

ANÁLISE E SIMULAÇÃO DO CONVERSOR DE 12 PULSOS

Ângelo José Junqueira Rezek^(*)

João Roberto Cogo^(*)

Jocélio Souza de Sá^(*)

José Policarpo Gonçalves de Abreu^(*)

Alexandre Silva Santiago⁽¹⁾

Artigo publicado na Revista Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico Vol. 16 nº 2, 1990 - Editora da EFEI

O conversor de 12 pulsos apresenta como uma das vantagens a eliminação de harmônicos característicos de menor ordem, por exemplo, o 5º e o 7º. O mesmo é utilizado em sistemas industriais e em sistemas de transmissão de energia elétrica em corrente contínua, citando-se, por exemplo, o sistema de transmissão de energia elétrica em corrente contínua de Itaipu.

Pretende-se analisar de forma objetiva o equacionamento e formas de onda de tensões e correntes deste conversor, sendo desenvolvido para tal um programa de simulação digital, o qual permite ainda o traçado das formas de onda para o conversor semicontrolado.

Analysis and Simulation of the 12-Pulse Converter.

—

12-Pulse converter presents as an advantage elimination of low-order characteristic harmonics,, for example, 5th and 7th. Such a converter is used in industrial systems and in electric energy DC transmission systems, as for example the Itaipu electric energy direct current transmission system.

It is intendend to analyse objectively the mathematical equation and voltage and current waveshapes of this converter, for which purpose it was developed a digital simulation program, which also allows plotting waveshapes for semi-controlled converter.

Keywords: 12-pulse converters; converter systems for DC transmission; industrial converter systems; voltage and current waveshapes in 12-pulse converters.

^(*) Professores do IEE/DET/EFEL.

⁽¹⁾ Aluno da Graduação - 10º Período Eletrônica.

1 - INTRODUÇÃO

O conversor de 12 pulsos é formado pela associação em série ou em paralelo de dois conversores de 6 pulsos. Para a transmissão em corrente contínua de grandes potências em alta tensão o arranjo série é preferencialmente utilizado, possibilitando, desta forma, um aumento na tensão de transmissão. Os harmônicos de menor ordem também são eliminados, como, por exemplo, o 5° e o 7°. Conseguem-se desta maneira uma economia na instalação dos filtros.

A operação em 12 pulsos é conseguida pela utilização de transformadores alimentadores com diferença de defasamento angular de 30° entre si.

2 - EQUACIONAMENTO E FORMAS DE ONDA PARA O CONVERSOR DE 12 PULSOS

2.1 - EQUACIONAMENTO E FORMAS DE ONDA DE CORRENTES

A FIGURA 1 ilustra a configuração necessária para a obtenção de um sistema conversor de 12 pulsos. As pontes são alimentadas por intermédio de dois transformadores cujas tensões de saída estão defasadas de 30° entre si.

Na FIGURA 1 também estão numeradas as válvulas conversoras, na seqüência em que as mesmas entram em condução.

Adotando por conveniência uma relação de espiras igual a 1:1 para o transformador Y/Y e 1:√3 para o transformador Y/Δ tem-se:

$$I_A = I_{a_1} + (I_{b_2 a_2})\sqrt{3} \quad (1)$$

$$I_B = I_{b_1} + (I_{c_2 b_2})\sqrt{3} \quad (2)$$

$$I_C = I_{c_1} + (I_{a_2 c_2})\sqrt{3} \quad (3)$$

As correntes I_{a_1} , I_{b_1} e I_{c_1} são apresentadas na FIGURA 2, para ângulo de disparo α igual a 0° e ângulo de comutação u também igual a 0°.

Na FIGURA 3 são apresentadas as correntes no secundário do transformador Y/Δ.

