

PEA3504 Laboratório de Qualidade de Energia

Retificadores com Elevado Fator de Potência

Prof. Lourenço Matakas Jr

Versão 15/Out/2018 (editado pelo prof. Wilson Komatsu)

1. Objetivos

- Rever a operação da máquina síncrona operando com fator de potência unitário;
 - Aprender estratégias simples baseadas em retificador a diodos e conversor CC-CC.
- Os itens acima listados serão verificados através de simulações utilizando programa PSIM.

1. Retificação com elevado Fator de Potência

Sabe-se que os retificadores baseados em diodos e tiristores produzem formas de onda de corrente com elevado conteúdo harmônico. Este item mostrará duas estratégias para se obterem retificadores com corrente no lado CA praticamente senoidais e em fase com a tensão de rede.

1.1 Pensando na máquina síncrona ligada a barramento infinito.

Para a máquina síncrona da figura 1, com reatância síncrona X_s e força contra-eletromotriz $v_c(t)$, conectada a um barramento infinito com tensão $v_{rede}(t)$. A equação 1 fornece a corrente na máquina em função dos fasores associados às tensões $v_{rede}(t)$ e $v_c(t)$. Adotou-se para a máquina síncrona a convenção de sinais de um receptor.

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

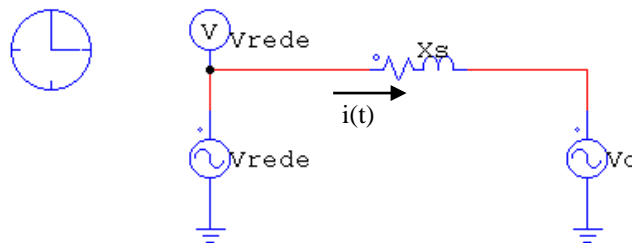


Figura 1: Máquina Síncrona ligada a barramento infinito.

Desejando-se impor corrente de rede com amplitude I , em fase com a tensão $v_{rede}(t)$, basta que a tensão $v_c(t)$ satisfaça a equação 2.

$$\dot{V}_c = V_{rede} \overline{\alpha} - I \overline{\alpha} \quad j\omega L_s \quad (2)$$

A potência entregue pela rede ao retificador é dada pela equação 3.

$$P = \frac{V_{rede} V_c}{X_s} \text{sen} \delta = V_{rede} I \cos(0^\circ) = V_{rede} I \quad (3)$$

Na equação 3 δ é o ângulo entre \dot{V}_{rede} e \dot{V}_c . Neste caso, a máquina opera como motor ($P > 0$, $\delta > 0$), com fator de potência unitário. Para $\dot{I} = I \angle 180^\circ + \alpha$ a máquina opera como gerador ($P < 0$, $\delta < 0$).

- Utilizando o arquivo **exp9A - 15-10-18.psimsch** (figura 1), com $V_{rede}=1pu$ e $X_s=0.1pu$, imponha $v_c(t)$ tal que a corrente tenha amplitude (valor de pico) de 1pu com fase igual à da tensão da rede $v_{rede}(t)$, plotando em um único gráfico a tensão na rede e a corrente $i(t)$. Notar que o circuito é o mesmo utilizado na Experiência 8, sobre geradores de reativos. Lembrar de impor uma resistência do indutor de valor $0.2X_s$. Recomenda-se considerar a resistência da rede no cálculo da tensão $v_c(t)$ (2);
- Funcionou como esperado?
- Esboçar o diagrama fasorial.

1.2 Retificador Síncrono

Tal como foi feito para o gerador de reativos, a máquina síncrona pode ser substituída por um inversor. Neste caso a fonte no lado CC é substituída por um capacitor e pela carga CC.

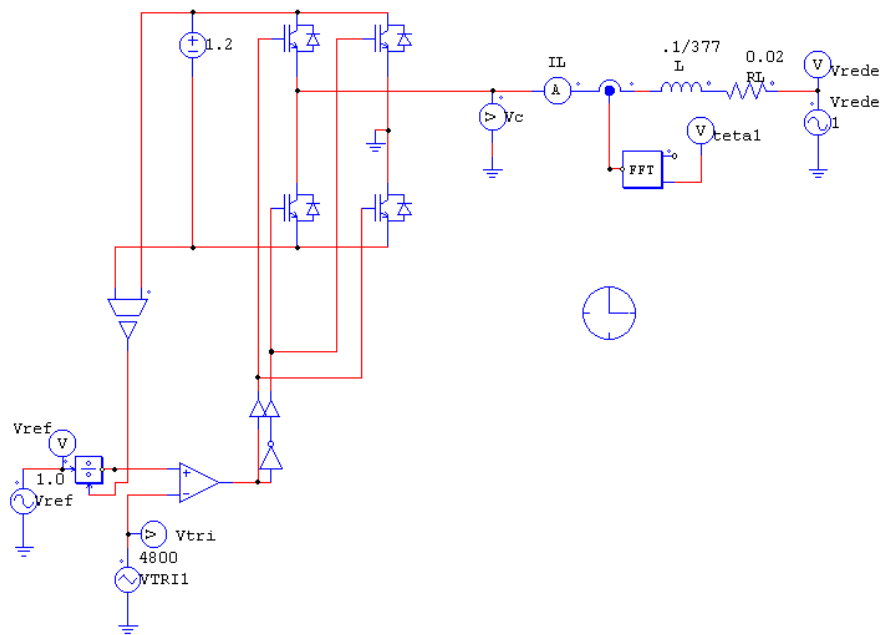


Figura 2: Retificador Síncrono baseado em inversor PWM.

