

# PEA3504 Laboratório de Qualidade de Energia

## Geradores de Reativos – Parte II

**Prof. Lourenço Matakas Jr**

Versão 22/Set/2018 (editado pelo prof. Wilson Komatsu)

### 1. Objetivos

- 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.

### 1. Geração de Reativos via Injeção de Correntes

A geração de reativos baseada na inserção de reatâncias, apresentada na Experiência 7, mostrou que tais geradores de reativos têm uma série de problemas, tais como: transitórios, variação por degraus no valor de Q, produção de harmônicos, etc. Nesta experiência serão apresentadas estratégias que permitem a injeção de correntes reativas, proporcionando uma variação contínua no valor da potência reativa e correntes praticamente senoidais.

#### 1.1 Condensador Síncrono

Sabe-se que uma máquina síncrona, com eixo em vazio, ligada a um barramento infinito com tensão  $V_{rede}(t)$ , pode comportar-se como uma reatância variável. A força contra eletromotriz da máquina é  $V_c(t)$ , e sua reatância síncrona vale  $X_s$ . A equação 1 fornece a corrente na máquina em função dos fasores de  $V_{rede}(t)$  e  $V_c(t)$ . Adotou-se para a máquina síncrona a convenção de sinais de um receptor.

$$\dot{I} = \frac{\dot{V}_{rede} - \dot{V}_c}{\dot{X}_s} = \frac{V_{rede} \angle \alpha - V_c \angle \alpha}{j\omega L_s} = \frac{(V_{rede} - V_c)}{\omega L_s} \angle \alpha - \pi/2 \quad (1)$$

As duas tensões têm a mesma fase  $\alpha$ . Se a máquina estiver sub-excitada ( $V_{rede} > V_c$ ), a equação 1 mostra que a corrente é indutiva. Se a máquina estiver sobre-excitada ( $V_c > V_{rede}$ ) a corrente será capacitiva. Alterando-se parcela  $(V_{rede} - V_c)$  altera-se a amplitude da corrente reativa.

- a. Utilizando o arquivo **exp8A-v22set2018.psimsch** (figura 1), com  $V_{rede\_pico}=1pu$  e  $X_s=0.1pu$ , imponha  $v_c(t)$  tal que a corrente seja capacitiva com amplitude de pico de 1pu, plotando em um único gráfico a tensão na rede  $v_{rede}(t)$  e a corrente  $i(t)$ . Lembrar de impor uma resistência do indutor de valor  $0.2X_s$ . Esboçar o diagrama fasorial. Funcionou como esperado?
- b. Repita o item a considerando uma corrente indutiva com valor de pico de 1pu. Esboçar o diagrama fasorial. Funcionou como esperado?

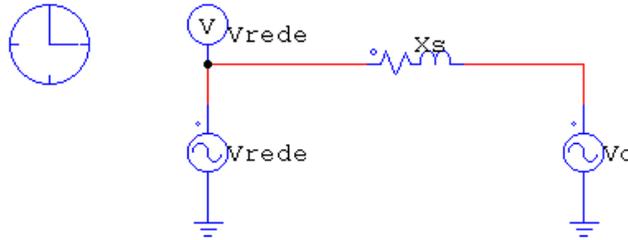


Figura 1: Máquina síncrona ligada a barramento infinito.

## 1.2 Inversor operando como gerador Síncrono

O condensador Síncrono tem como desvantagens seu volume, custo, seu tempo de resposta muito lento (devido à indutância de campo) e o fato de ser um sistema eletromecânico e exigir manutenção periódica. Seu princípio de funcionamento pode ser utilizado, substituindo-se a máquina síncrona por um inversor operando com modulação por largura de pulso, conforme indicado na figura 2.

- Analise o arquivo **exp8B-v22set2018.psimsch** (figura 2). Porque o conversor é diferente daquele visto na aula sobre inversores? Quais as diferenças? Pode-se dizer que seu comportamento é similar ao visto na aula sobre inversores? Porque o sinal de referência é dividido pela amplitude da tensão CC do conversor?
- Utilizando o arquivo **exp8B-v22set2018.psimsch** (figura 2), com  $V_{rede\_pico}=1pu$  e  $X_s=0.1pu$ , imponha  $v_c(t)$  tal que a corrente seja capacitiva com amplitude de pico de  $1pu$ , plotando em uma única página três gráficos. O primeiro com a tensão na rede, a corrente na rede  $i_L(t)$  e a tensão de referência  $V_{ref}(t)$  do inversor. O segundo com a amplitude do componente fundamental da corrente  $i_L(t)$  e o terceiro com o ângulo do componente fundamental de  $i_L(t)$ . Lembrar de impor uma resistência do indutor de valor  $0.2X_s$ . Utilizar frequência de chaveamento de  $2400Hz$ . Funcionou como esperado? Porque?
- Repita o item b considerando uma corrente indutiva com valor de pico de  $1pu$ . Funcionou corretamente? Justificar.
- Repetir o item b alterando-se  $X_s$  para  $0.2pu$ . Lembrar que a tensão  $v_c(t)$  deve ser recalculada. O que aconteceu. Justificar.
- Repetir o item b, com  $X_s=0.1pu$  e frequência de chaveamento de  $4800Hz$ . O que aconteceu? Justificar.
- Notar que a simulação foi executada a partir do instante  $t=0s$ , mas somente foi exibida a partir de  $t=PRINT\_TIME=0.167s$ , ou seja, o transitório inicial não foi mostrado. Repita o item e, mostrando as formas de onda a partir de  $t=0s$ . O que aconteceu? Por que? Quanto tempo demora o transitório? Por que?