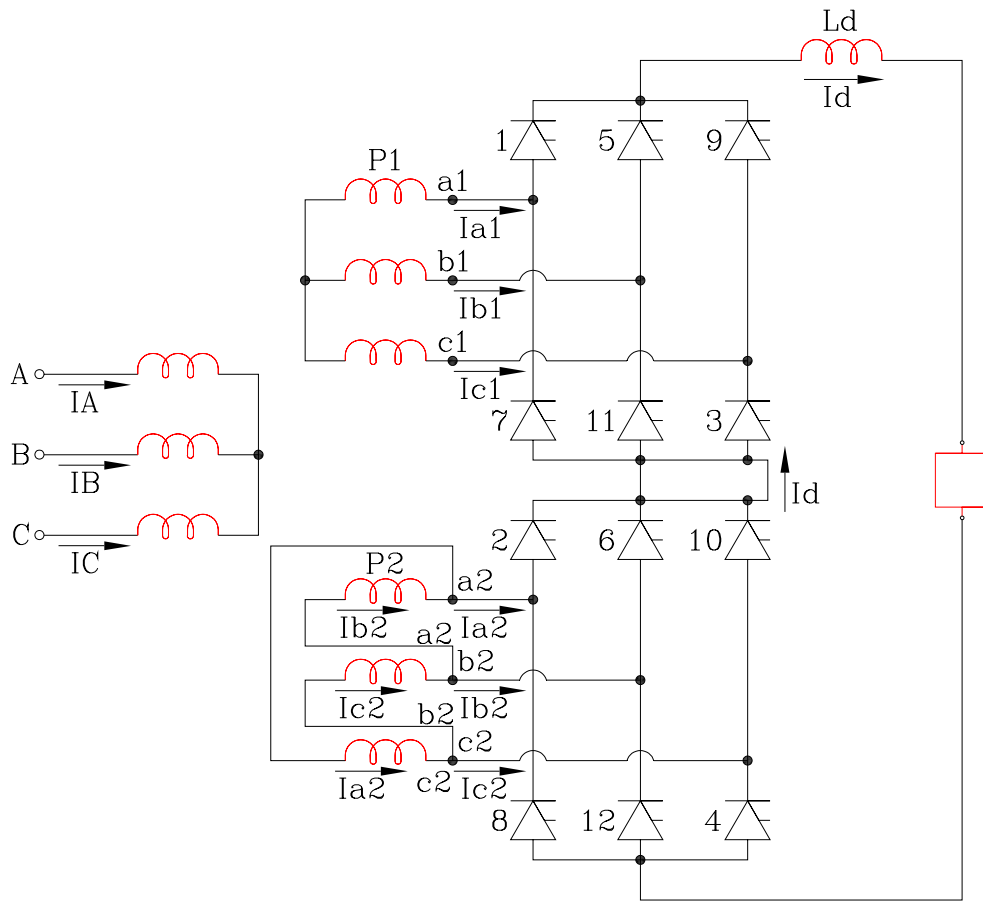


FIGURA 1 - CONVERSOR DE 12 PULSOS

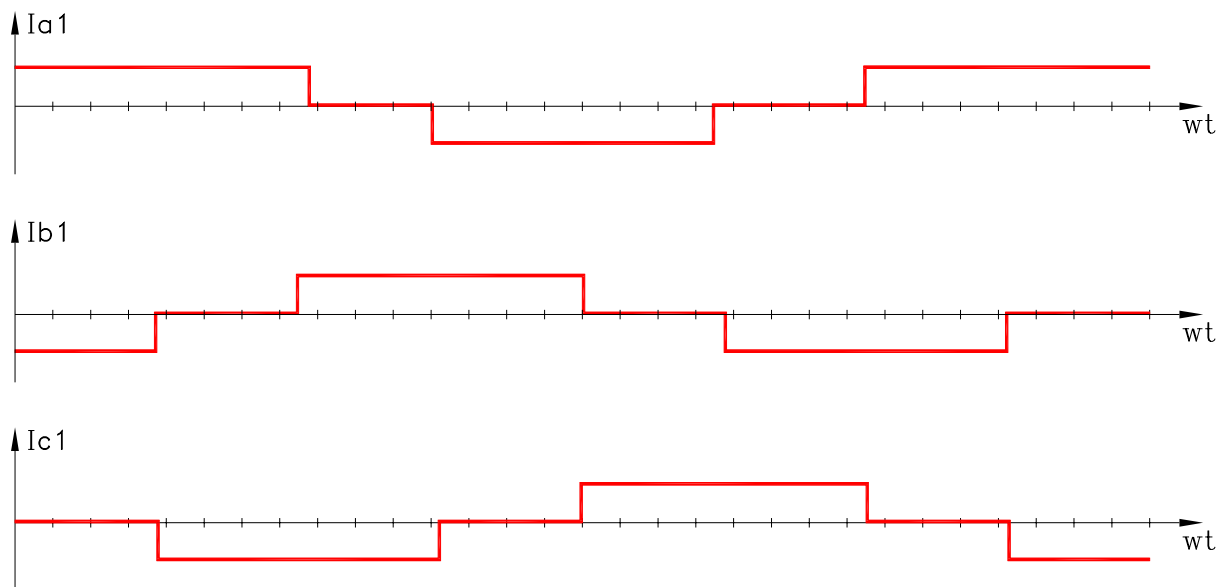


FIGURA 2 - CORRENTES NO SECUNDÁRIO DO TRANSFORMADOR Y/Y
 $\alpha = 0^\circ, \mu = 0^\circ$

