. Em contrapartida, suas desvantagens são o seu alto custo de fabricação e instalação e necessidade de aplicação de procedimentos de supervisão e manutenção conforme Figura 01.

- Reator a seco com núcleo de ar: Seu resfriamento e seu núcleo são ar natural e sua instalação pode ser feita tanto ao tempo quanto em local abrigado. Devido a ausência de núcleo ferromagnético não existe saturação, ou seja, possui indutância constante para qualquer nível de corrente (Figura 02). Suas principais vantagens: são sua robustez, ausência de manutenção, fácil inspeção visual, baixo custo de fabricação e instalação. Em contrapartida, suas desvantagens são os campos magnéticos intensos na vizinhança do equipamento, fazendo com que haja presença de indução nas proximidades do equipamento e seus elevados esforços de curto circuito requerem estruturas reforçadas para sua instalação (NOGUEIRA, 1999).



Figura 01. Reator com núcleo de ferro imerso a óleo

Fonte: Siemens AG, 2005



Figura 02. Reator a seco com núcleo de ar e

Fonte: SHARP; WERNER; R. G. Andrei, 2002

### 3.1 REATORES EM DERIVAÇÃO

Reatores em derivação são usados para compensar a potência reativa capacitiva gerada por linhas de transmissão sob carga leve ou cabos subterrâneos. Normalmente, esses reatores são conectados ao terciário de transformadores conectados em linhas de transmissão para classes de tensão de 13.8kV até 69kV ou podem também ser conectados diretamente à linha.

Linhas de transmissão de alta tensão, quando particularmente longas, geram uma quantidade substancial de energia reativa quando levemente carregadas. Por outro lado, elas absorvem grande quantidade de potência reativa em atraso quando muito carregadas. Como consequência, a menos que a linha de transmissão esteja operando em equilíbrio de potência reativa, a tensão no sistema pode não ser mantida em valores nominais.

O balanço da potência reativa é feito subtraindo do carregamento capacitivo da linha de transmissão a indutância da mesma.

Para atingir um equilíbrio de potência reativa aceitável, a linha deve ser compensada para se obter uma condição operacional. Em condições de carga pesada, o equilíbrio de potência é negativo e compensação capacitiva (suporte de tensão) é necessária, geralmente fornecida pelo uso de capacitores *shunt*. Por outro lado, quando a linha se encontra com carga leve, o equilíbrio de potência é positivo e compensação indutiva é

necessária, geralmente fornecida pelo uso de reatores em derivação. A grande capacitância inerente aos sistemas de transmissão, quando levemente carregadas, pode causar dois tipos de sobretensão no sistema que também podem ser controladas através do emprego desses reatores.

O primeiro tipo de sobretensão ocorre quando o efeito capacitivo sobressai em uma linha levemente carregada.. A corrente atrasada quando consumida por um reator em derivação reduz a influência capacitiva na linha, portanto, reduz a sobretensão.

Outro tipo de sobretensão é causado pela interação da capacitância da linha com alguma porção de energia reativa indutiva saturável do sistema, a este efeito dá-se o nome de ferro-ressonância (BOUCHEROT, 1920)

Quando se comuta um transformador na linha, a tensão no final da linha pode subir para um valor suficiente para saturar a indutância do transformador. A aplicação de um reator em derivação no terciário de um transformador pode reduzir esse tipo de sobretensão, reduzindo a tensão para valores abaixo daquele em que a saturação do núcleo do transformador pode ocorrer, fornecendo também uma baixa indutância não saturável em paralelo com a impedância do transformador. (HARLOW, 2004).

Na Figura 03 são apresentadas as conexões típicas de reatores nas redes de energia.