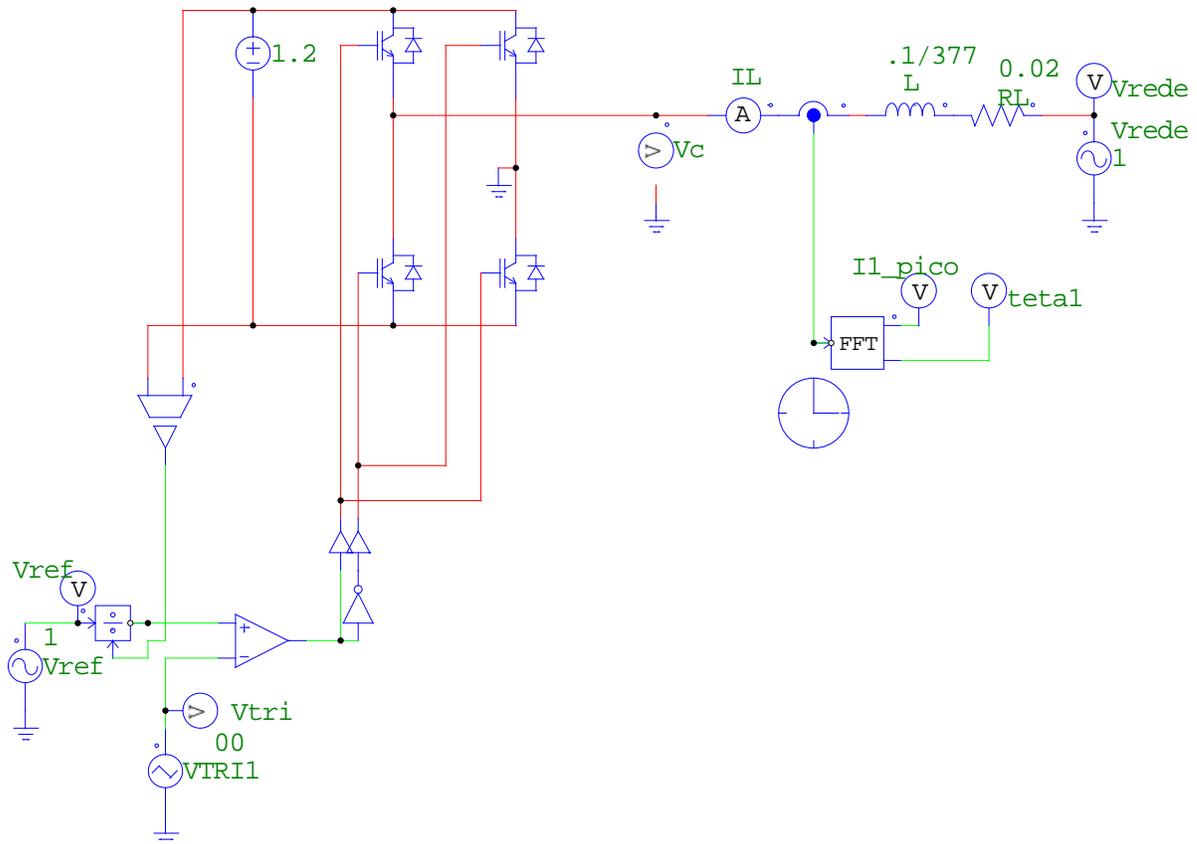


Figura 2: Gerador estático de reativos baseado em inversor PWM.

