

Alexandre Arcon, M.Sc.
Gerente Eng. Subest.
ABB
PSS - Subestações



Soluções para Qualidade e Eficiência em Transmissão de Energia

ABINEE TEC 2007

Abril, 2007



Sumário



- Introdução: Qualidade e eficiência em transmissão de energia
- Filtros de Harmônicas
- Compensação Série (SC, TCSC)
- Compensação Shunt (SVC)
- Projetos



Qualidade da energia elétrica

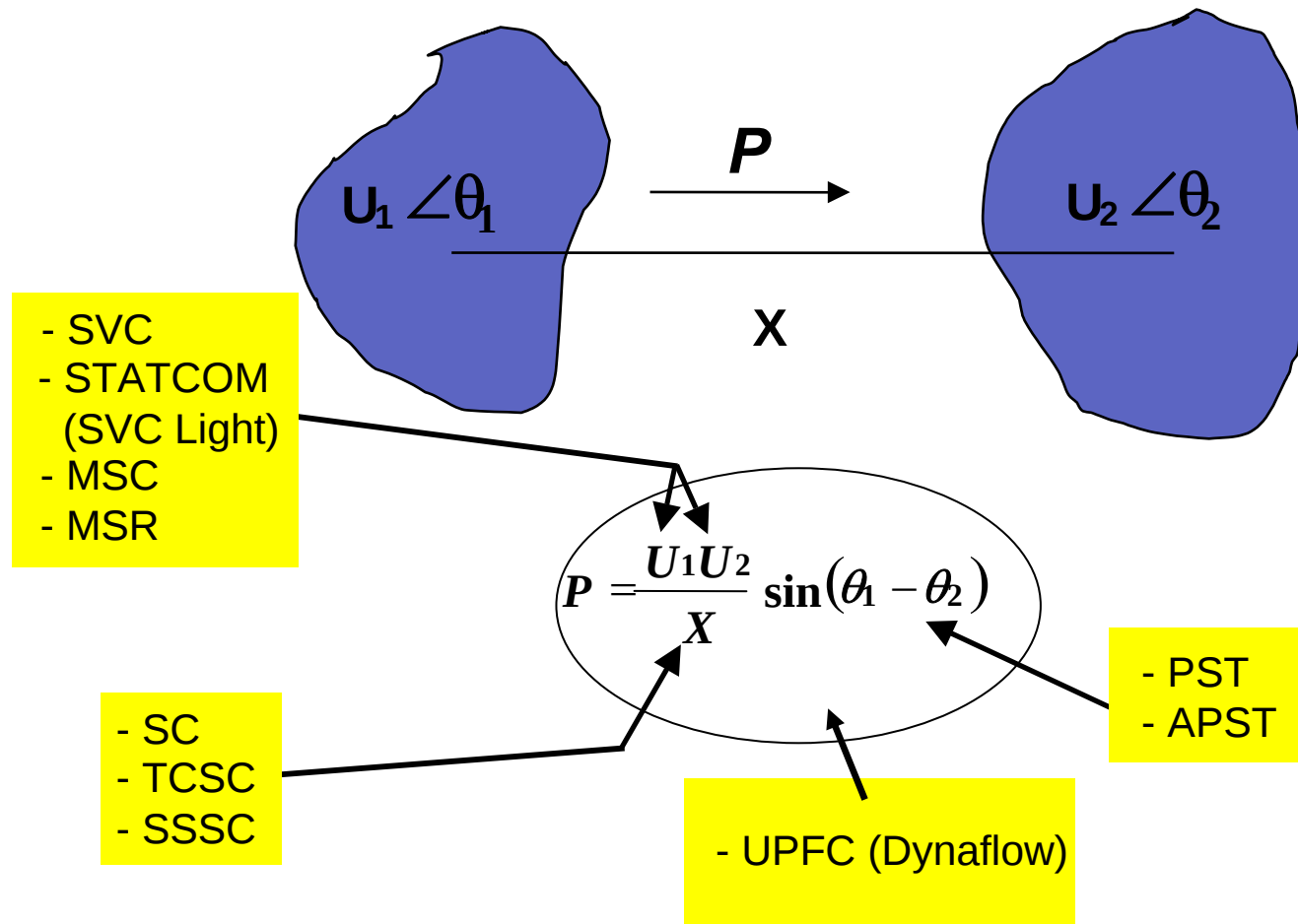
Fenômenos que interferem na qualidade de energia: ocorrências que levem a discrepâncias na tensão, corrente ou frequência da rede considerada em relação aos valores especificados.

- Transitórios (impulsivos e oscilatórios)
- Variações de curta duração (instantâneas, momentâneas e temporárias)
- Variações de longa duração (interrupções sustentadas, sub tensões e sobretensões)
- Desequilíbrio de tensão
- Distorção da onda de tensão (componente cc, harmônicas, interharmônicas, notching e ruídos)
- Cintilação de tensão
- Variação de frequência



Qualidade e eficiência na Transmissão

Equipamentos para compensação reativa



Os dispositivos FACTS podem controlar U_1 , U_2 , X y $\theta_1 - \theta_2$

FACTS - Flexible AC Transmission Systems

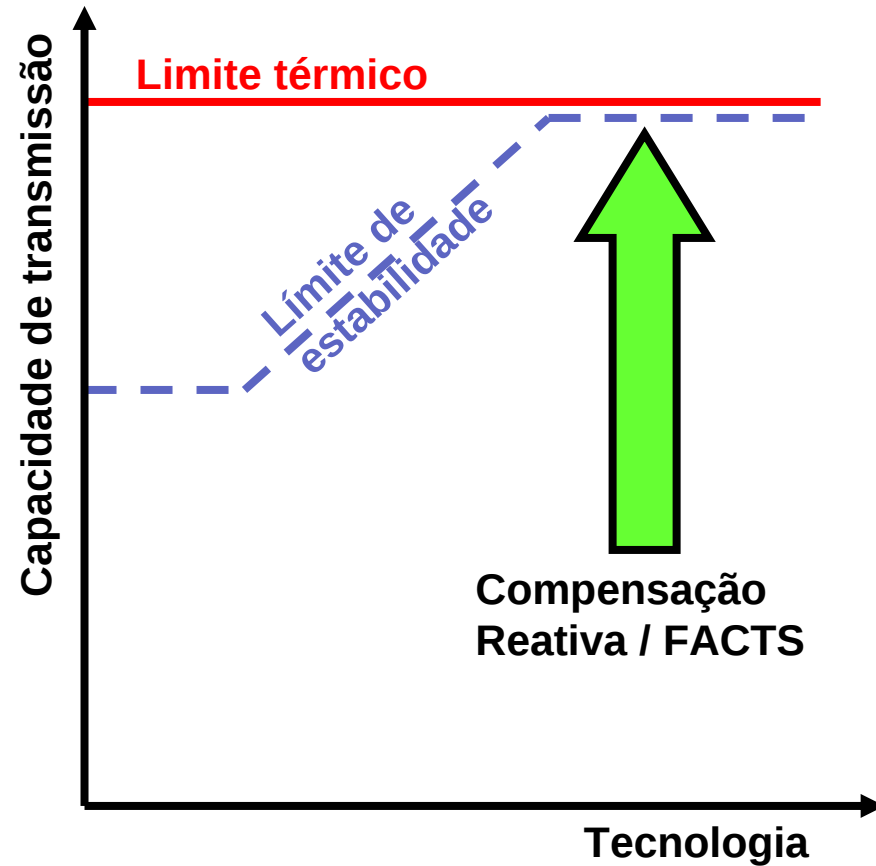
Sistemas Flexíveis de Transmissão em CA

Sistemas sofisticados com tecnologia de ponta
destinados a obter :

**Transmissão de potência em condições ótimas,
com máxima qualidade e eficiência**



A idéia é: otimização da infra-estrutura existente



Compensação Shunt

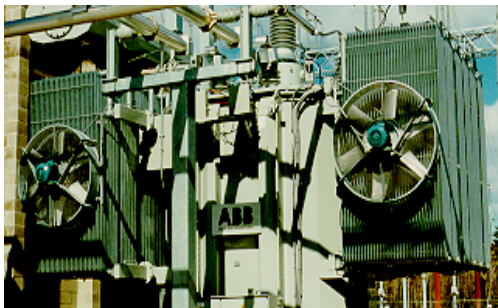
- Bancos / Filtros
- SVC (desde 1972)
- SVC Light (desde 1997)



