



CONVERSOR ESTÁTICO CA/CC/CA PARA APLICAÇÕES EM SISTEMAS TRIFÁSICOS

Yorkismar de Andrade Mendonça¹, Cursino Brandão Jacobina²

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo simular um conversor estático CA/CC/CA para aplicações trifásicas. O conversor estudado é utilizado para gerar tensões trifásicas com amplitude e frequência diferentes da entrada. A saída do conversor é filtrada por meio de um filtro LC passivo para redução dos harmônicos de alta frequência. Os resultados demonstram a operação adequada do conversor.

Palavras-chave: conversor, frequência, harmônicos.

STATIC CONVERTER AC/DC/AC FOR APPLICATIONS IN THREE-PHASE SYSTEMS

ABSTRACT

This work aims to simulate a AC/DC/AC static converter for three-phase applications. The converter is used to generate output three-phase voltages different of the input ones. The output of the converter is filtered by a passive LC filter to reduce high-frequency harmonics. The results demonstrate the proper operation of the converter.

Key-words: converter, frequency, harmonics

INTRODUÇÃO

Converter uma tensão alternada em contínua (retificação) ou converter uma tensão contínua em alternada (inversão) são procedimentos comuns nos dias atuais. Para tais procedimentos utilizam-se vários componentes, uns controláveis (Transistores, IGBT's) outros não controláveis (Tiristores, Diodos).

Os conversores são comandados em PWM (do inglês, Pulse Width Modulation). A tensão no barramento CC e a corrente de entrada são controladas, respectivamente, utilizando-se um controlador PI (do inglês, *proportional integral*) e controladores do tipo histerese.

Estes conversores operam com tensões chaveadas em alta frequência. Trabalhando em alta frequência a presença de harmônicos é inevitável. Se não compensados de forma eficiente, as tensões na rede elétrica e na carga podem ser afetadas. Filtros passivos são então utilizados para reduzir estes harmônicos na saída e na entrada do conversor.

Exemplo de aplicações para tais dispositivos são as fontes de alimentação CC e CA.

¹ Aluno de Curso de Engenharia Elétrica, Depto. de Engenharia Elétrica, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: yorkismar.mendonca@ee.ufcg.edu.br

² Engenheiro Eletricista, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Elétrica, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: jacobina@dee.ufcg.edu.br

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no ambiente de simulações digitais do LEIAM - *Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamentos de Máquinas* do Departamento de Engenharia Elétrica no Centro de Engenharia Elétrica e Informática da Universidade Federal de Campina Grande-PB.

Material

PSIM Simulator

Modelagem do Sistema Trifásico

O circuito completo do sistema é mostrado na Figura 1. A primeira parte do circuito mostra o conversor CA/CC cuja entrada são tensões alternadas e a saída uma tensão contínua, definida no capacitor do barramento. A segunda parte do circuito mostra o conversor CC/CA do tipo VSI (do inglês, Voltage Source Inverter). Filtros passivos trifásicos RL (entrada) e RLC (saída) são utilizados, tendo como função diminuir as distorções harmônicas de alta frequência causadas pelo chaveamento do conversor. Considera-se que o conversor alimenta uma carga do tipo RL. Os filtros são calculados de forma que a queda de tensão na frequência fundamental sobre eles seja pequena.

