

PEA2503 Laboratório de Qualidade de Energia

Geradores de Reativos - parte I

Prof. Lourenço Matakas Jr Versão 06/09/05

1. Objetivos

- Verificação dos transitórios de energização de reatores e capacitores, aprendendo como minimizá-los;
- Aprender como funcionam os reatores chaveados, reatores controlados e capacitores chaveados via tiristor;
- Rever a operação da máquina síncrona operando como “capacitor síncrono”;
- Aprender como funciona o gerador de reativos baseado em inversor operando em PWM.

Os itens acima listados serão verificados através de simulações utilizando o programa PSIM.

2. Geração de Reativos via Inserção de Reatâncias na Rede

Neste primeiro grupo, incluem-se as estratégias que inserem capacitores ou reatores na rede via contadores, disjuntores ou tiristores.

2.1 Capacitor Chaveado

A maioria das cargas industriais são tipicamente indutivas podendo ter seu fator de potência corrigido via inserção de capacitores em paralelo com a carga. Para cargas variáveis, torna-se necessária a correspondente variação do valor do capacitor de correção. Uma alternativa é o chaveamento de bancos de capacitores via contadores, disjuntores ou tiristores. A primeira e a terceira opções oferecem a possibilidade de chaveamento remoto, permitindo que o fator de potência seja permanentemente mantido via malha de controle. Os itens a seguir discutem os problemas associados à energização de bancos de capacitores apresentando soluções para cada um deles.

- a. Utilizando o arquivo **exp7A-v08-10-14.sch** (fig. 1) obtenha dois gráficos em uma página, o primeiro com a corrente no capacitor $i_{cf}(t)$ e o segundo com a tensão na rede $v_{rede}(t)$ e a corrente na rede $i_{rede}(t)$. O capacitor descarregado (tensão inicial nula) é inserido após um atraso T_x , que pode ser ajustado através do gerador de tensão em degrau $v_x(t)$. Repita o procedimento acima variando o instante de disparo T_x , de acordo com a tabela I. Notar que os valores foram dados em pu para facilitar a análise. Anote os valores das impedâncias de rede,

carga, capacitor, etc, verificando se os valores de correntes e tensões resultantes após o transitório são coerentes.

- b. Existe algum instante de chaveamento que apresente um transitório com pequenos valores de corrente de inrush? Justifique.

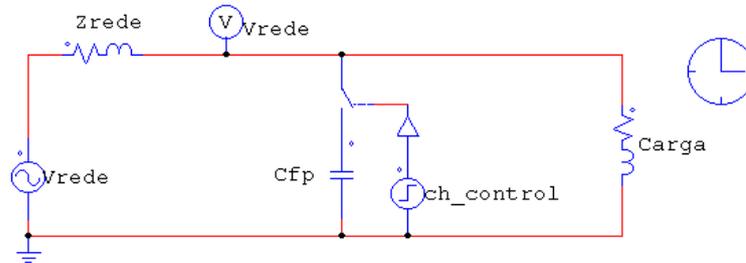


Figura 1 Energização de banco de capacitores

Tabela I valores do ângulo de disparo e Tx

Ângulo de disparo (grau)	0	45	90	135
Tx(ms)	33.33	35.41	37.50	39.58

- c. Ao se utilizar contator ou disjuntor, não se tem controle sobre o instante de energização, nem de desenergização. Verificar o que acontece se o capacitor foi desligado quando sua tensão estava em $-1pu$, e a chave foi energizada no ângulo de 90° (máxima tensão positiva). Para reproduzir a situação em que o capacitor foi desligado no momento que sua tensão estava em $-1pu$ basta inserir $-1pu$ como valor inicial no menu do capacitor
- d. Um modo empregado para a redução da corrente inicial é a inserção de resistor em série com o banco. Este resistor não deve ser muito elevado para não alterar substancialmente a reatância do capacitor de correção de Fator de potência. Utilizando o arquivo **exp7B-v08-10-14.sch** (fig. 2), escolha por tentativa e erro um resistor adequado satisfazendo os critérios acima expostos. O que acontece ao se variar o resistor de limitação?