Compensação Série

- Fixa (desde 1950)
- Controlável (desde 1997)

Componentes chaves



TRANSFORMADORES



CAPACITORES



CONVERSORES



VARISTORES



DISJUNTORES



SISTEMAS DE C&P



CENTELHADORES



MEDIÇÃO



ENSAIOS

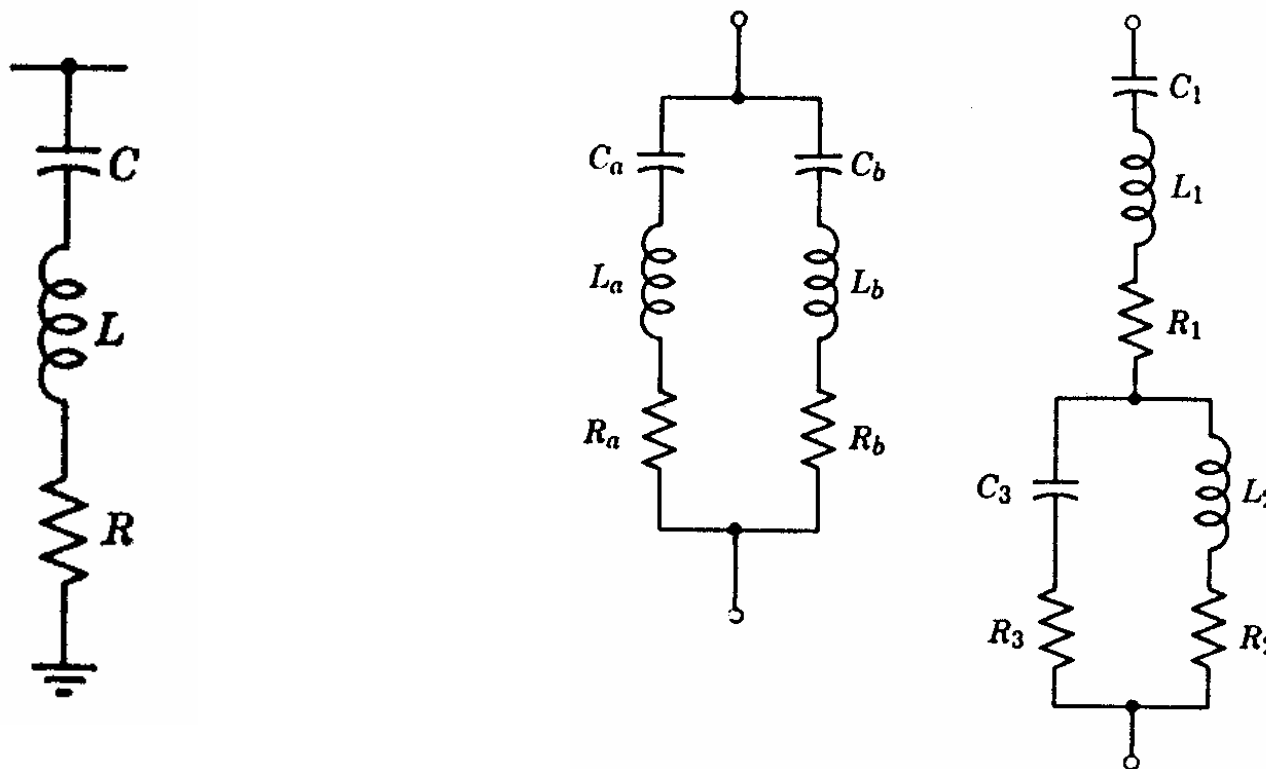
Sumário



- Introdução: Qualidade e eficiência em transmissão de energia
- Filtros de Harmônicas
- Compensação Série (SC, TCSC)
- Compensação Shunt (SVC)
- Projetos

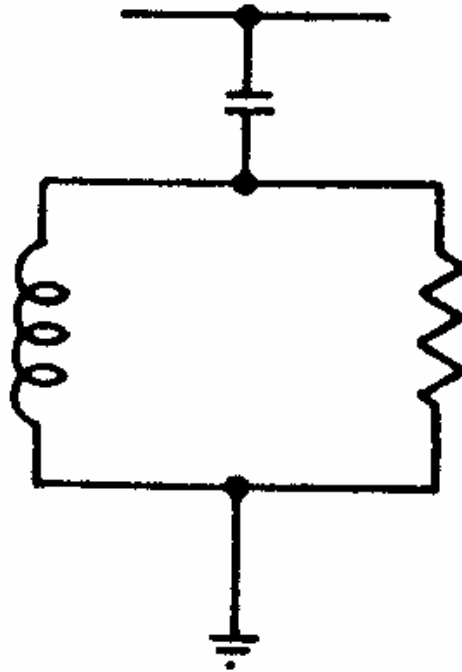


Filtros de harmônicas passivos - sintonizado



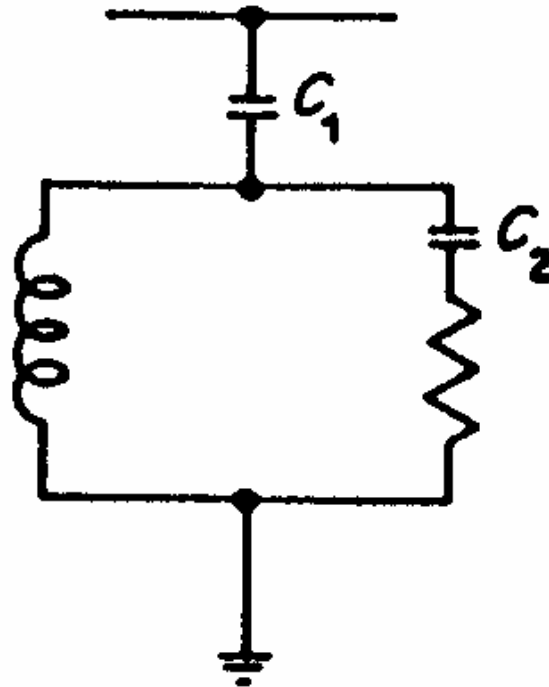
- Os filtros sintonizados são os mais utilizados comercialmente;
- Possuem baixa impedância na frequência de sintonia, portanto são os mais seletivos para a eliminação de uma harmônica específica.

Filtros de harmônicas passivos – amortecido de 2ª ordem



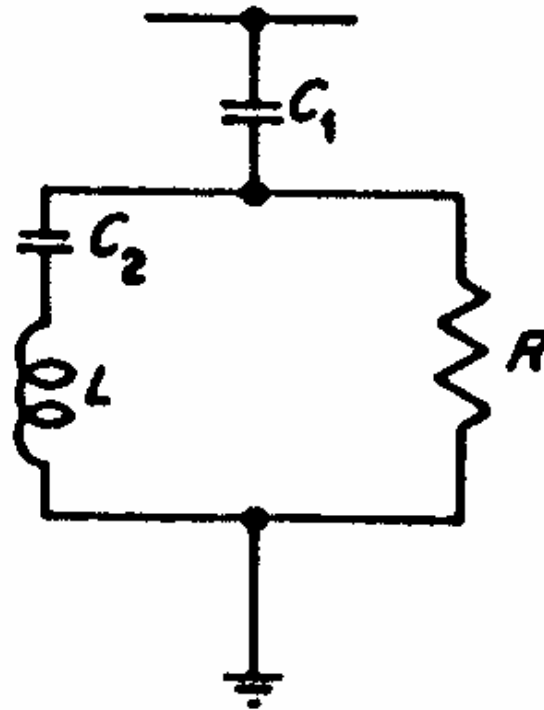
- Os filtros amortecidos de 2ª ordem são bastante utilizados comercialmente;
- Aumentam o amortecimento do circuito;
- Utilizados como passa-altas.