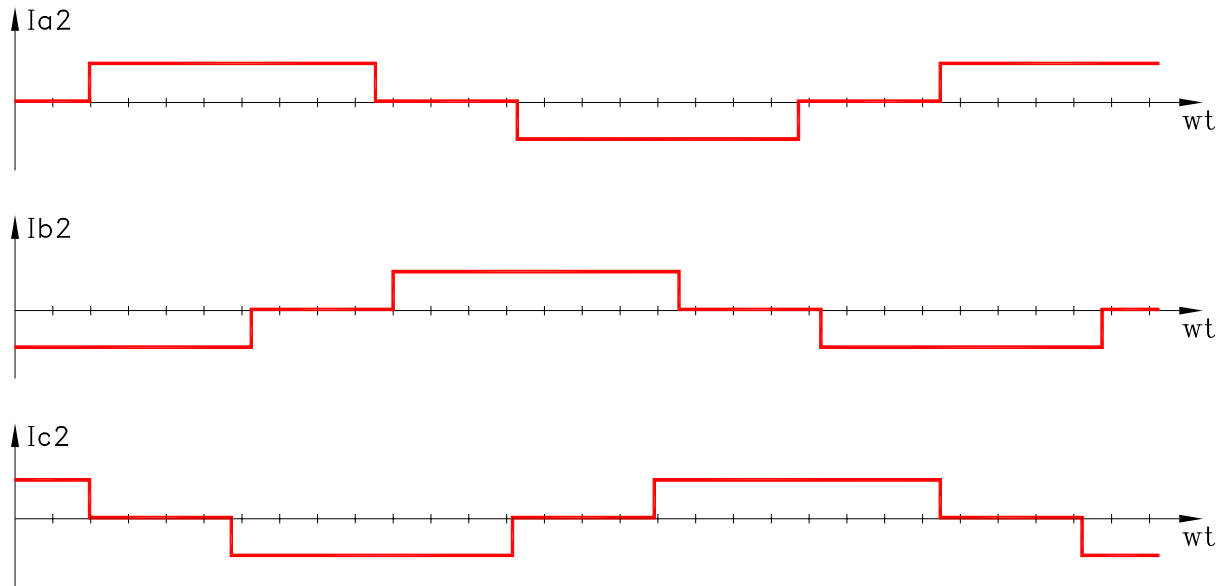


FIGURA 3 - CORRENTES NO SECUNDÁRIO DO TRANSFORMADOR Y/ Δ
 $\alpha = 0^\circ$, $\mu = 0^\circ$

Pode-se perceber que as correntes da FIGURA 3 estão atrasadas de 30° com relação às da FIGURA 2.