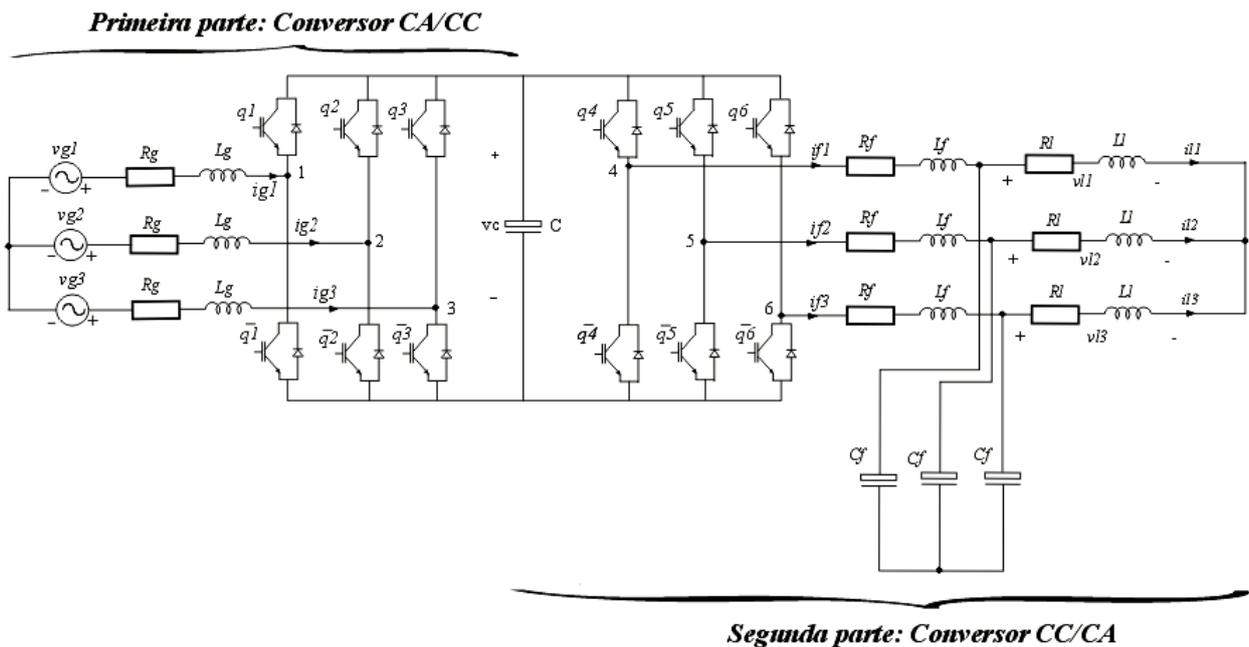


Figura 1: CA/CC/CA

Conversor CA/CC (Retificador)

Esta primeira parte do circuito trifásico é composto por seis chaves q_k onde $k \in \{1,2,3\}$ e suas complementares. Quando equilibrado e de acordo com as Leis de Kirchhoff o sistema possui as seguintes equações:

$$i_{g3} = -(i_{g1} + i_{g2}) \quad (1)$$

$$di_{g1}/dt = (-v_{10} - R_g \cdot i_{g1} + v_{g1})/L_g - (-v_{20} - R_g \cdot i_{g2} + v_{g2})/L_g \quad (2)$$

$$di_{g2}/dt = (-v_{20} - R_g \cdot i_{g2} + v_{g2})/L_g - (-v_{30} - R_g \cdot i_{g3} + v_{g3})/L_g \quad (3)$$

Conversor CC/CA (Inversor)

O conversor CC/CA trifásico que compõe o filtro, referente a segunda parte do circuito, é composto por seis chaves e seus respectivos diodos onde os pares de chaves funcionam de forma complementar. Pode-se atribuir valores binários a estas chaves, quando igual a zero a chave encontra-se aberta, e quando igual a 1, fechada.

Usando a análise feita para valores binários das chaves, as tensões de pólos são dadas por:

$$v_{10} = (2q_1 - 1) vc/2 \quad (4)$$

$$v_{20} = (2q_2 - 1) vc/2 \quad (5)$$

$$v_{30} = (2q_3 - 1) vc/2 \quad (6)$$

Onde vc é a tensão no barramento (ou tensão no capacitor C).