Filtros de harmônicas passivos – amortecido de 3ª ordem



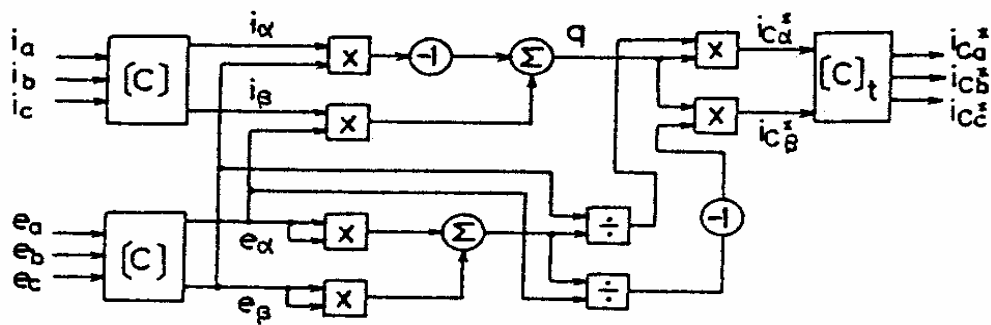
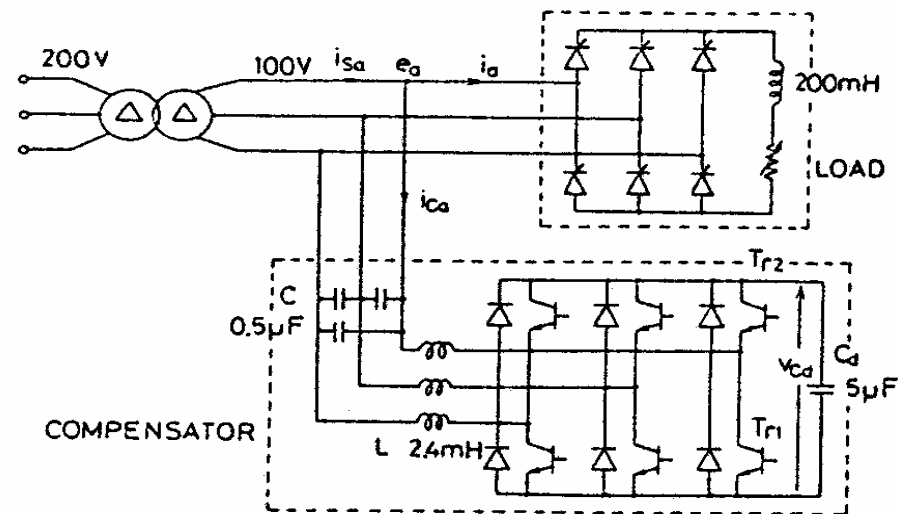
- Os filtros amortecidos de 3a ordem são pouco utilizados;
- Possuem menos perdas do que os filtros de 2a ordem.

Filtros de harmônicas passivos – amortecido tipo C



- Têm sido utilizados com certa frequência nas instalações industriais;
- Possuem as menores perdas entre os filtros amortecidos.

Filtros de harmônicas ativos



$$[C] = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix}$$

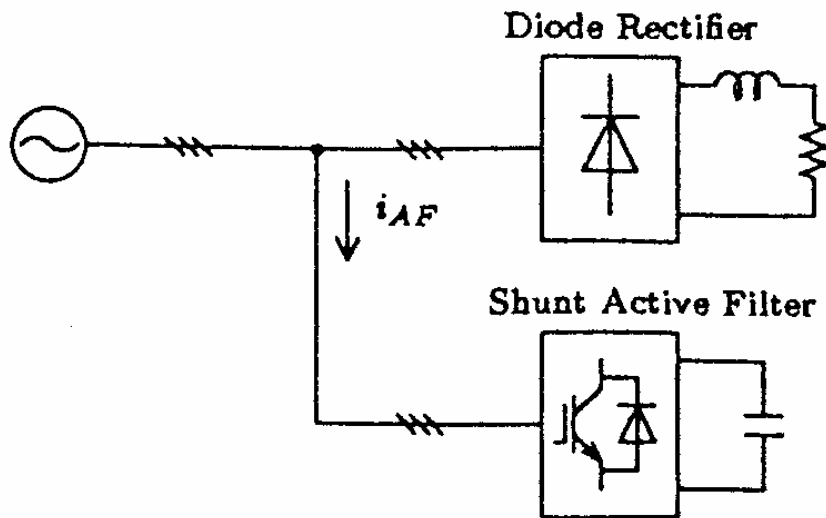


Filtros de harmônicas ativos

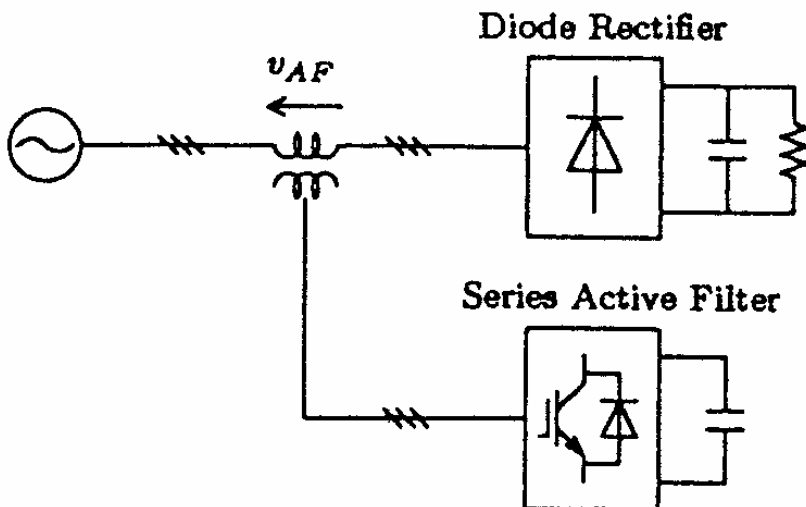
- Filtro ativo shunt;
- Filtro ativo série;
- Filtro ativo shunt e série integrados;
- Filtro ativo shunt em paralelo com filtro passivo shunt;
- Filtro ativo série em paralelo com filtro passivo shunt;
- Filtro ativo série em série com filtro passivo shunt.