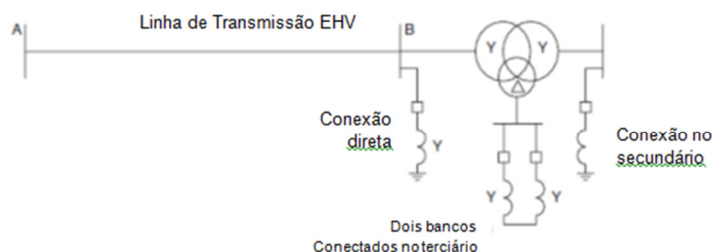


Figura 03. Conexões típicas para reatores em derivação

Fonte: SHARP; WERNER; R. G. Andrei, 2002

Reatores em derivação, conectados ao terciário de um transformador, podem ser do tipo seco com núcleo de ar ou imerso em óleo. A Figura 04 mostra estes reatores do tipo seco.



Figura 04. Reatores a seco em derivação

Fonte: SHARP; WERNER; R. G. Andrei, 2002

### 3.2 REATORES CONTROLADOS POR TIRISTORES

Com as características operacionais do sistema se aproximando cada vez mais de seus limites, tais como a estabilidade dinâmica de tensão e grandes cargas industriais dinâmicas, tais como fornos a arco, surge então a necessidade de compensação dinâmica.

Tipicamente, compensadores estáticos de Volt-Ampère Reativo – VAR (SVC), são usados para fornecer compensação dinâmica em uma barra, através do uso de microprocessadores, para a manutenção de uma reserva dinâmica de apoio reativa quando há uma súbita necessidade.

A Figura 05 ilustra uma configuração típica para um SVC. A Figura 06 mostra a tensão e a corrente em uma fase de um TCR quando o ângulo de disparo não é zero. A Figura 06 mostra os espectros harmônicos das correntes, como um percentual da corrente fundamental, gerado pelo TCR para vários ângulos de disparo (SHARP; WERNER; R. G. Andrei, 2002).

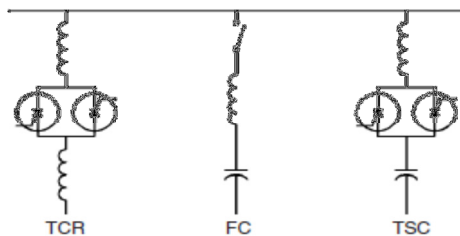


Figura 05. Configuração típica de um SVC  
Fonte: SHARP; WERNER; R. G. Andrei, 2002

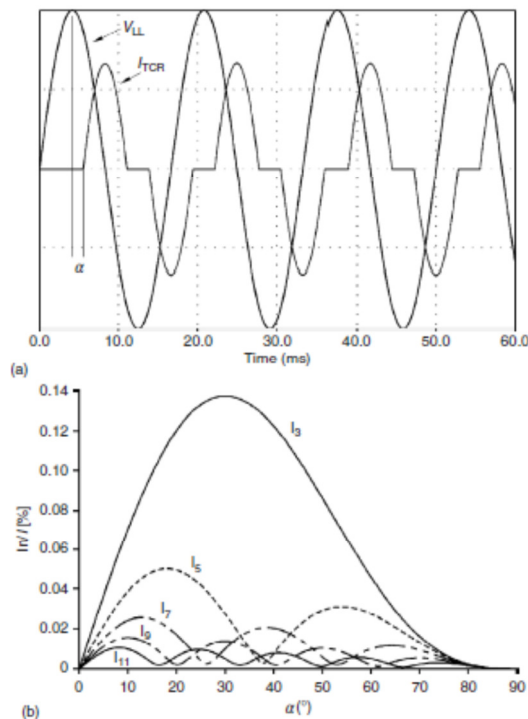


Figura 06. Espectro de harmônicos das correntes de um TCR Fonte: SHARP; WERNER; R. G. Andrei, 2002

Pela variação do ângulo de disparo  $\alpha$  do reator controlado a tiristores (TCR), a quantidade de corrente absorvida pelo reator pode ser continuamente variada e o reator comporta-se como uma indutância infinitamente variável. Consequentemente, o apoio capacitivo fornecido pelo capacitor fixo (FC) e pelos capacitores controlados a tiristores (TSC) pode ser ajustado para a necessidade específica do sistema. A eficiência, bem como o controle de tensão e estabilidade de sistemas de energia ganham altos índices de confiabilidade com a instalação de SVCs.