Estratégia de Controle do Retificador

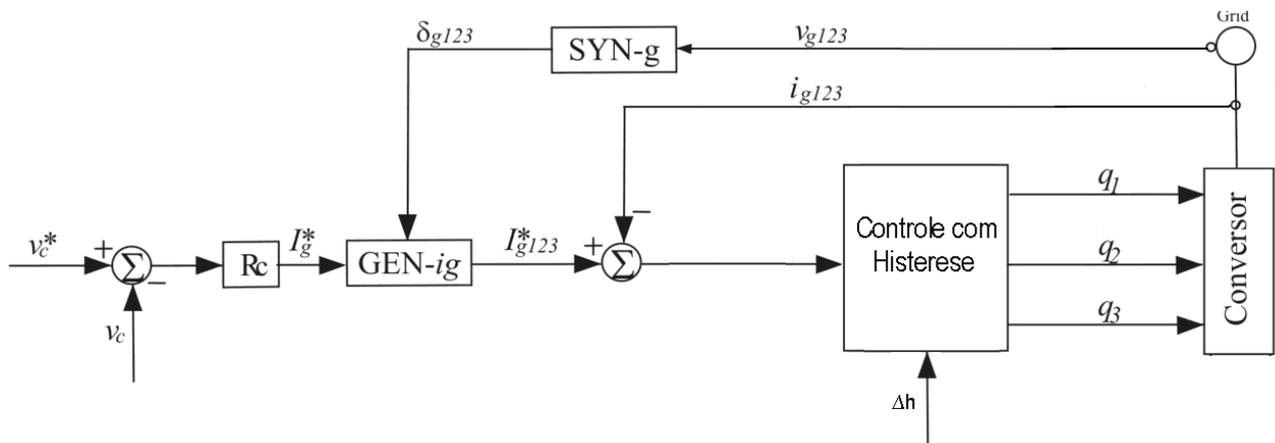


Figura 2: Diagrama de controle do retificador.

A Fig. 2 apresenta o diagrama de controle do retificador. A tensão do barramento CC é controlada através de um PI (Bloco Rc) gerando uma amplitude de referência I_g^* . Utilizamos um controlador PI na estratégia de controle da tensão do barramento CC. Ele garante um erro estacionário próximo a zero. A função utilizada no PI é dada por:

$$G_{pi} = K_i + K_p S \quad (7)$$

onde K_i e K_p são os ganhos integral e proporcional, respectivamente.

A partir de I_g^* e da posição angular instantânea das tensões v_{g123} (onde $i = 1, 2, 3$), obtida pelo bloco Syn-g, gera-se as correntes de referência i_{g123}^* . Ou seja, gera-se um conjunto trifásico de correntes de referência em fase com as tensões trifásicas de entrada (fator de potência unitário) e com a amplitude adequada para gerar a potência solicitada pela carga no inversor mais as perdas. Feito isso o erro referente a corrente de referência $I_g^*_{123}$ e a corrente i_{g123} é gerado para o Controle com Histerese, tem-se então a determinação do estado das chaves em função do erro e da banda de histerese.

O controle de corrente com histerese pode ser utilizado a partir da própria estrutura do conversor CA/CC.

Dada uma corrente de referencia i_i^* , e i_i como a corrente do ramo correspondente tem-se

$$\Delta i_i = i_i - i_i^* \quad (8)$$

Onde a fase de cada referência é igual à da tensão de cada ramo correspondente.

Determinada a banda de histerese Δh , controla-se comparando Δi_i com Δh , onde:

- Se Δi_i for maior que Δh , a chave q_i fecha ($q_i=1$);
- Se Δi_i for menor que $-\Delta h$, a chave q_i abre ($q_i=0$);

Assim, a corrente há de se comportar como mostra a Figura 3.