Filtros de harmônicas ativos

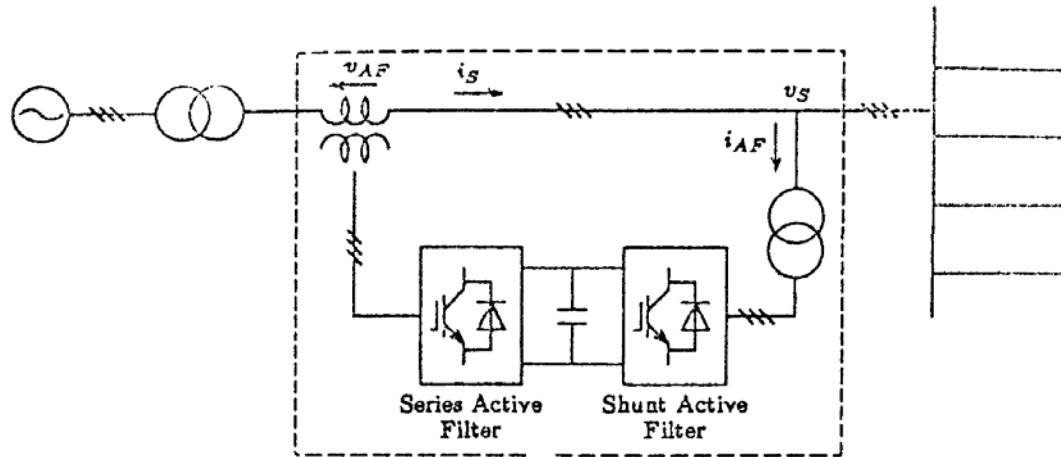


Filtro ativo shunt

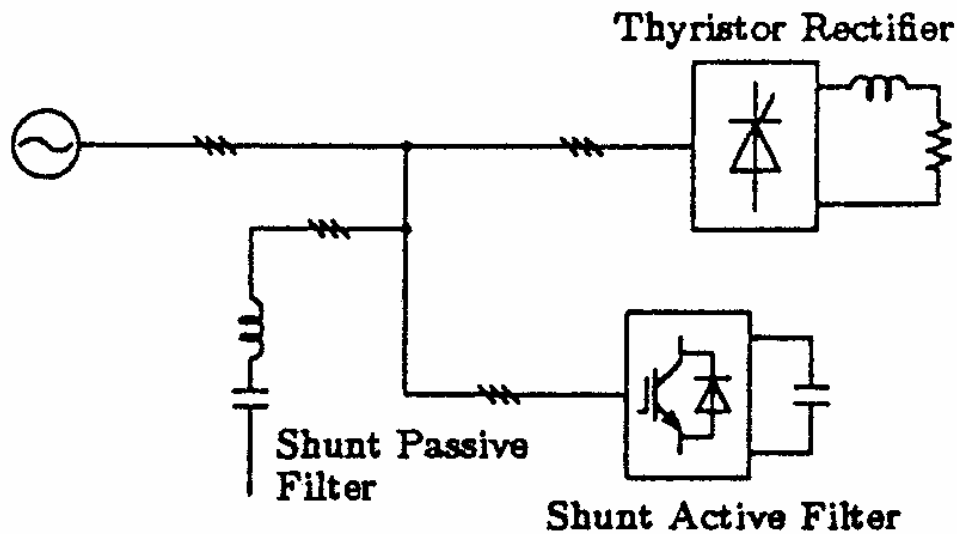


Filtro ativo série

Filtros de harmônicas ativos

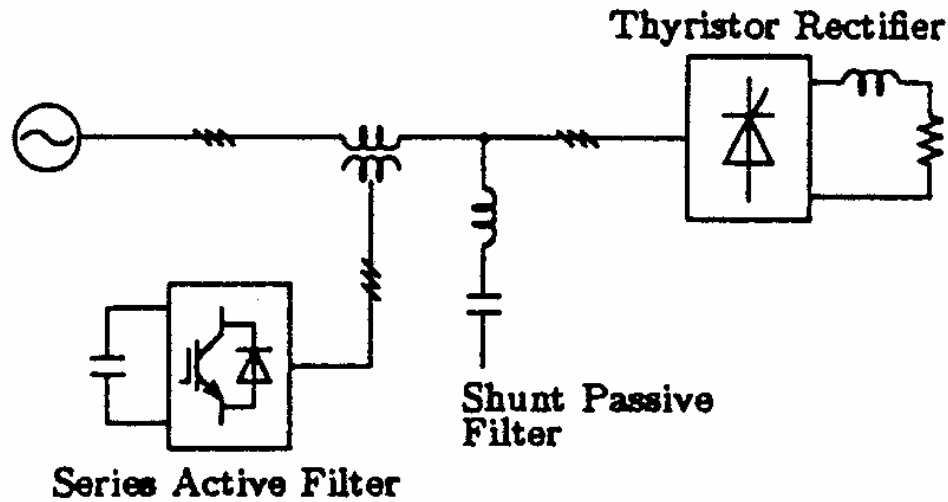


Filtro ativo shunt e série

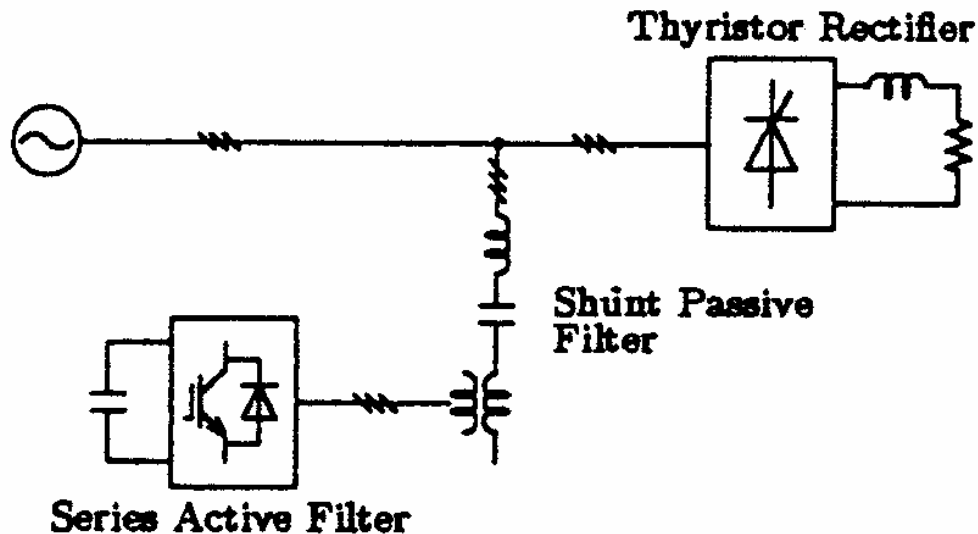


Filtro ativo shunt em paralelo com filtro passivo shunt

Filtros de harmônicas híbridos



Filtro ativo série em paralelo com filtro passivo shunt



Filtro ativo série em série com filtro passivo shunt

Sumário



- Introdução: Qualidade e eficiência em transmissão de energia
- Filtros de Harmônicas
- Compensação Série (SC, TCSC)
- Compensação Shunt (SVC)
- Projetos

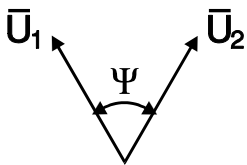
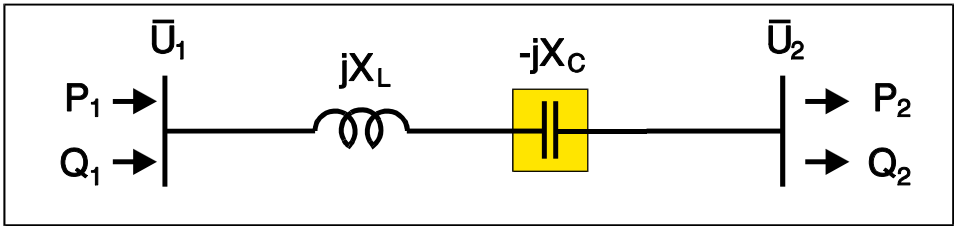


Vantagens da Compensação Série

- Melhoria da qualidade e eficiência da transmissão
- Custos de transmissão mais baixos devido à necessidade de menos linhas
- Aumento da capacidade de transmissão através do aumento do limite de estabilidade transitória
- Repartição da carga ativa entre linhas em paralelo e redução de perdas
- Regulação de tensão em regime permanente e aumento do limite de colapso de tensão
- Melhora do balanço de potência reativa