O uso de SVCs também é consagrado em sistemas de potência de cargas industriais. Devido às exigências do aumento na produção e regulamentos mais rigorosos, o consumo de potência reativa e a mitigação da perturbação no sistema de potência podem exigir a instalação de SVCs. Fornos a arco elétrico em siderúrgicas é um exemplo típico de uma carga industrial que pode causar incômodo aos consumidores pela geração de *flicker*.

Uma instalação típica de uma usina siderúrgica é mostrada na Figura 07, onde as características dos reatores controlados a tiristor são: 34 kV, 710 A e 25 MVA por fase (SHARP; WERNER; R. G. Andrei, 2002).

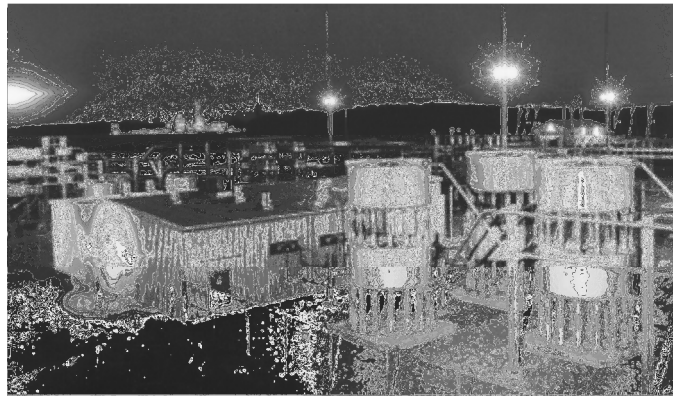


Figura 07. Reatores controlados por tiristores  
Fonte: SHARP; WERNER; R. G. Andrei, 2002

### 3.3 REATOR LIMITADOR DE CORRENTE

Reatores limitadores de corrente (RLC) são usados para reduzir os valores da corrente de curto circuito a níveis compatíveis com a capacidade dos equipamentos conectados no lado da carga do reator. Esses reatores têm hoje grande aplicação, desde os simples alimentadores de distribuição até os reatores de transmissão, ligação entre barramentos e balanceamento de carga de até 800kV e NBI de 2100kVp (SIEMENS - TRENCH, 2009).

Reatores limitadores de curto circuito são usados para controlar os níveis de curto circuito no sistema elétrico de potência, atendendo grandes complexos industriais, sistema de distribuição e até HV/EHV sistemas de transmissão.

Os RLC's são primariamente instalados para reduzir a corrente de curto circuito mecânica e térmica a níveis consistentes com os demais componentes do circuito (especialmente transformadores e disjuntores) e para reduzir as quedas de tensão súbitas nas seções das barras para níveis consistentes com os valores praticados de coordenação de isolamento. Altas correntes de falta nos sistemas de distribuição ou transmissão, se não limitados, podem causar uma falha catastrófica dos equipamentos de distribuição. (HARLOW, 2004).

Sumariamente, reatores limitadores de corrente são instalados para reduzir a magnitude das correntes de curto circuito, atingindo um ou mais objetivos dos seguintes benefícios:

- Redução do carregamento eletromecânico e stress térmico nos enrolamentos dos transformadores, deste modo estendendo a vida útil dos transformadores e equipamentos associados.
- Melhoria na estabilidade da barra primária de tensão durante o evento de uma falta em um alimentador.
- Redução da corrente de falta fase-fase para valores menores dos da corrente de falta fase-terra ou vice versa.
- Proteção dos transformadores de distribuição e todos outros equipamentos que estão conectados após o reator, e a proteção de dispositivos que atuam a partir da rápida propagação inicial de transitórios, devido a falhas na operação dos disjuntores.
- Redução da exigência de suportabilidade térmica e dinâmica dos dispositivos de comutação, tais como religadores, seccionadoras e fusíveis limitadores.
- Controle sobre as perdas em regime permanente e do fator de qualidade em qualquer frequência desejada; esta característica é particularmente importante para as redes, onde altas correntes harmônicas devem ser amortecidas sem aumentar as perdas na frequência fundamental.
- Aumento da confiabilidade do sistema.