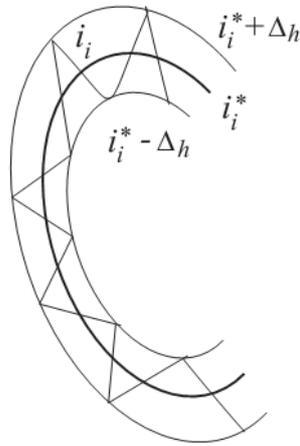


Figura 3: Variação da corrente controlada por histerese

Comando por PWM

O comando por PWM (do inglês, Pulse Width Modulation) foi utilizado para gerar as tensões de saída. O tipo de comando PWM utilizado neste trabalho é o mais clássico, denominado de método seno-triângulo (JACOBINA, 2005). Ele é obtido gerando-se sinais de comando das chaves a partir da comparação entre as tensões trifásicas desejadas com uma portadora triangular.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados de simulação

Durante a simulação utilizamos os seguintes parâmetros: frequência de chaveamento no conversor PWM de 10Khz, capacitância do barramento CC igual a 1.0mF, as fontes de tensão vg_1 , vg_2 e vg_3 tem amplitude de 1.0 V e são defasadas em 120° , as resistências e indutâncias do Rg e Lg são de 1Ω e 2.65 mH, da resistência Rf é 1Ω e da indutância Lf , 4.65mH, os capacitores Cf tem capacitância igual a 1mF, e, por fim, a carga RI/LI tem 10Ω de resistência e 4.65H de indutância.

Na Figura 4 são mostradas as corrente ig_1 , ig_2 e ig_3 e as tensões vg_1 , vg_2 e vg_3 em fase, onde a amplitude da corrente foi determinada pelo controlador PI e as fases adicionadas a partir das tensões, como explicado pela Figura 2.

Na Figura 5 mostra as correntes il_1 , il_2 e il_3 defasadas em 120° e filtradas a partir do filtro passivo RLC.

As tensões da Figura 6 são as da carga, observa-se uma excelente filtargem efetuada pelo filtro capacitivo.

A Figura 7 mostra a tensão no barramento, esta foi controlada pelo controle de corrente com histerese mantendo-se em torno da referência.

A Figura 8 é mostrada a Tensão v_{l1} e vg_1 observa-se que a frequência de v_{l1} é 120Hz o dobro da de vg_1 (60Hz), já que no controle PWM utilizado na segunda parte do circuito utilizou-se referencias de 120Hz.

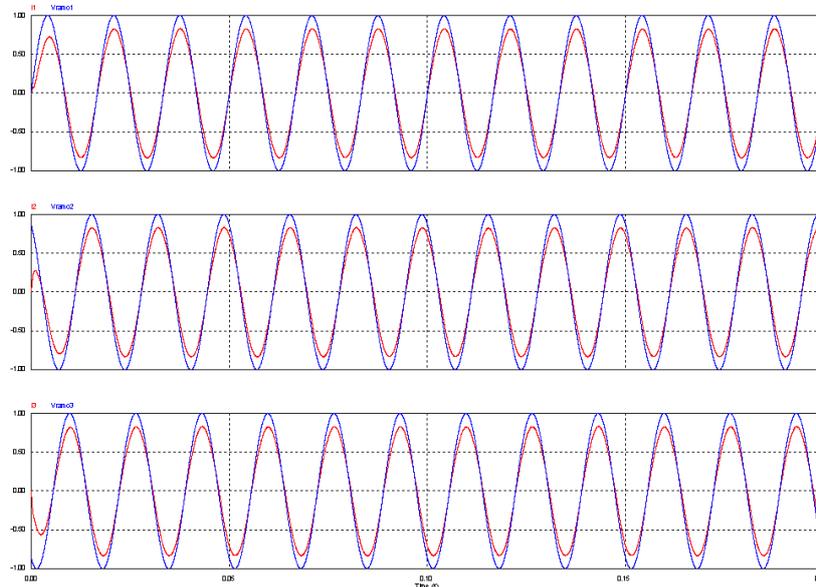


Figura 4: Correntes i_{g123} (vermelho) e tensões v_{g123} (azul) na primeira parte do circuito.