Equacionando-se as correntes da ponte P_2 , tem-se:

$$I_{a_2} = I_{b_2a_2} - I_{a_2c_2} \quad (4)$$

$$I_{b_2} = I_{c_2b_2} - I_{b_2a_2} \quad (5)$$

$$I_{c_2} = I_{a_2c_2} - I_{c_2b_2} \quad (6)$$

(5) - (4) resulta:

$$I_{b_2} - I_{a_2} = -2I_{b_2a_2} + I_{c_2b_2} + I_{a_2c_2}$$

Mas:

$$I_{b_2a_2} + I_{c_2b_2} + I_{a_2c_2} = 0$$

logo:

$$I_{c_2b_2} + I_{a_2c_2} = -I_{b_2a_2} \quad (7)$$

$$I_{b_2} - I_{a_2} = -3I_{b_2a_2}$$

$$I_{b_2a_2} = \frac{I_{a_2} - I_{b_2}}{3} \quad (8)$$

Analogamente:

$$I_{c_2b_2} = \frac{I_{b_2} - I_{c_2}}{3} \quad (9)$$

$$I_{a_2c_2} = \frac{I_{c_2} - I_{a_2}}{3} \quad (10)$$

A corrente $I_{b_2a_2}$ referida ao primário dada por:

$$I_{b_2a_2} = \sqrt{3}I_{b_2a_2} \quad (11)$$

A FIGURA 4 ilustra as formas de onda de I_{a_2} , I_{b_2} e $I_{b_2a_2}$.

A corrente de linha no primário do transformador pode ser obtida como:

$$I_A = I_{a_1} + \sqrt{3}(I_{b_2a_2}) \quad (12)$$

ou

$$I_A = I_{a_1} + I_{b_2a_2} \quad (13)$$

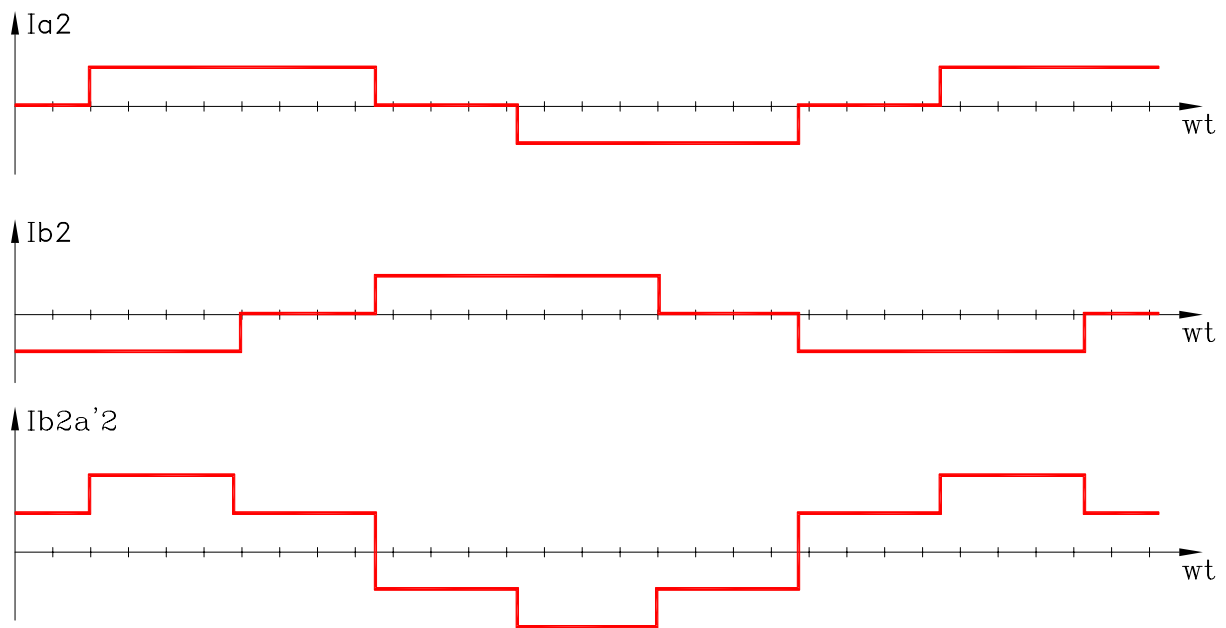


FIGURA 4 - CORRENTES I_{a_2} , I_{b_2} e $I_{b_2a_2}$

$$\alpha = 0^\circ; \mu = 0^\circ$$

A corrente I_A dada pela soma de I_{a_1} e $I_{b_2a_2}$ é ilustrada na FIGURA 5.