Reatores limitadores de corrente podem ser instalados em diferentes pontos da rede de energia e, como tal, são normalmente referidos por um nome que reflete a sua localização ou aplicação. As nomenclaturas mais comuns são:

- Reatores de fase: Instalados em série com linhas de entrada ou saída ou alimentadores.
- Reatores entre barras: usado para unir duas barras de forma independente.
- Aterramento neutro: reatores instalados entre o neutro de um transformador e terra.
- Reatores para aterramento de neutro são usados para reduzir as correntes de falta para terra.
- Reatores Duplex instalados entre uma única fonte e duas barras. Reatores Duplex são reatores limitadores de corrente formados por duas bobinas enroladas em oposição. Estes reatores propiciam uma reatância baixa em condições normais e uma reatância elevada em condições de falta.

### **3.4 REATOR PARA FILTRO DE HARMÔNICOS**

Reatores para filtro de harmônicas são usados em conjunto com capacitores e às vezes resistores, formando circuitos sintonizados de correntes harmônicas. Esses reatores podem ser fornecidos com taps de indutância, anéis especiais para controle do fator de qualidade e podem ser fabricados com tolerâncias controladas.

A presença crescente de cargas não lineares e o uso generalizado de aparelhos eletrônicos de comutação em sistemas de potência industriais estão causando um aumento de harmônicos no sistema de energia. As principais fontes de harmônicos são cargas de arco industrial (fornos a arco, aparelhos de solda), conversores de energia para acionamento de motores de velocidade variável, iluminação fluorescente, cargas residenciais, tais como televisores computadores domésticos, etc.



Dispositivos eletrônicos aplicados em sistemas de transmissão de energia modernos, incluindo os sistemas de HVDC e sistemas FACTS (tais como compensadores estáticos do SVC) são fontes geradoras de grande conteúdo harmônico.

Harmônicos podem ter efeitos prejudiciais sobre os mais diversos equipamentos, como transformadores, motores, chaves seccionadoras, bancos de capacitores, fusíveis e relés de proteção. Transformadores e motores podem vivenciar um aumento das perdas e aquecimento excessivo. Capacitores podem falhar prematuramente provenientes de um maior aquecimento e aumento do stress dielétrico.

A fim de minimizar a propagação de harmônicos nas redes de distribuição de energia ou no sistema de transmissão, filtros conectados em paralelo são muitas vezes aplicados normalmente perto da origem dos harmônicos. Filtros paralelos na sua concepção são constituídos de uma indutância série (reator de filtro) e capacitância (capacitor de filtro). Se mais de uma ordem harmônica deve ser filtrada, vários conjuntos de filtros de classificação diferentes são aplicados ao mesmo barramento.

#### 4 COMPENSAÇÃO DE POTENCIA REATIVA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

É possível observar que a potência transmitida de uma linha de transmissão pode ser elevada através da compensação reativa adequada (injetada ou absorvida da linha). Existem dois modos de compensar uma linha, que constituem a base de operação de todos os métodos de compensação abrangidos pelos dispositivos FACTS:

- Compensação shunt: Como verificado, a linha sem perdas assumida, não está sempre à sua carga natural. A tensão no ponto intermédio atinge um máximo ou um mínimo, constantemente o regime de carga que lhe é imposto. Por isso, é lógico que a compensação seja feita precisamente no ponto intermédio da linha, tal como ilustrado na Figura 08.