Estabilidade Transitória

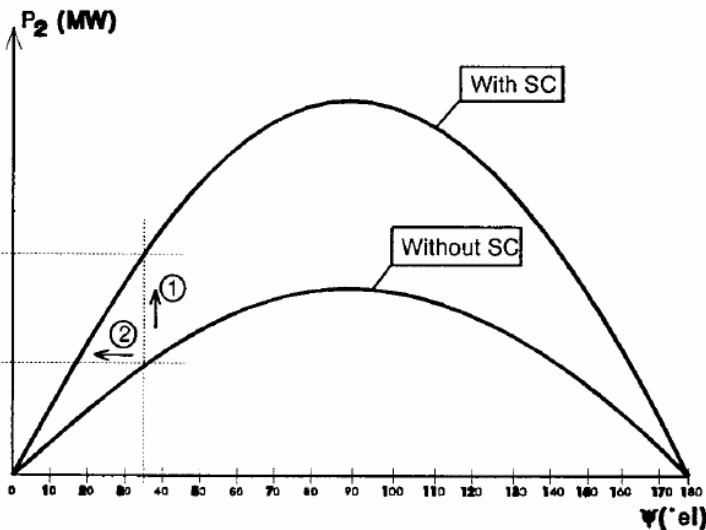


Transferência de potência
sem Compensação Série

Transferência de potência
com Compensação Série

$$P_2 = \frac{U_1}{X_L} U_2 \sin \Psi$$

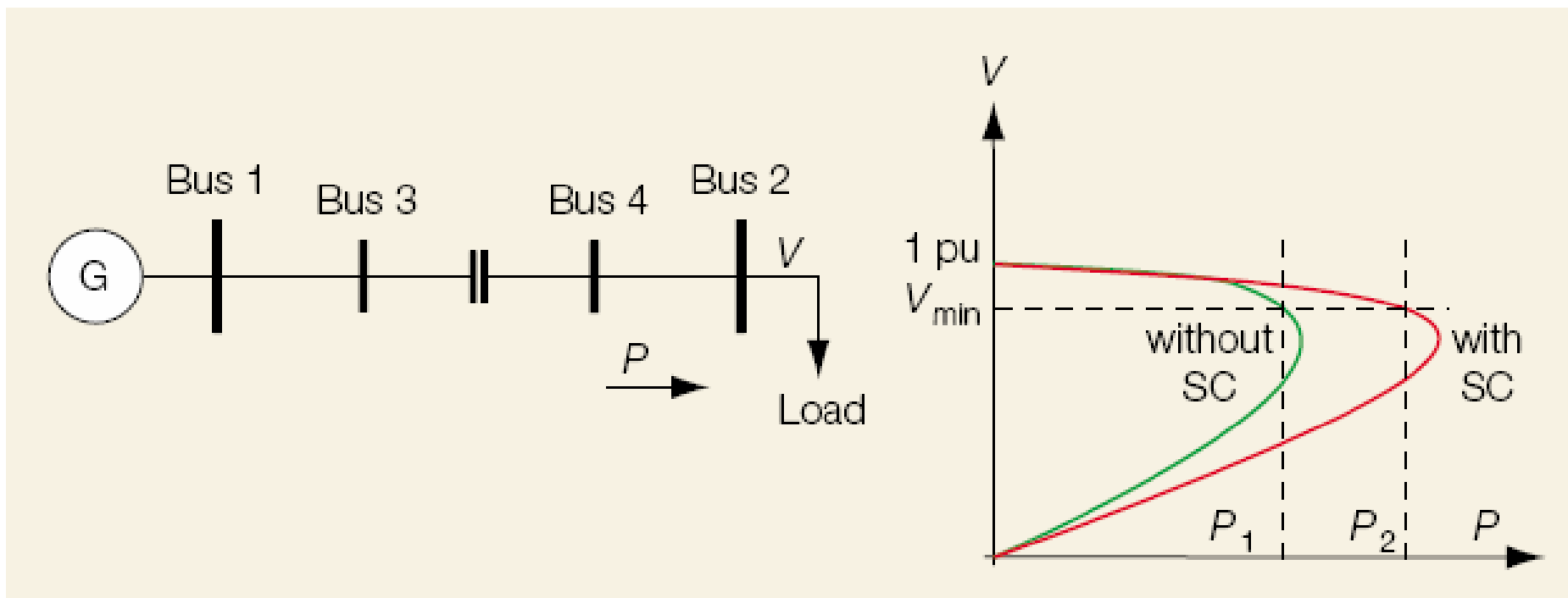
$$P_2 = \frac{U_1}{X_L - X_C} U_2 \sin \Psi = \frac{U_1}{X_L(1-k)} U_2 \sin \Psi$$



Grau de compensação: $k = \frac{X_C}{X_L}$

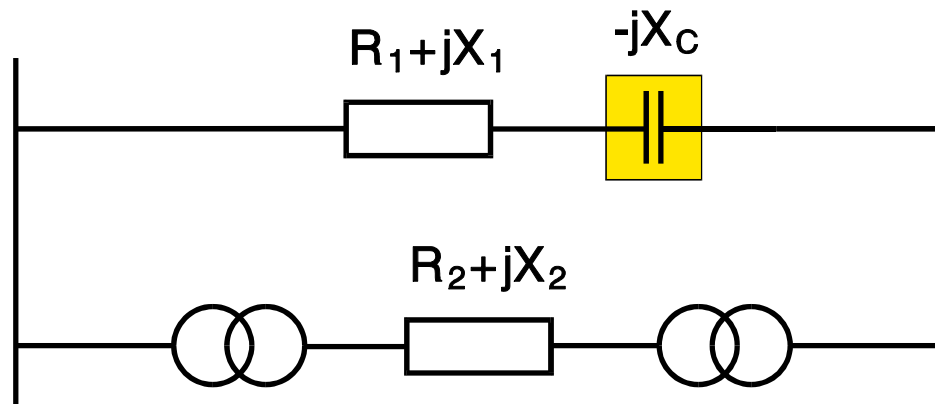


Estabilidade de Tensão



Balanço de potência entre dois circuitos

- Melhora da capacidade de transmissão
- Otimização de perdas



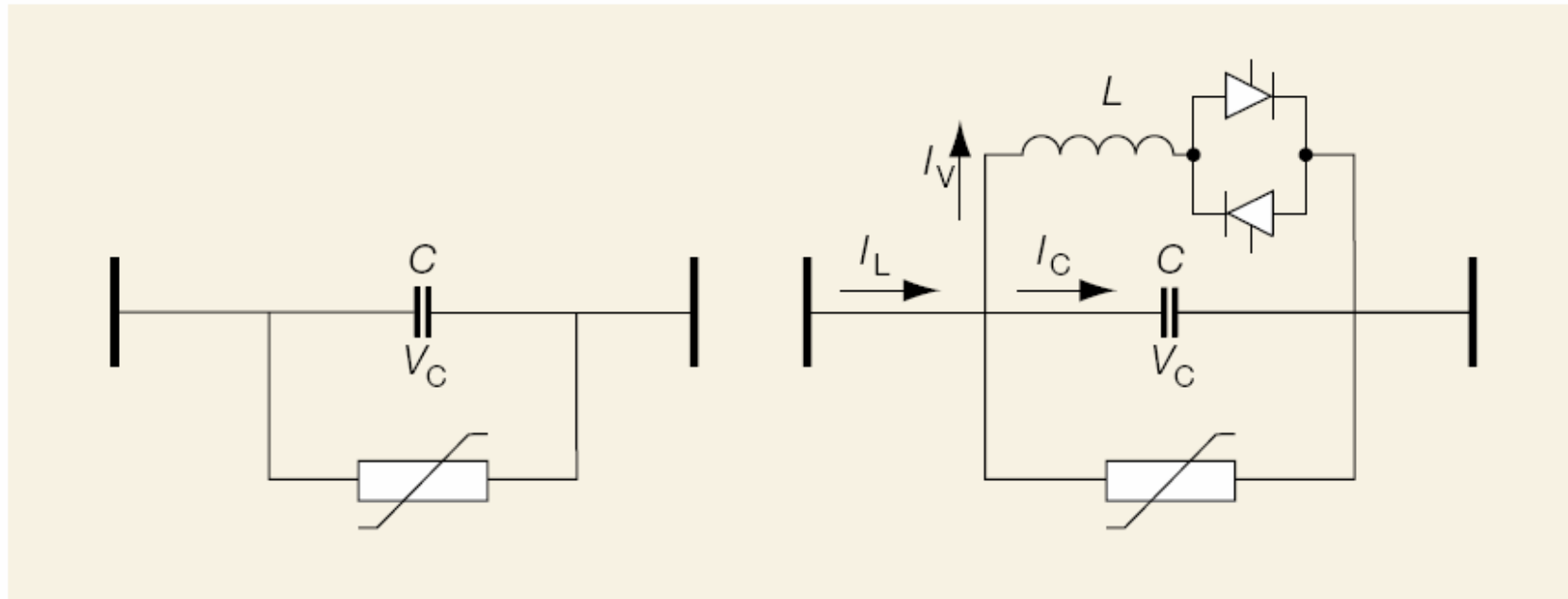
Otimização de perdas:

$$\frac{X_1 - X_c}{X_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Tipos de compensação série

C Series capacitor
 L Parallel inductor
 I_C Capacitor current

I_V Valve current
 I_L Line current
 V_C Capacitor voltage



SC (Series capacitor)

TCSC (Thyristor-controlled series capacitor)

Sumário



- Introdução: Qualidade e eficiência em transmissão de energia
- Filtros de Harmônicas
- Compensação Série (SC, TCSC)
- Compensação Shunt (SVC)
- Projetos



Benefícios do SVC

■ Estabilização da tensão dinâmica:

- Aumento da capacidade de transferência de potência
- Redução da variação de tensão

■ Melhora da estabilidade síncrona:

- Aumento da estabilidade em regime transitório
- Melhor amortecimento do sistema de transmissão de energia

■ Equilíbrio dinâmico da carga

- Compensação de potência reativa de cargas com variações rápidas

■ Suporte da tensão em regime permanente

- Redução das perdas de transferência

$$P_{perdas} = R * I^2$$

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{U}$$

$$P_{perdas} = \frac{R * (P^2 + Q^2)}{U^2}$$



Onde é necessário um SVC?

- **Centros de carga importantes**

Para reduzir o efeito das perturbações da rede sobre cargas sensíveis.

- **Subestações críticas**

Para impedir afundamentos de tensão causados por oscilações de potência ativa e sub ou sobretensões temporárias. Suporte reativo.