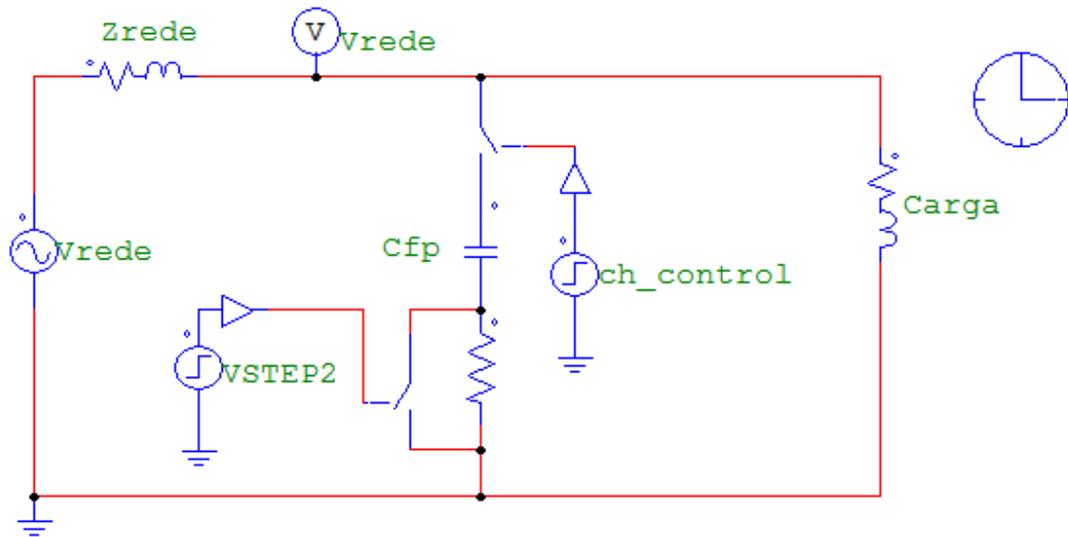


Figura 2 Minimização da Corrente de Inrush via Inserção de Resistor Série

- e. A estratégia acima não é adequada, solicitando demais a chave e apresentando transitório que depende do estado da carga do capacitor e do instante de ligação da chave. A redução da vida útil da chave e o tempo de resposta das chaves eletromecânicas impede o acionamento freqüente das mesmas. Uma solução, consiste em se manter o capacitor carregado no valor de pico da tensão da rede, e acionar a chave apenas quando a tensão da rede estiver no seu pico positivo. Neste caso pode-se utilizar como chave dois tiristores ligados em antiparalelo. O desligamento ocorre naturalmente assim que a corrente passar por zero. Esta estratégia permite que o banco seja inserido ou retirado rapidamente, sem transitórios que possam danificar as chaves ou prejudicar o sistema elétrico. Neste sistema, a chave não deve ser ligada se a tensão no capacitor estiver com valor muito diferente do valor de pico da rede, por ocasião do comando de energização, para se evitarem picos de corrente.

Utilizando o arquivo **exp7A-v08-10-14.sch** (fig. 1), imponha valor inicial de “+1pu” para a tensão em Cfp e ligue o capacitor para ângulo de disparo de 90°, obtendo a corrente no capacitor. Explicar porque não ocorre transitório para as condições acima estipuladas. Variar a tensão inicial para “+0.8pu” verificando o que acontece com a corrente no capacitor.

2.2 Indutor Chaveado

Alguns casos, exigem a inserção de indutores na rede para a compensação de cargas capacitivas. Um exemplo são as linhas de transmissão longas na condição de baixa carga. A capacitância da linha é predominante, provocando um aumento na tensão terminal.

- a. Utilizando o arquivo **exp7C-v08-10-14.sch** (fig. 3), verificar o transitório de corrente para diversos instantes de energização do indutor. Plotar em um mesmo gráfico a corrente a tensão no indutor para os valores de ângulo de disparo mostrados na tabela I.

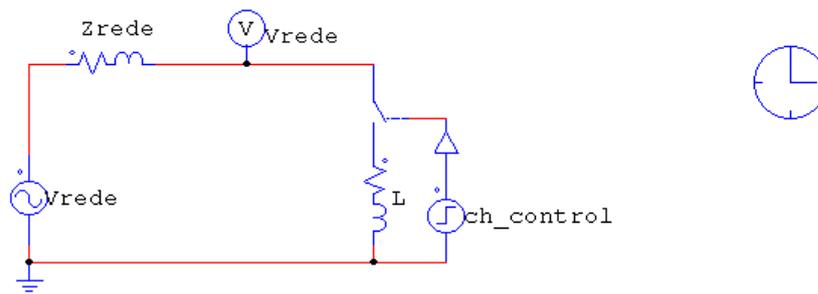


Figura 3 transitório durante a Energização de Indutor

- b. Qual o ângulo de disparo que fornece o menor transitório de corrente. Justificar.
- c- qual o maior valor de pico da corrente que pode ser obtido? Porque?
- d- posso abrir a chave em série com o indutor a qualquer instante? Porque? E se fosse um capacitor?
- e- Voce aprendeu que durante a energização de um transformador a corrente pode atingir transitoriamente valores acima de 10pu. Como você pode evitá-lo? Porque a corrente de inrush de um transformador pode atingir valores muito maiores que você obteve no item 2.1c?

2.3 Indutor Controlado via Tiristor

Os dois casos anteriores apenas permitem uma variação em degraus no valor da potência reativa. Os degraus podem ser arbitrariamente reduzidos pulverizando-se os bancos de indutores e capacitores exigindo-se a correspondente multiplicação do número de circuitos de chaveamento e de controle. Uma terceira solução, que permite a variação contínua da potência reativa, e já vista no laboratório de Eletrônica de Potência, consiste na substituição da chave da figura 3 por um par de tiristores em anti-paralelo, impondo-se controle por ângulo de disparo.