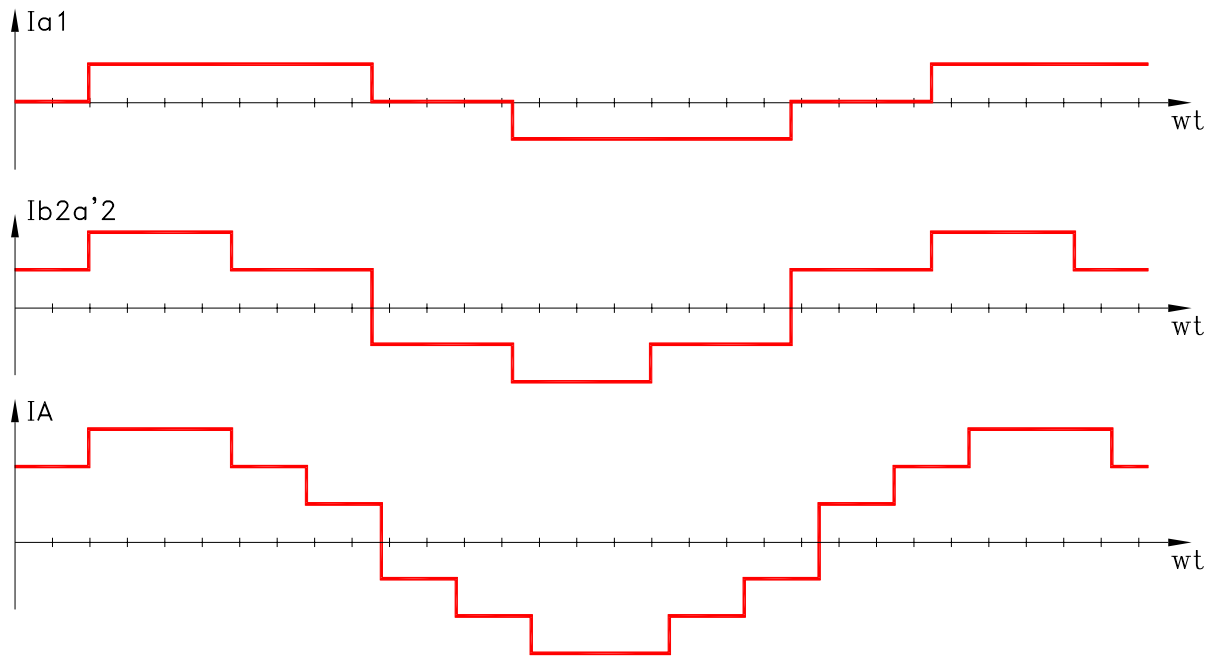


FIGURA 5 - CORRENTES I_{a_1} , $I_{b_2a_2}$ e I_A $\alpha = 0^\circ$, $\mu = 0^\circ$

A corrente I_A ilustrada na FIGURA 5 possui harmônicos característicos obedecendo a relação $12q \pm 1$, sendo $q=1, 2, 3, 4, \dots$

Logo aparecerão apenas os harmônicos 11, 13, 23, 25..., sendo eliminados portanto o 5º e 7º harmônicos.

2.2 - FORMAS DE ONDA DE CORRENTES E TENSÕES

A tensão de saída do conversor de 12 pulsos pode ser obtida pela soma das formas de onda de tensões das duas pontes conversoras. As FIGURAS 6 e 7 ilustram as formas de onda de tensões e correntes do conversor de 12 pulsos, respectivamente para os ângulos de disparo 30° e 150° e ângulo de comutação de 15° . Tem-se para o ângulo de disparo de 30° o conversor funcionando como retificador e para o ângulo de disparo de 150° o conversor funcionando como inversor.

3 - CONVERSOR SEMICONTROLADO

A FIGURA 9 ilustra o conversor semicontrolado em que uma das pontes totalmente controlada foi substituída por uma ponte não controlada a diodos.

A FIGURA 8 ilustra as formas de onda de tensões e correntes do conversor semicontrolado para ângulo de disparo 30° e ângulo de comutação 0° .

O conversor semicontrolado tornou-se um conversor de 6 pulsos, como pode ser constatado na FIGURA 8.