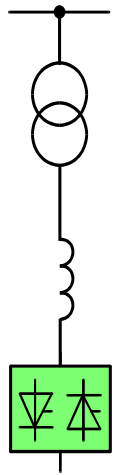
- **Grandes cargas industriais / tração**

Para evitar desequilíbrios, flicker

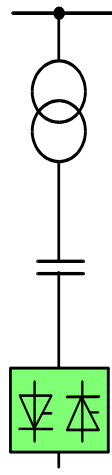


Compensador estático (SVC)

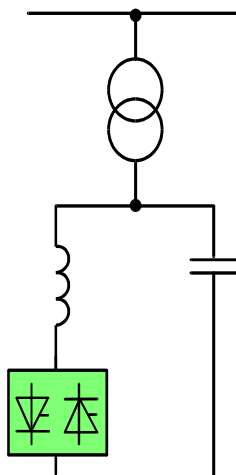
- Reator controlado / comutado por tiristores
- Capacitor comutado por tiristores
- Filtros de harmônicas
- Reator comutado por tiristores
- Capacitor fixo ou comutado por disjuntor



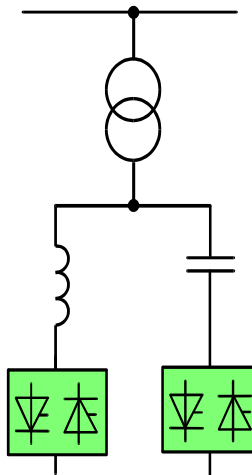
TCR
TSR



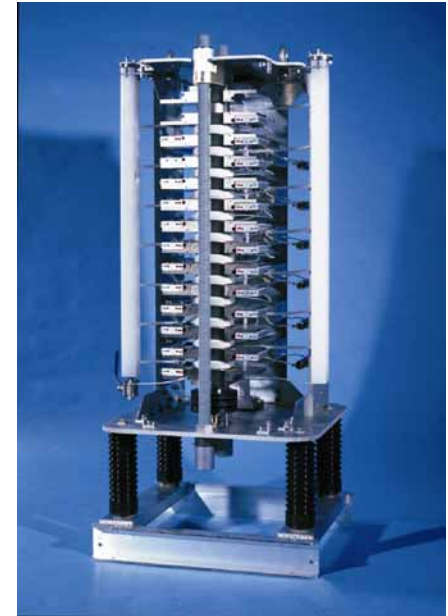
TSC



TCR/FC

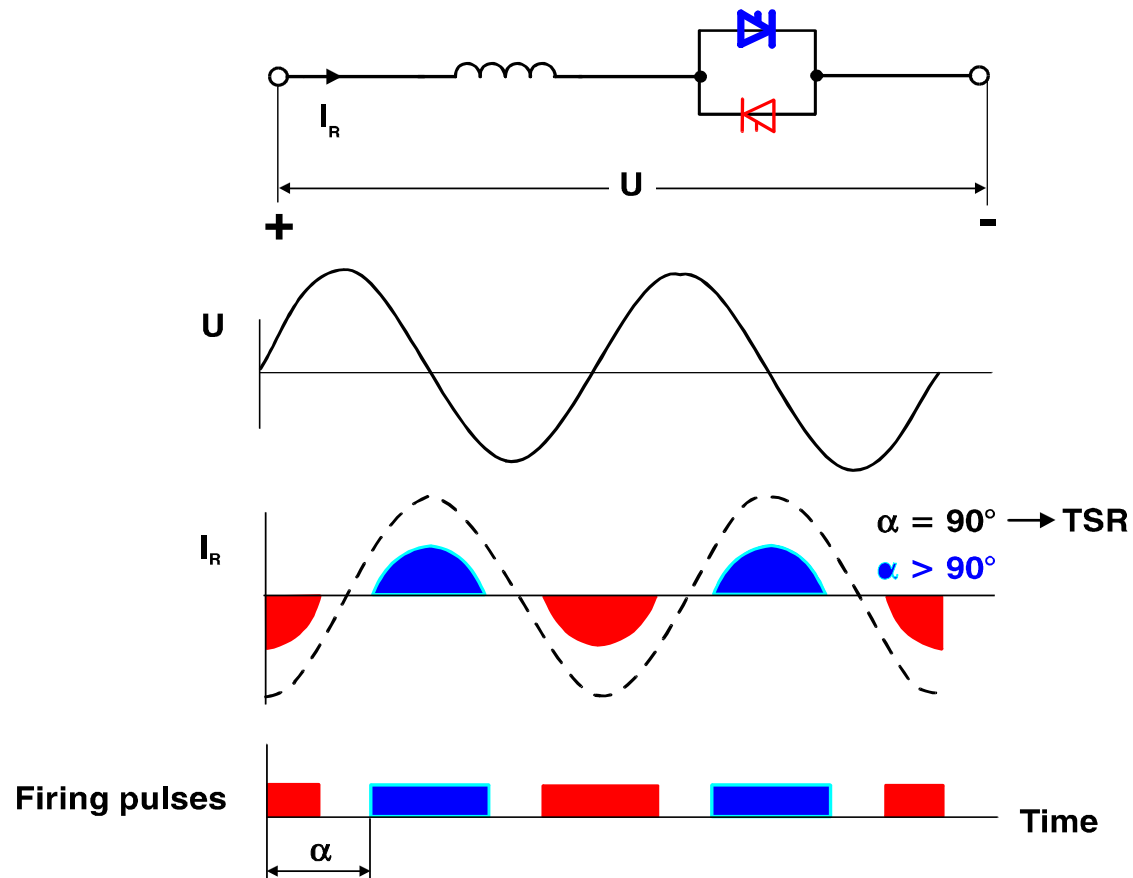


TCR/TSC

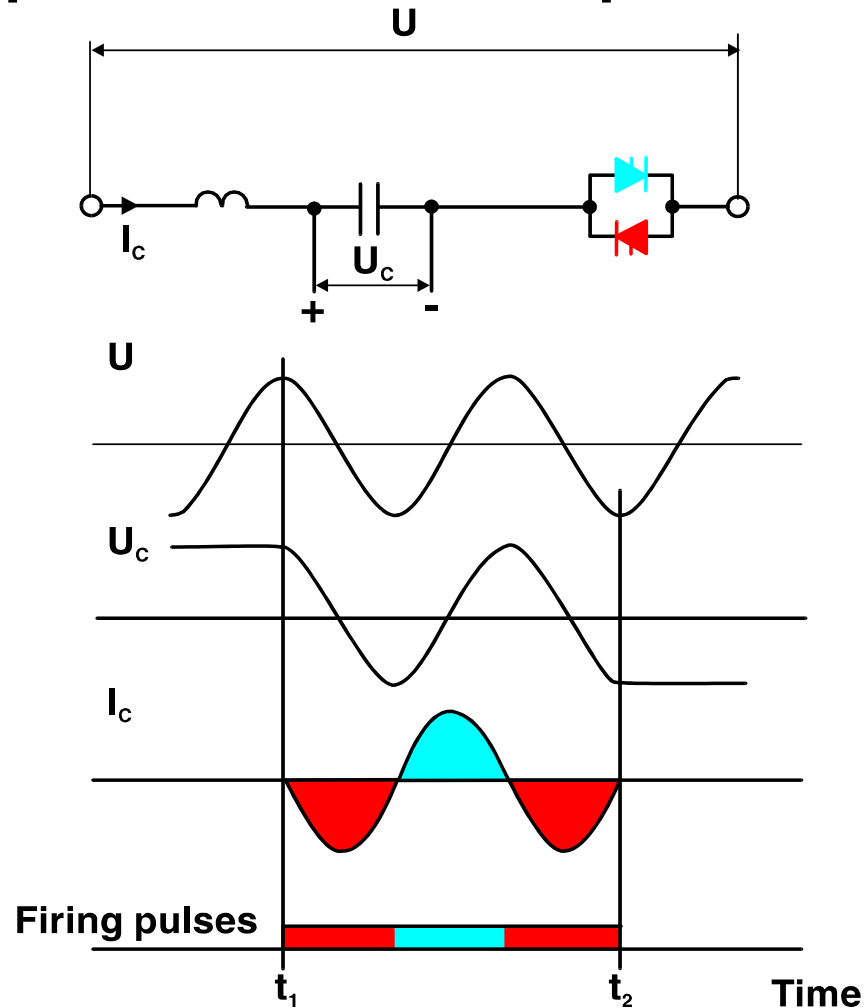