- g. O item anterior mostra que a resposta dinâmica do compensador é muito lenta. Uma solução é a introdução de uma malha de controle da corrente conforme mostrado na figura 3 (arquivo **exp8C-v22set2018.psimsch**). Uma referência de corrente “ $I_{Lref}(t)$ ” correspondente à corrente desejada (capacitiva ou indutiva) é comparada com a corrente medida “ $I_{Lmed}(t)$ ”, gerando um sinal de erro  $e(t)$ , que é aplicado a um controlador PI, que gerará o sinal  $V_{ref}(t)$ , na entrada do PWM, responsável por garantir que o erro de corrente ( $e(t) = I_{Lref}(t) - I_{Lmed}(t)$ ) seja nulo. Com esta solução obtêm-se tempos de resposta da ordem de décimos do período da rede. Utilizando o arquivo **exp8C-v22set2018.psimsch** (figura 3) ajuste o controlador PI de modo que a corrente  $I_{Lmed}(t)$  siga a referência  $I_{Lref}(t)$  com mínimo erro. Comentar o erro de rastreamento e o tempo de resposta. Para o ajuste do PI sugere-se iniciar com  $K_p = 0.1$  e constante de tempo de 1s. Aumentar o ganho  $K_p$  até o sistema começar a ficar oscilatório, ou instável. Reduzir o valor da constante de tempo até obter valores aceitáveis de erro de amplitude e fase. Plotar em um único gráfico “ $I_{Lref}(t)$ ” e  $I_{Lmed}(t)$ .
- h. Meça os valores do valor de pico e da fase do componente fundamental da corrente, verificando o desempenho do ajuste feito no item f.
- i. Posso aumentar indefinidamente o ganho proporcional? O que diz a teoria de controle linear? O que acontece no sistema real que impede que o ganho seja aumentado indefinidamente? Justificar com formas de onda relevantes e texto.

- j. Um colega lembrando das aulas de controles afirmou: “controladores PI fornecem erro nulo em regime”. O erro em regime é nulo com controlador PI? Por quê?
- k. Para desativar a parcela integral do PI você usou o “Time Constant” do bloco PI igual a 1s? Porque elevados valores de “Time Constant” desativam a parcela integral?
- l. O que acontece se você usar valores muito pequenos para o “Time Constant”?
- m. Qual é o valor da potência ativa consumida pelo gerador de reativos? Há a necessidade de uma fonte no lado CC? Discutir.

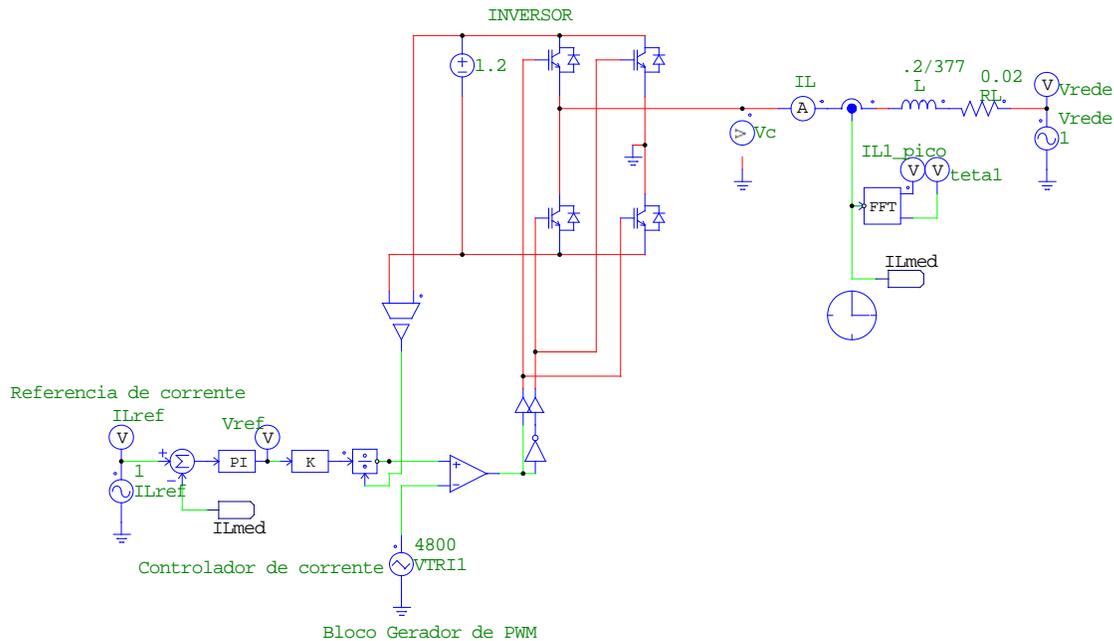


Figura 3: Malha de Corrente de Gerador estático de reativos baseado em inversor PWM.

## 2. Bibliografia

- [1] I. Barbi; Eletrônica de Potência, edição do autor, UFSC, 2001.
- [2] N. Mohan, T. M. Undeland e W. P. Robbins: “Power Electronics: Converters, Applications and Design”, 3rd Edition, John Willey & Sons, USA, 2004.
- [3] W. Kaiser. “Compensador Estático de Reativos”, apostila do Laboratório de Eletrônica de Potência, PEA-2502, EPUSP, 2003.
- [4] W. Komatsu. “Compensadores Estáticos” (apostila), EPUSP, 2002.