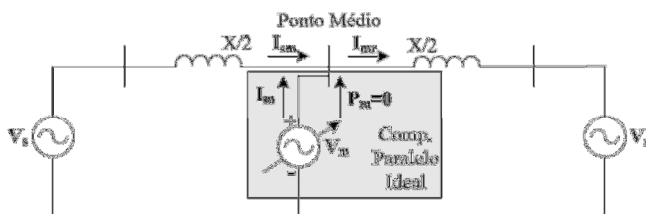


Figura 08. Modelo de uma linha de transmissão sem perdas. Fonte: FERREIRA, 2007

- Compensação série: A compensação série pretende essencialmente, anular parte da reatância indutiva da linha, ou de outro ponto de vista, aumentar a tensão aplicada à reatância da linha. Uma característica da utilização de reatores em série com a linha, é que como a potência reativa é diretamente proporcional ao quadrado da corrente na linha, existe um efeito auto-regulador. Como a potência reativa produzida aumenta com o aumento de corrente, a compensação aumenta quando a carga na linha aumenta, e diminui quando a carga na linha diminui. A Figura 09 mostra a topologia de uma compensação série ideal.

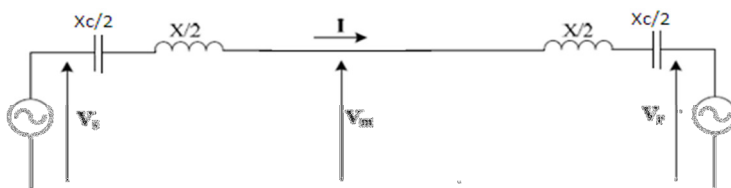


Figura 09. Modelo de uma linha sem perdas, com compensação série Fonte: FERREIRA, 2007

As primeiras soluções de compensação reativa baseavam-se na inserção dos bancos de capacitores no sistema de transmissão, cujo objetivo é fornecer potência reativa capacitiva à linha nas situações em que a carga é pesada, evitando assim que o nível de tensão na linha diminuísse; ou na inserção de reatores, cujo objetivo é absorver a potência reativa capacitiva excessiva, proveniente dos casos em que cargas leves estão conectadas ao sistema ou o mesmo encontra-se com a linha de transmissão desconectada, evitando assim sobretensões. Ambas as soluções podem ser fixas ou mecanicamente comutáveis.

As compensações série consistem em compensadores colocados em série com a linha, para anular parte da potência reativa da linha.

## 5 ESTUDO DE ALGUMAS APLICAÇÕES

### 5.1 FILTRO DE HARMÔNICOS

A Corrente harmônica está presente no sistema e gerada por equipamentos ligados ao longo da linha de transmissão. Estas componentes normalmente apresentam frequências maiores do que a frequência nominal da linha, e esse sinal é somado à onda principal trazendo como resultados distorções harmônicas. Como exemplo, uma linha de transmissão do Maranhão possui tensão nominal de 34.5kV em 60Hz e correntes harmônicas na frequência de 756Hz. Abaixo, será feita a memória de cálculo do circuito filtro.

Inicialmente, se é desejado eliminar um determinado sinal da frequência fundamental, sabe-se que deve ser utilizado um filtro rejeita faixa, conforme mostrado na Figura 10.

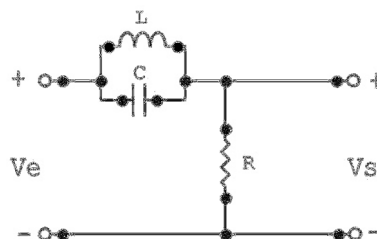


Figura 10. Filtro LC Paralelo Fonte: Resposta em Frequência – Filtros Passivos PG. 69 - CEFET/SC

Sabe-se que a frequência de corte desse filtro é:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C}$$

