

PEA2503 Laboratório de Qualidade de Energia

Geradores de Reativos II

Prof. Lourenço Matakas Jr Versão 15/10/2014

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

Os itens anteriores, baseados na inserção de reatâncias, apresentaram geradores de reativos com uma série de problemas, tais como: transitórios, variação por degraus no valor de Q, produção de harmônicos, etc. Neste item 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.

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

As duas tensões tem a mesma fase α . Se a máquina estiver sub-excitada ($V_{rede} > V_c$), a eq. 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.

- Utilizando o arquivo **exp8A-xxx.sch** (fig. 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?
- Repita o item a considerando uma corrente indutiva com valor de pico de 1pu. Esboçar o diagrama fasorial. Funcionou como esperado?

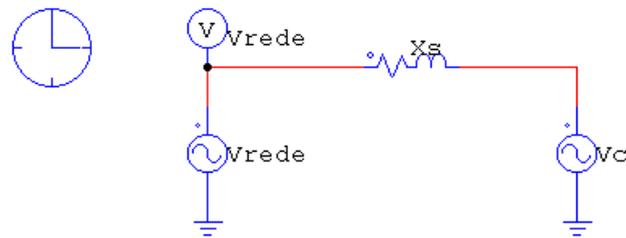


Figura 1 Máquina Síncrona ligada a barramento infinito

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-xxx.sch**. 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-xxx.sch** (fig. 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? Porque? Quanto tempo demora o transitório? Porque?

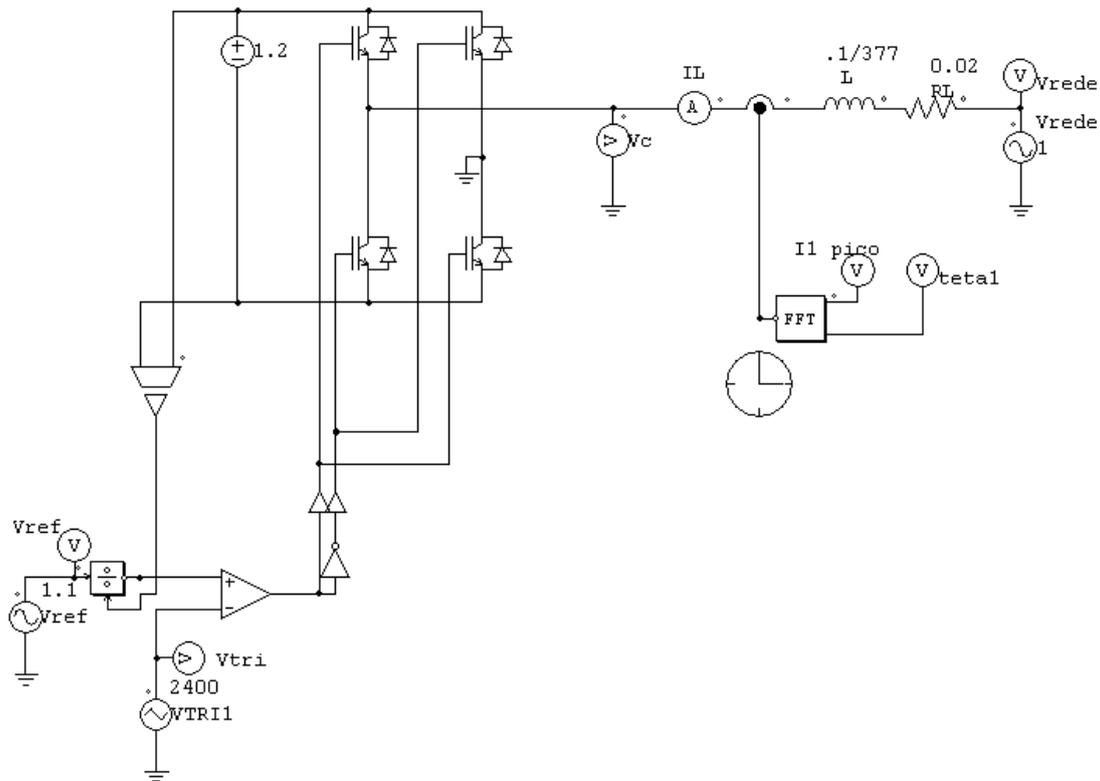


Figura 2 Gerador estático de reativos baseado em inversor PWM

- 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-xxx.sch**). 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-xxx.sch** (**fig. 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.

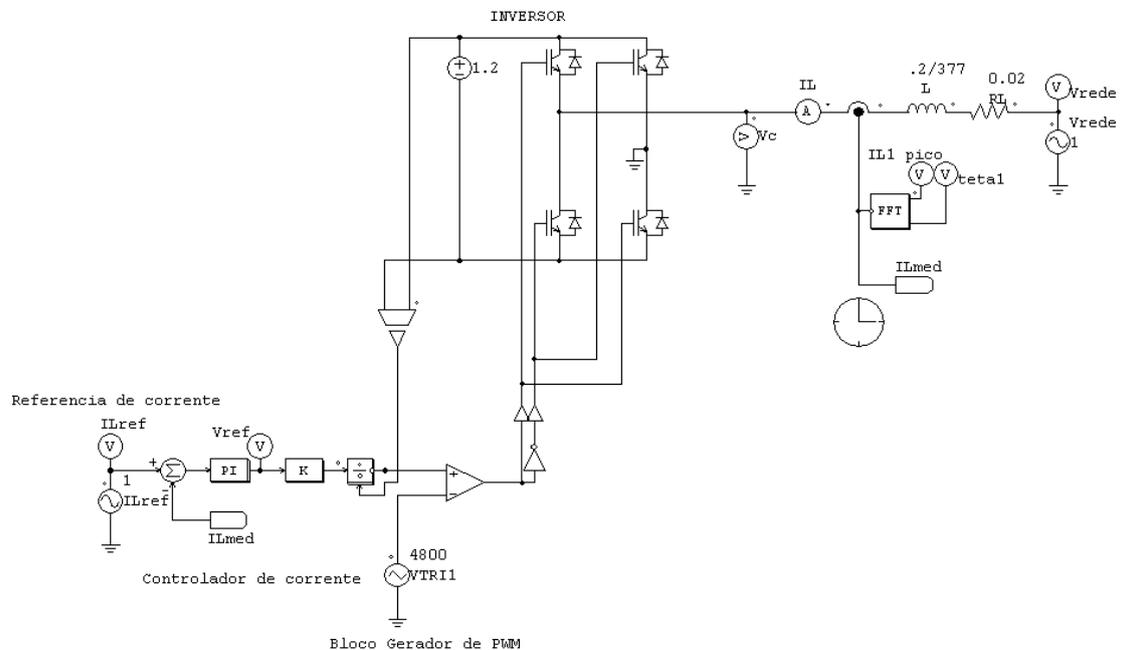


Figura 3 Malha de Corrente de Gerador estático de reativos baseado em inversor PWM

2. Bibliografia

- [1] Barbi, I; Eletrônica de Potência, edição do autor, UFSC, 2001
- [2] Mohan; Undeland; “Power Electronics”, 1995
- [3] Kaiser, W; “Compensador Estático de Reativos”, apostila do Laboratório de Eletrônica de Potência, PEA-2502, EPUSP, 2003