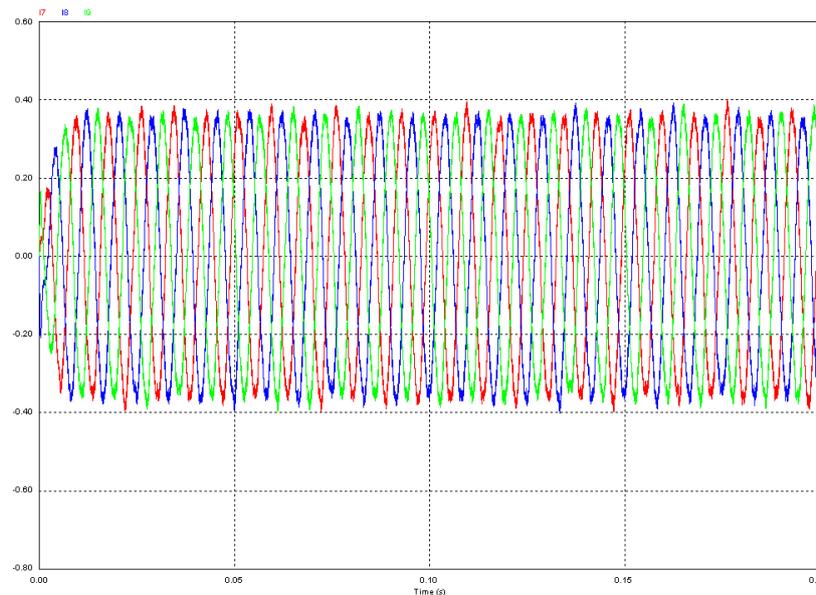


Figura 5: Correntes i_1 , i_2 e i_3 . (Vermelho, azul e verde, respectivamente)

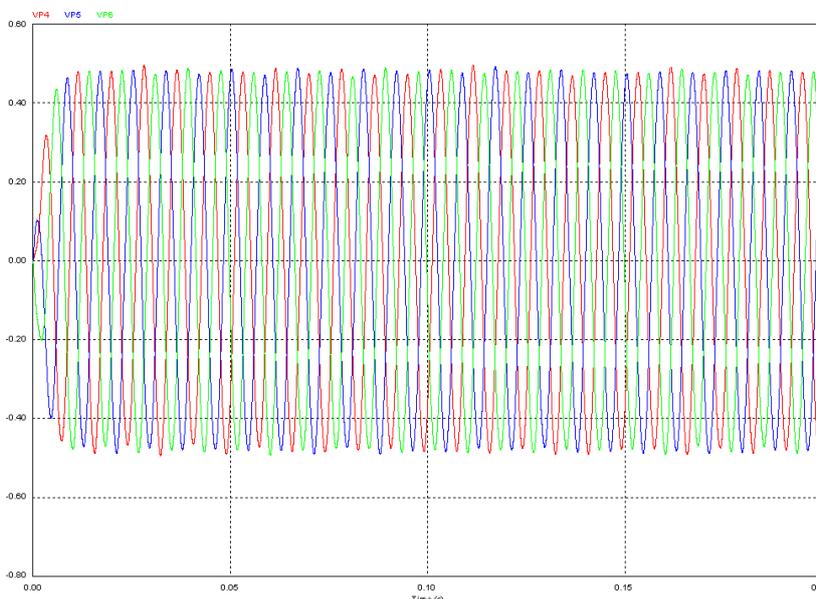


Figura 6: Tensões v_1 , v_2 e v_3 . (Vermelho, azul e verde, respectivamente)