Sabe-se que o banco de capacitores havia sido dimensionado com  $10.68\mu\text{F}$  e que a frequência de sintonia do filtro era de  $756\text{Hz}$ . Logo:

$$L = \frac{1}{(2\pi \cdot 756)^2 \cdot 10,68 \times 10^{-6}}$$

$$L = 4,157 \text{ mH}$$

A eficiência do filtro é mostrada na simulação abaixo (Figuras 11 e 12)

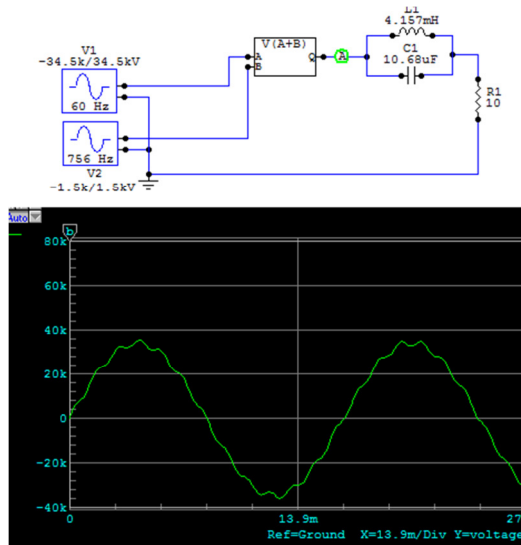


Figura 11. Circuito e Forma de Onda antes do Filtro

Fonte: AUTORES, 2014

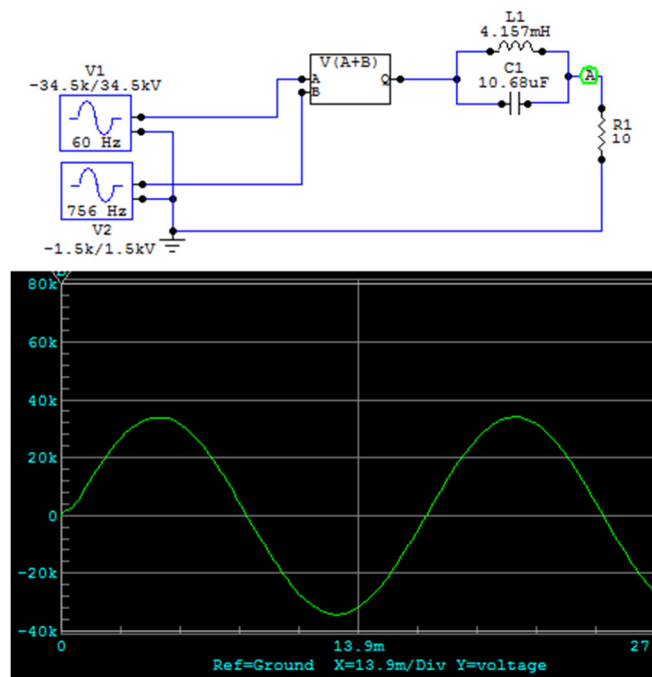


Figura 12 Circuito e Forma de Onda depois do Filtro

Fonte: AUTORES, 2014

## 6 CONCLUSÃO

O fornecimento da energia elétrica de qualidade deve ser sempre o foco dos operadores do Sistema Elétrico de Potência. É de suma importância que os operadores tenham conhecimento de todas as alternativas que possam ser utilizadas para que a qualidade da energia fornecida aos consumidores seja cada vez maior e de alta confiabilidade. Devido à construção de linhas de transmissão em longas distâncias, ou linhas onde as cargas conectadas não proporcionam um equilíbrio reativo durante todo o tempo, técnicas mais eficazes e com impactos econômicos menos significativos devem ser implementadas com o objetivo de manter uma linearidade nos níveis de tensão do sistema, aumentar a confiabilidade e a segurança durante a transmissão de energia elétrica entre os pontos de geração e consumo e minimizar a transferência de custos para o consumidor final.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, o destaque maior foi à aplicação dos reatores para resolver problemas no SEP. Dentre suas inúmeras aplicações, a sua compatibilidade, eficiência e baixo custo no cenário da compensação reativa de linhas de transmissão são destacadas. Percebe-se também que a simplicidade da forma construtiva e inquestionável eficiência do reator a seco faz com que sejam raros os casos em que os reatores com núcleo de ferro imerso a óleo sejam mais recomendados.