- a. Utilizando o arquivo **exp7D-v08-10-14.sch** (fig. 4), obtenha três gráficos em uma única página. O primeiro com as formas de onda da tensão na rede ($v_{rede}(t)$) e da corrente no indutor ($i_L(t)$), o segundo com o componente fundamental da corrente I_{L_pico} (valor de pico) e o terceiro com o ângulo de fase da corrente (θ_1). Repita o procedimento acima para os ângulos de disparo de 90° 110° 130° e 150° e 180° .

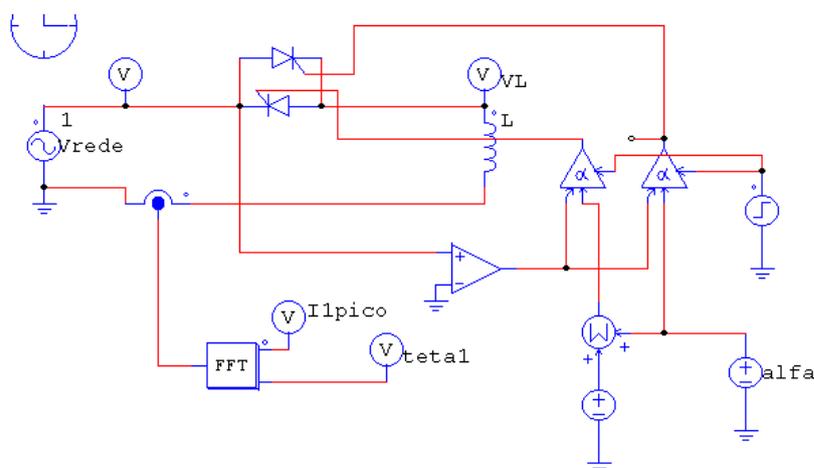


Figura 4 Indutor Controlado por ângulo de atraso

- b. A partir dos resultados do ítem “a” faça o gráfico da potência reativa (componente fundamental) do indutor controlado em função do ângulo de disparo.
- c. Comentar sobre as conseqüências da geração de harmônicos pelo indutor controlado. Este gerador de reativos pode ser conectado diretamente à rede? Porque? Forneça soluções que permitam sua utilização.
- d. Porque para os casos simulados neste item não ocorrem correntes excessivas no indutor ao se variar o ângulo de disparo?

2.4 Utilização conjunta de Capacitores Chaveados e Indutores Controlados

Apresentou-se no ítem 2.3 uma estratégia para variação contínua da potência reativa. O único inconveniente é o fato deste compensador ser apenas adequado para a compensação de cargas capacitivas, que são raras em um ambiente industrial. Um solução é apresentada na figura 5a, onde se têm um banco de capacitores de potência “-Q” fixo em paralelo com um indutor chaveado de potência variável na faixa “0 ~ +Q”. Este sistema oferece potência reativa variando continuamente na faixa “-Q ~ 0”, ou seja, equivale a um capacitor variável. Se o capacitor for chaveado via tiristores (fig. 5b), a faixa de variação passa a ser “-Q ~+Q”. O inconveniente das duas estratégias acima é a necessidade de “Q (Var)” de reatores e “Q(Var)” de capacitores. Na estratégia da figura 5c, o banco de capacitores foi dividido em três partes, cada qual com “-Q/3”, e tem-se apenas um reator de “+Q/3” conseguindo-se variação na faixa de “-Q ~+Q”. Explicar o porque das afirmações acima.

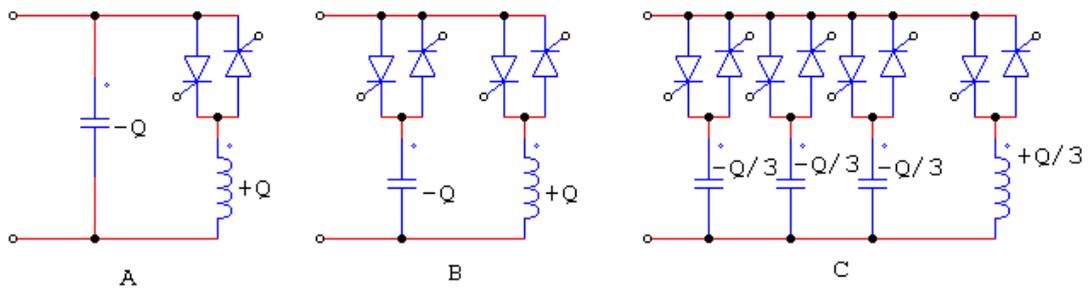


Figura 5 Associação de Capacitores Chaveados com Indutor Controlado

3. Bibliografia

- [1] Barbi, I; Eletrônica de Potência, edição do autor, UFSC, 2001
- [2] Mohan; Undeland; "Power Electronics",
- [3] Kaiser, W; "Compensador Estático de Reativos", apostila do Laboratório de Eletrônica de Potência, PEA-2502, EPUSP, 2003