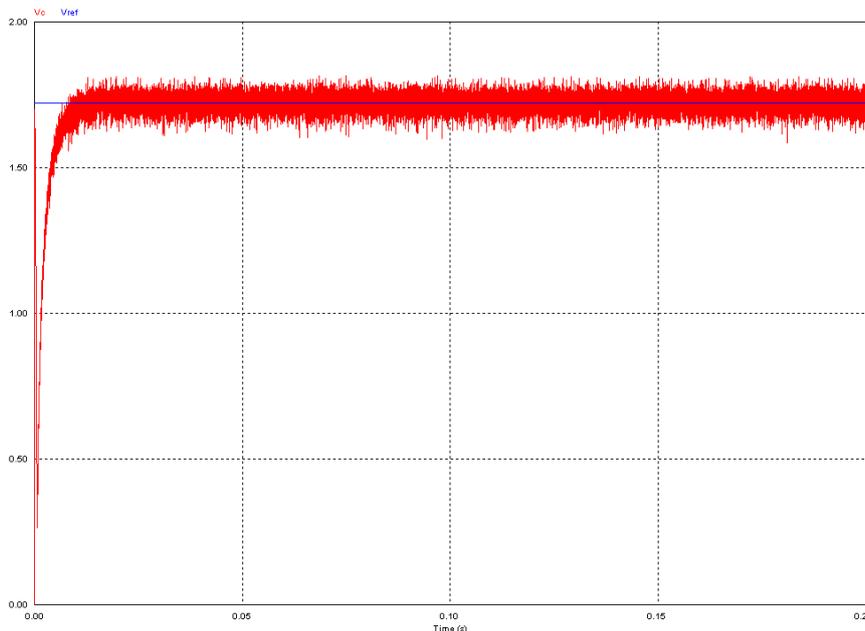


Figura 7: Tensão no Barramento CC e Tensão Referência. (Vermelho e azul, respectivamente)

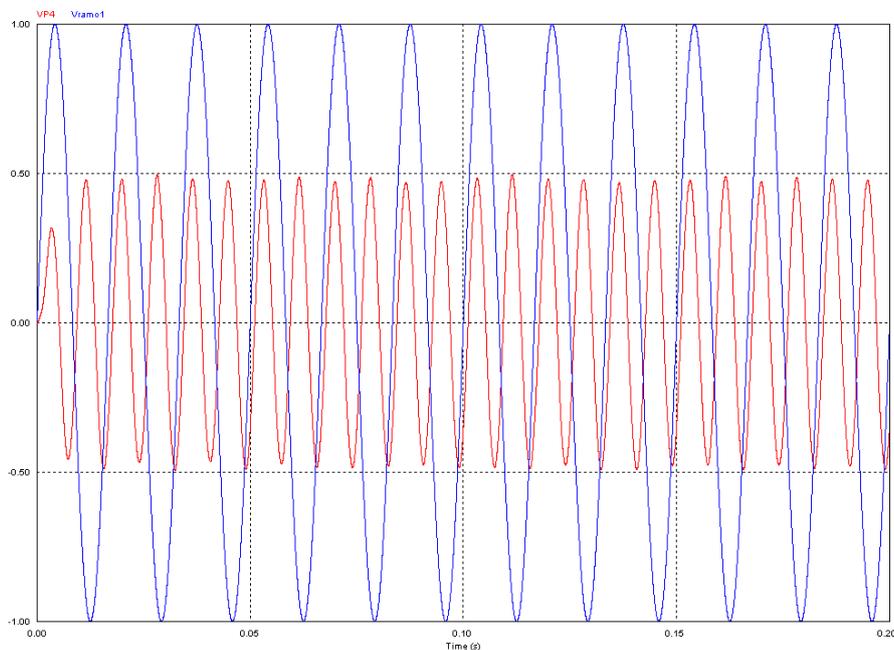


Figura 8: Tensão v_{l1} e vg_{11} . (Vermelho e azul, respectivamente)

CONCLUSÕES

Mediante os resultados obtidos podem-se tirar as seguintes conclusões:

- O conversor CA/CC funcionou de forma satisfatória controlando a tensão do barramento atingindo um erro de em média 3.0%.
- O conversor CC/CA teve um desempenho dentro do esperado, principalmente em relação ao aumento da frequência de 60 para 120 Hz.
- O filtro RLC atuou de forma satisfatória eliminando os harmônicos da tensão da carga.
- O filtro passivo RL na entrada eliminou os harmônicos de alta frequência da corrente de entrada.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica, ao Professor Cursino Brandão Jacobina pelas explicações e pela orientação nos experimentos efetuados, aos colegas de trabalho do LEIAM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JACOBINA, C. B. **Sistemas de acionamento estático de máquina elétrica**. Campina Grande, 2005, 87p.