Válvula BCT

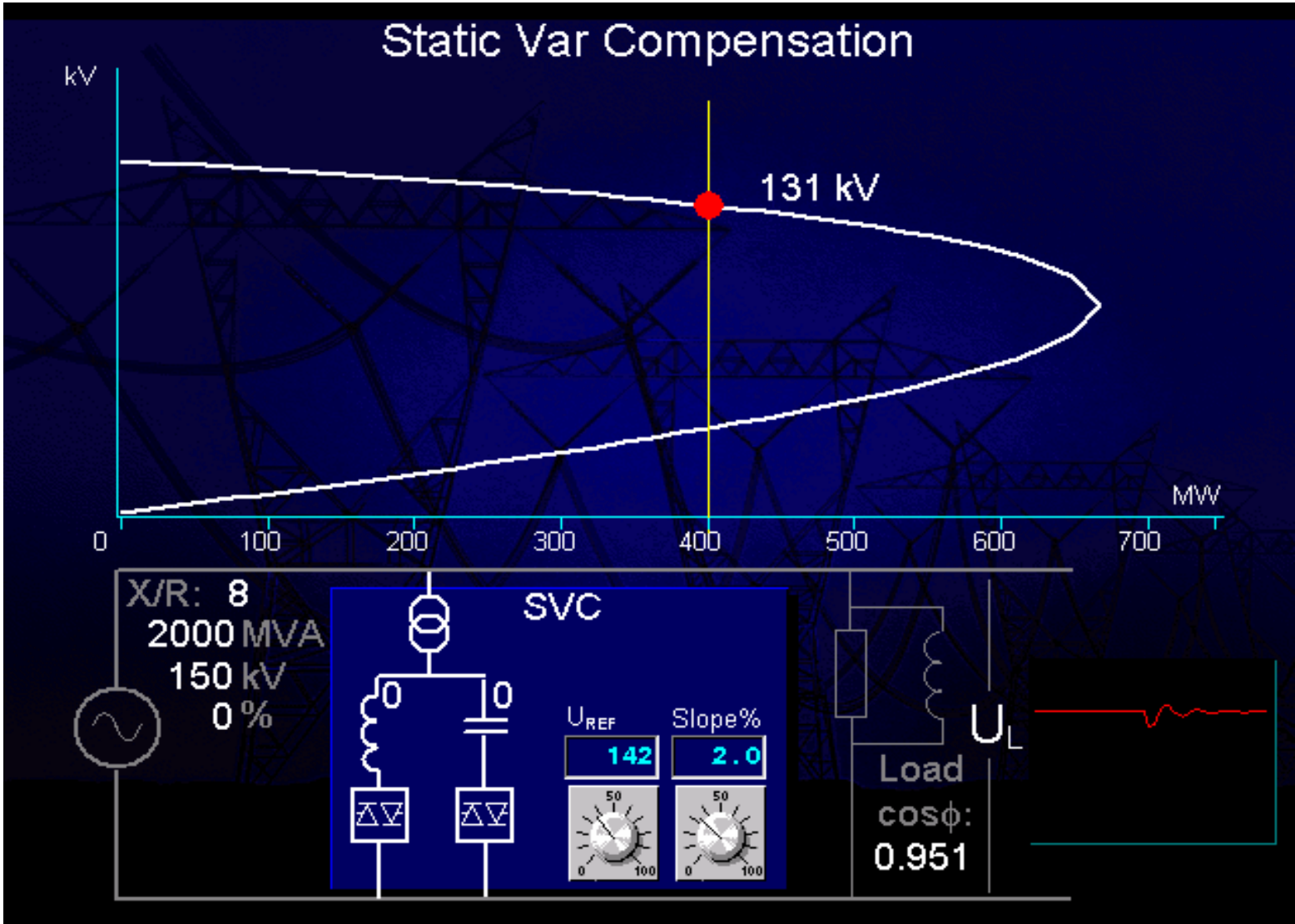
Reator controlado por tiristores



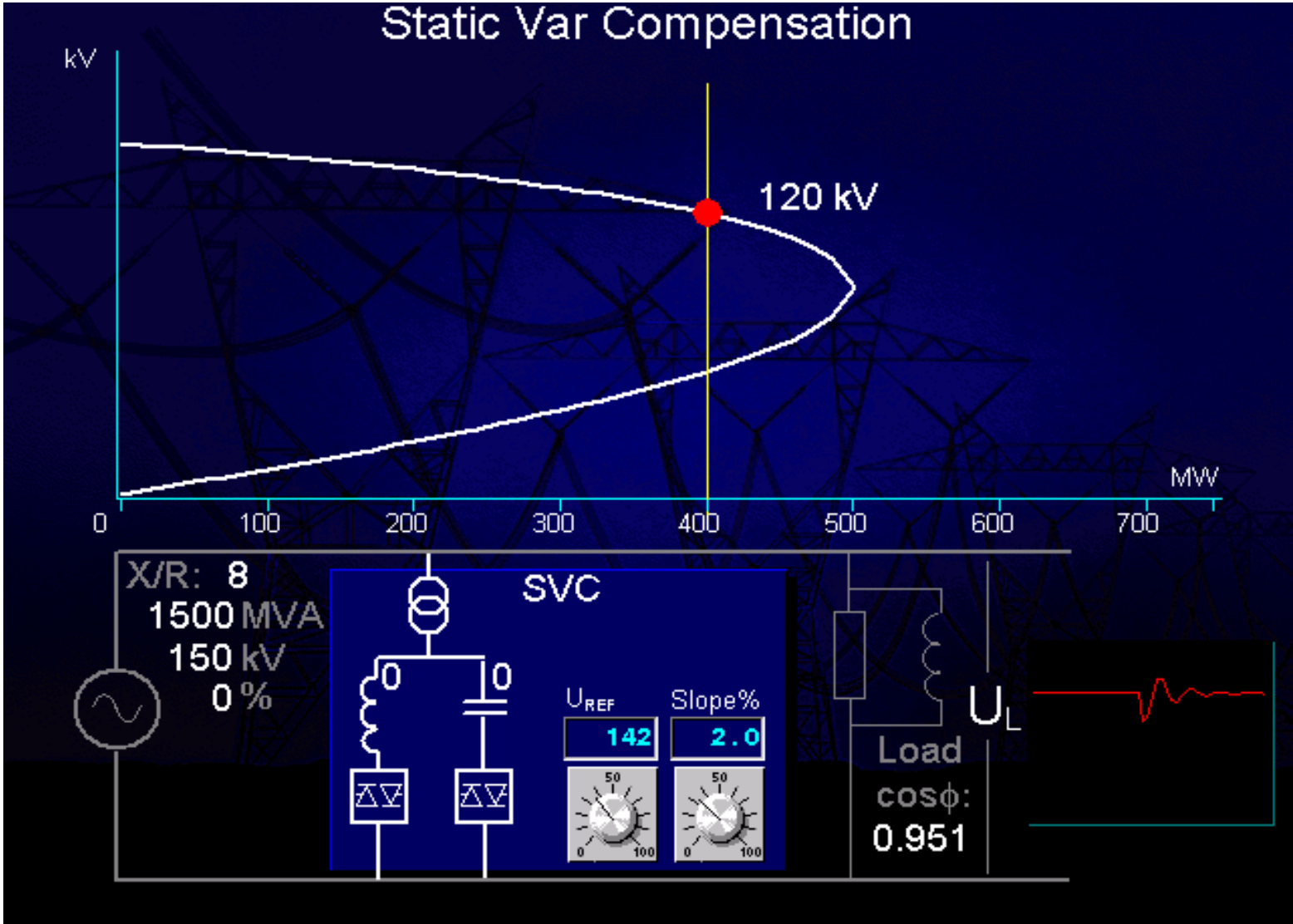
Capacitor conmutado por tiristores



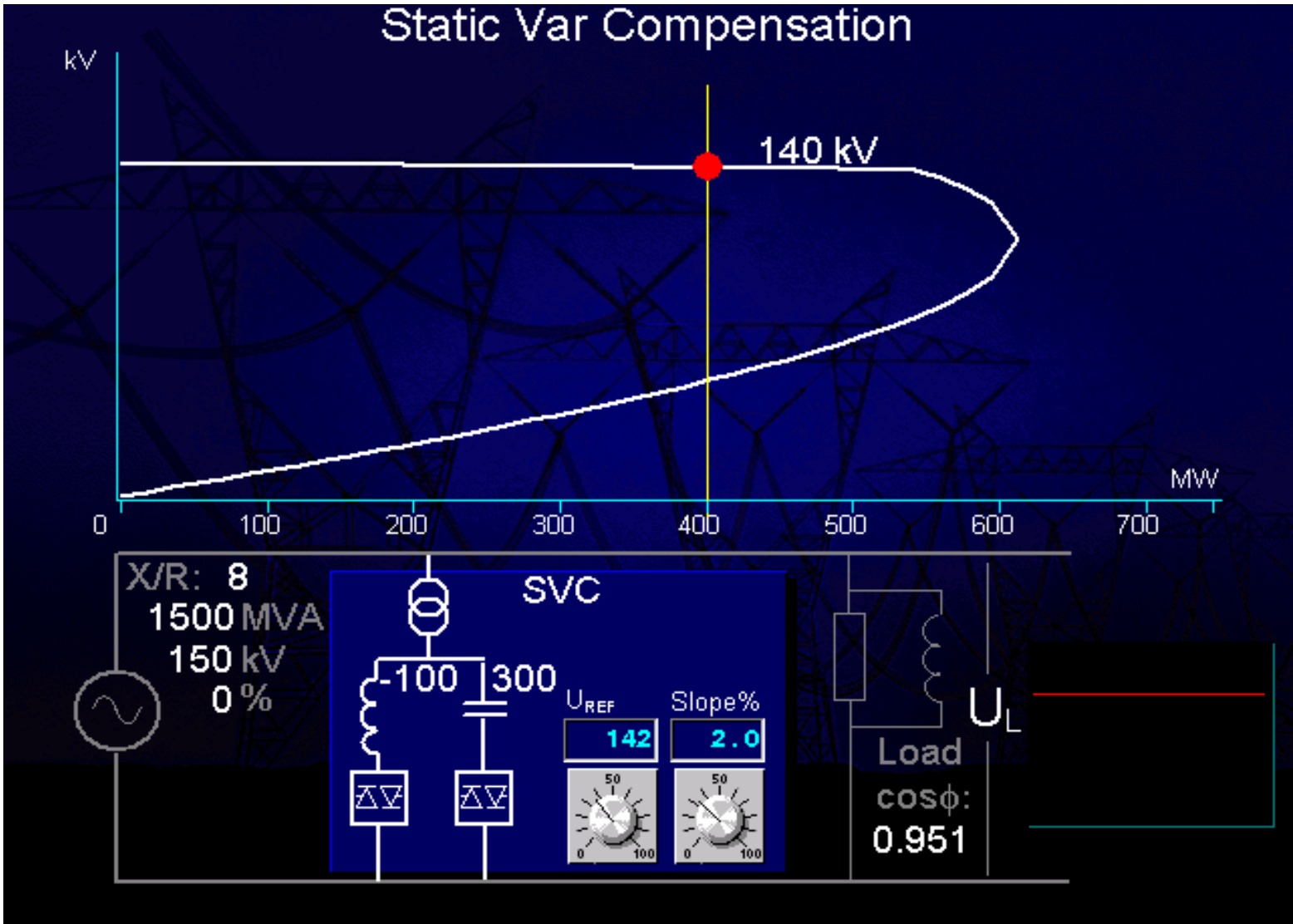
Ex.: Limitação da transmissão



Com potência de curto reduzida



Com compensação dinâmica



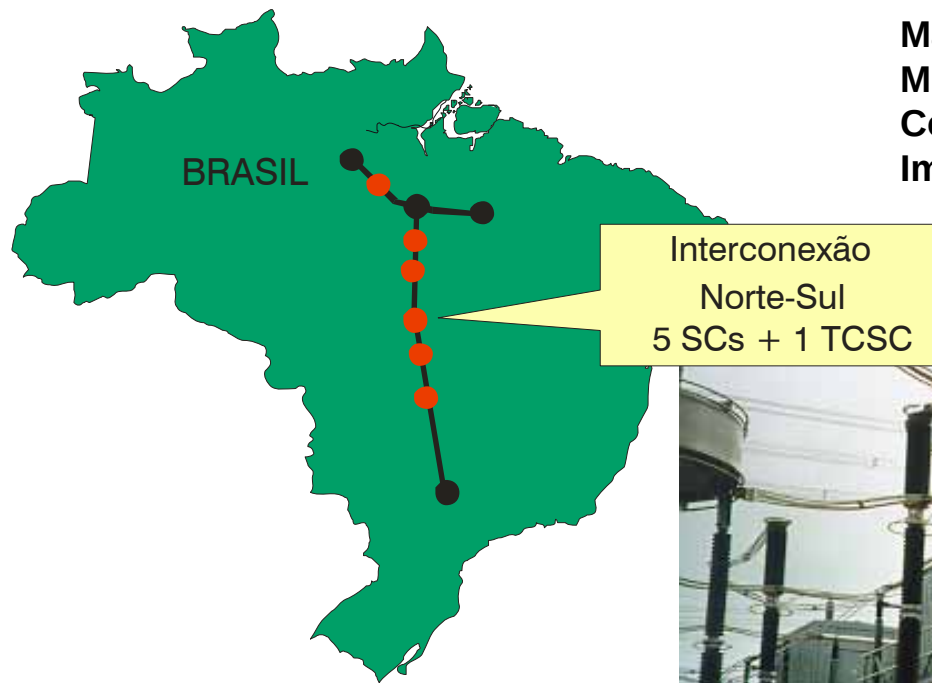
Sumário



- Introdução: Qualidade e eficiência em transmissão de energia
- Compensação Série (SC, TCSC)
- Compensação Shunt (SVC)
- Projetos

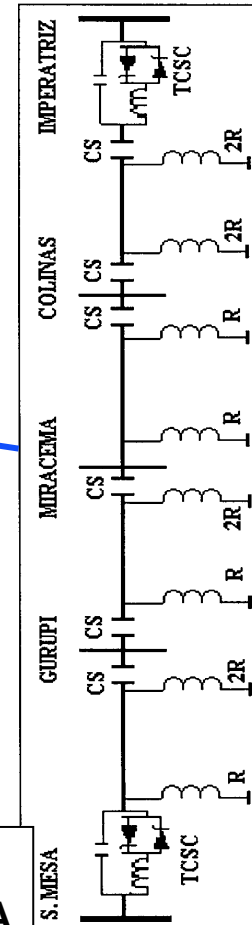


Interconexão Norte-Sul, Brasil



<u>Subestação</u>	<u>Potência</u>	<u>Tensão</u>