- Utilizando o arquivo **exp9B - 15-10-18.psimsch** (figura 2), com $V_{rede_pico}=1pu$ e $X_s=0.2pu$, imponha $v_c(t)$ tal que a corrente esteja em fase com a tensão da rede, com amplitude de pico de 1pu, plotando em uma única página três gráficos. O primeiro com a tensão na rede $v_{rede}(t)$, a corrente na rede $i_L(t)$ e a tensão de referência $V_{ref}(t)$ do inversor. O segundo com o componente fundamental da corrente $i_L(t)$ e o terceiro com o ângulo do componente fundamental de $i_L(t)$. Lembrar-se de impor uma resistência do indutor de valor $0.2X_s$. Notar que o circuito é o mesmo utilizado no experimento sobre geradores de reativos. Utilizar freqüência de chaveamento de 4800Hz;
- Funcionou como esperado? Porque?

- c. Este retificador é regenerativo, ou seja, permite que a energia seja enviada do lado CC para a rede. Com os mesmos parâmetros do item 2.2a, calcular $v_c(t)$ que imponha uma corrente com amplitude de pico de 1 pu defasada de 180° com relação à tensão na rede, plotando em uma única página três gráficos. O primeiro com a tensão na rede $v_{rede}(t)$, a corrente na rede $i_L(t)$ e a tensão de referência $v_{ref}(t)$ do inversor;
- d. cite cinco aplicações para o retificador regenerativo;
- e. Sabendo que a rede tem tensão com valor eficaz de V_{ef} , a corrente na entrada têm valor eficaz de I_{ef} , e a carga no lado CC têm resistência R , deduza a fórmula da tensão na saída do retificador;
- f. Comente sobre a regulação da tensão de saída com a variação da resistência de carga;
- g. Comente sobre a regulação na tensão de saída com a variação da tensão na rede;
- h. Assim como no caso do gerador de reativos, os transitórios da corrente de linha são lentos. Além disso, o lado CC estará alimentando uma carga, devendo assim manter sua tensão constante. Forneça o diagrama de blocos do controlador (**sem simular!!!**) que se encarrega de manter a corrente CA em fase com a tensão da rede, além de manter a tensão no link CC no valor estipulado V_{Cref} .. Explicar o diagrama de blocos e o funcionamento do sistema de rastreamento de corrente e de regulação da tensão CC.

1.3 Retificador com elevado Fator de potência baseado em conversor *Boost*

Uma versão de custo menor que o retificador do item 1.2, que é utilizada para potências menores que 1000W, é apresentada na figura 3. Ao retificador com filtro capacitivo, insere-se um conversor CC/CC *boost* entre o retificador e o capacitor de filtro. Esta configuração usa apenas uma chave ativa. Com um controle adequado do conversor *boost*, conseguem-se correntes de linha quase senoidais.

- a. Utilizando o arquivo **exp9C - 15-10-18.psimsch** (figura 3) obtenha quatro gráficos em uma única página. O primeiro com as tensão de rede e a corrente de rede, o segundo com a tensão na saída do retificador v_{ret} e a corrente no indutor, o terceiro com a corrente de referência $I_{ref}(t)$ e a corrente medida no indutor, e o quarto com a tensão na saída do retificador a diodos v_{ret} e a tensão no capacitor de saída ($v_{saída}$);
- b. Explicar como funciona o retificador e as malhas de controle da figura 3;
- c. Como você controlaria a tensão de saída? Forneça o diagrama de blocos do controlador e explique.

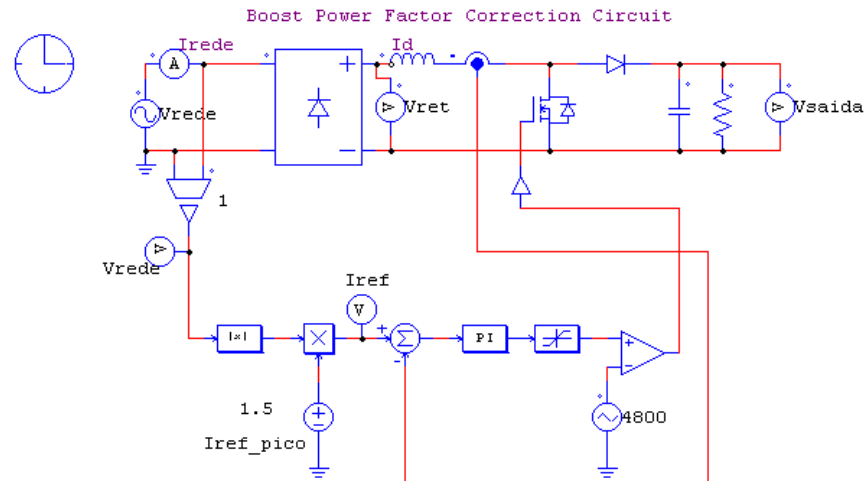


Figura 3: Retificador Síncrono baseado em conversor boost.

3. 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.