FIGURA 6 - FORMAS DE ONDA PARA CONVERSOR DE 12 PULSOS $\alpha = 30^\circ$, $\mu = 15^\circ$

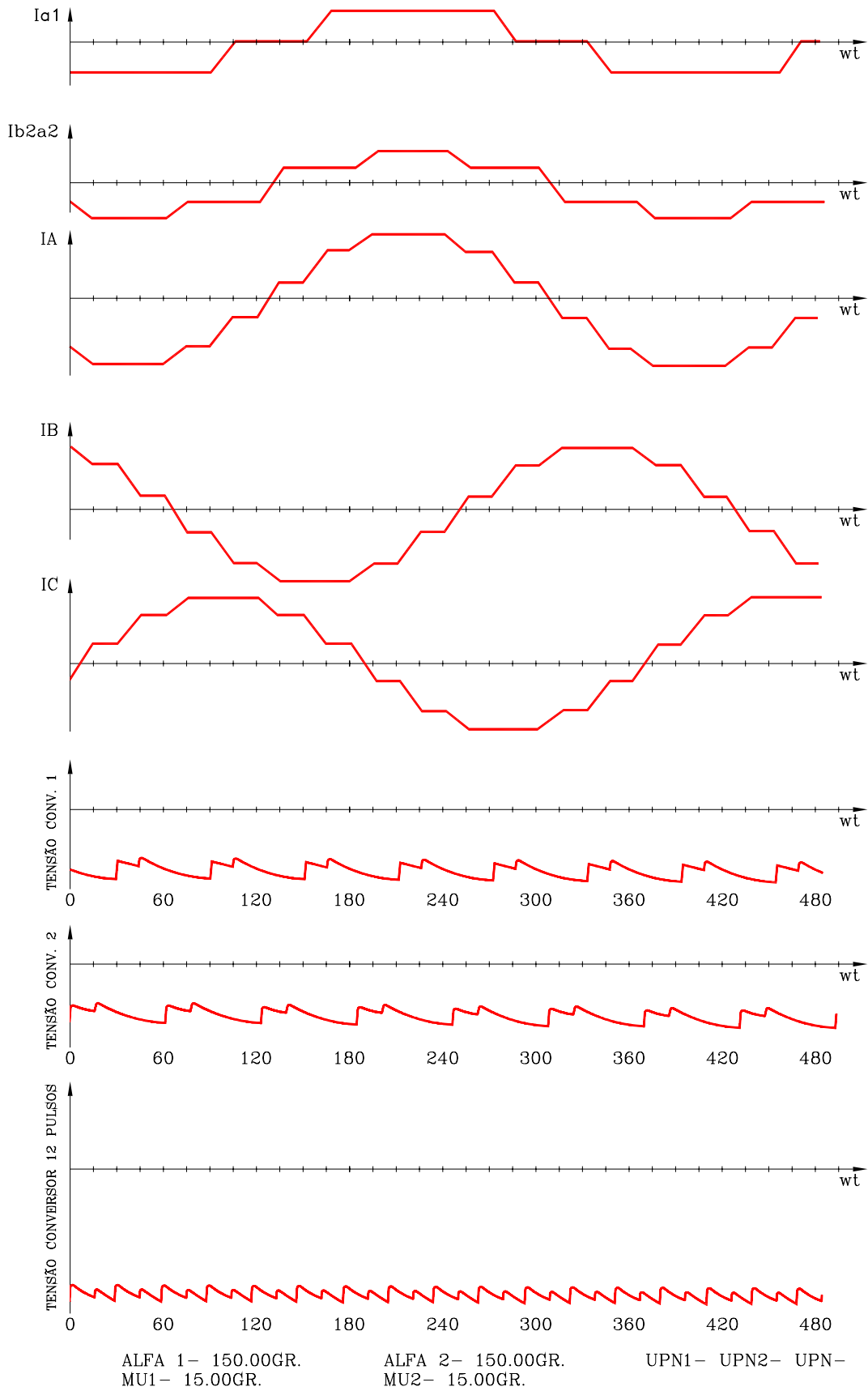


FIGURA 7 - FORMAS DE ONDA PARA CONVERSOR DE 12 PULSOS $\alpha = 150^\circ$, $\mu = 15^\circ$