Maraba	1x348 Mvar SC	500 kV
Miracena	1x161 Mvar SC	500 kV
Colinas	2x161 Mvar SC	500 kV
Imperatriz	1x161 Mvar SC	500 kV
	1x107 Mvar TCSC	500 kV





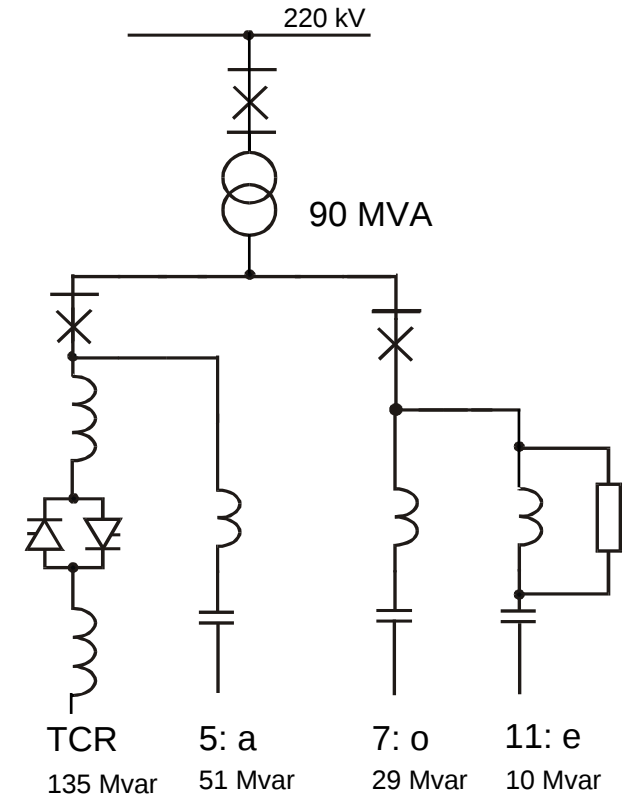
8 Bancos de Capacitores Série tornam possível a conexão em CA de dois sistemas gigantes!

Vizcarra SVC, Peru



Melhora da alimentação de um complexo mineiro

- Estabilização da tensão em 220 kV +/- 5%
- SVC: 220 kV, -45/+90 MVar
- Em serviço: Dezembro 2000



Belgo- Mineira, Brasil



SVC: -10/+130 MVar

- TCR (140 MVar)
- Filtro de 2a. (37 MVar)
- Filtro de 3a. (43 MVar)
- Filtro de 4a. (50 MVar)





AARD