Para que haja desenvolvimento, é necessário o investimento. O Brasil possui várias fontes de geração de energia elétrica que podem suprir toda a demanda colocada pelo mercado, possibilitando até mesmo a comercialização de energia com países vizinhos. Para tanto, é necessário um sistema de transmissão eficaz, gerando pouca manutenção, baixos níveis de perdas, maior estabilidade e alta capacidade de transmissão. A capacitância das linhas de transmissão é um fenômeno natural e o período de demanda de energia elétrica continuará ocorrendo de forma descontínua (grande demanda durante o dia e baixa demanda a partir das 21 horas). A utilização de reatores é uma solução simples para os tipos de problemas citados, possibilitando ainda a utilização de alternativas que requerem baixo investimento financeiro e mesma eficácia.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5119: Reator para Sistemas de Potência – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7569: Reator para Sistemas de Potência – Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8119: Bobina de Bloqueio – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.
- BALET, W. J.; WEBB, R. L., Reactive Power Control in a Metro System. Spectrum, IEEE, New York, v. 3, n. 9, p. 141-144, set./1966.
- FERREIRA, José Miguel T. C. C. Projeto e Simulação de um Controlador FACTS para Maximização da Controlabilidade e Capacidade de Transmissão do Sistema Elétrico de Transmissão de Potência. 2007. Dissertação (Mestrando em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- HARLOW, James H., Electric Power Transformer Engineering. In: HARLOW, James H. Reactors of Electric Power Transformer Engineering. Alabama: CRC Press LCC, 2004. Cap. 2, p. 205-244.
- HINGORANI, N. G., FACTS Technology – State of the Art, Current Challenges and the Future Prospects. Power Engineering Society General Meeting, IEEE. Tampa, p. 1-4, jun./2007.
- SHARP, Michael; WERNER, J. C.; ANDREI, R. G., A Novel Air-Core Reactor Design To Limit The Loading Of A High Voltage Interconnection Transformer Bank. Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE. v. 1, p. 494-499, jul./2002.
- SANTOS, Milana. Avaliação do desempenho de linhas de transmissão de energia elétrica de meia onda, p. 6, set./2010.
- CHAVES, Fabrício Silveira. Avaliação Técnica do Desempenho da Compensação Reativa Shunt Capacitiva Aplicada à Expansão de Sistemas Elétricos, p.7, 2007.
- JESUS, Keliene Maria Sousa. Uma Contribuição ao Estudo Eletromagnético de um Reator. Elétrico Trifásico, p. 6, fev. /2005.
- NOGUEIRA, Murilo Magalhães. Análise Técnico-econômica do Uso de Reatores para Limitação do Nível de Curto-Circuito Trifásico no Sistema Distribuidor 13,8 Kv Da Light, p. 2, out. /1999.
- Institute of Electrical and Electronic Engineers. C37.109: Guide for the Protection of Shunt Reactors. Washington: IEEE, 2006.
- Institute of Electrical and Electronic Engineers. C57.16: Standard Requirements, Terminology, and Test Code for Dry-Type Air-Core Series-Connected Reactors. Washington: IEEE, 2011.
- Institute of Electrical and Electronic Engineers. C57.21: Standard Requirements, Terminology, and Test Code for Shunt Reactors Rated Over 500 kVA. Washington: IEEE, 2008.
- Institute of Electrical and Electronic Engineers. C93.3: Requirements for Power-Line Carrier Line Traps. Washington: IEEE, 1995.