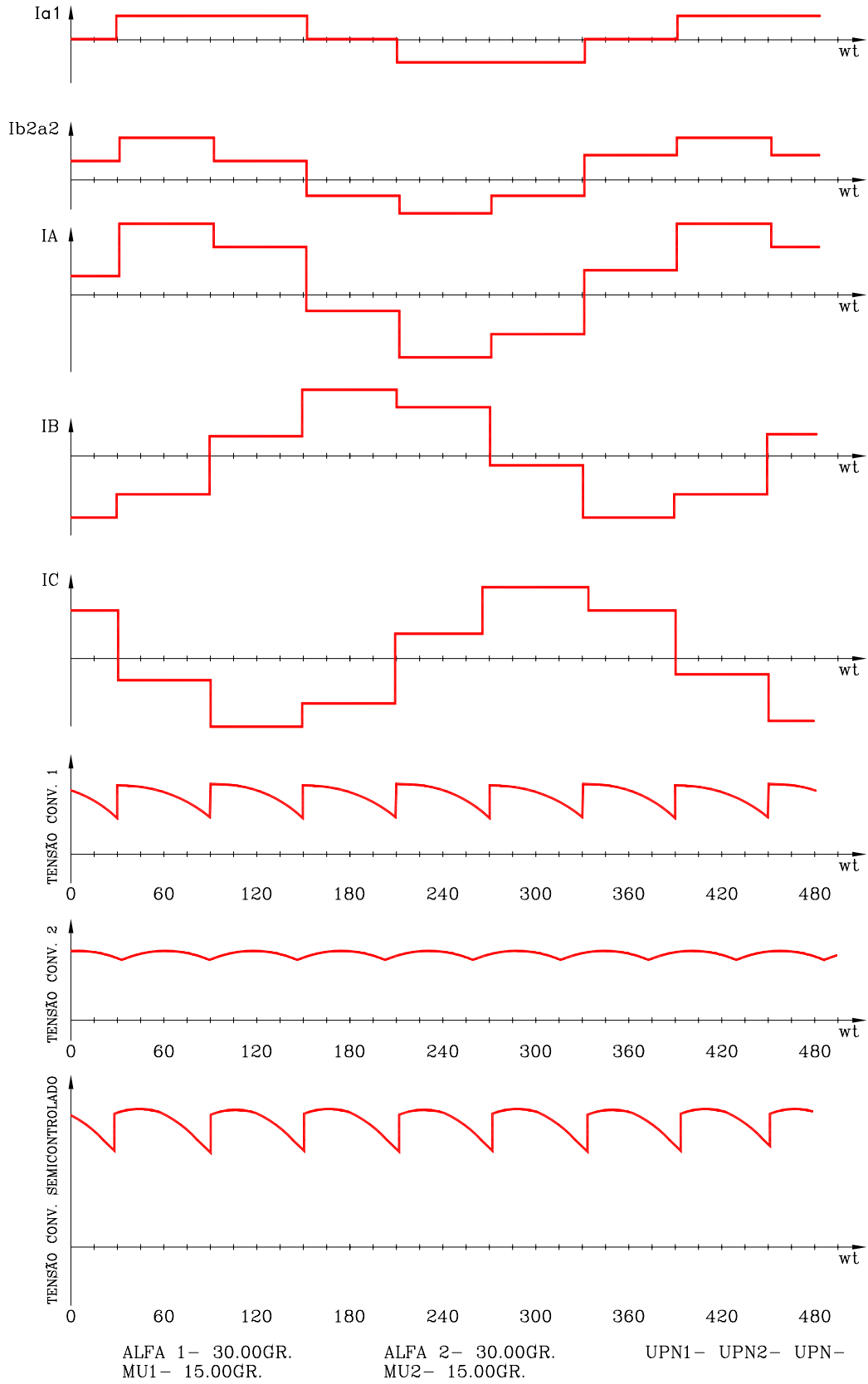


FIGURA 8 - FORMAS DE ONDA PARA CONVERSOR SEMI-CONTROLADO
 $\alpha = 30^\circ, \mu = 0^\circ$

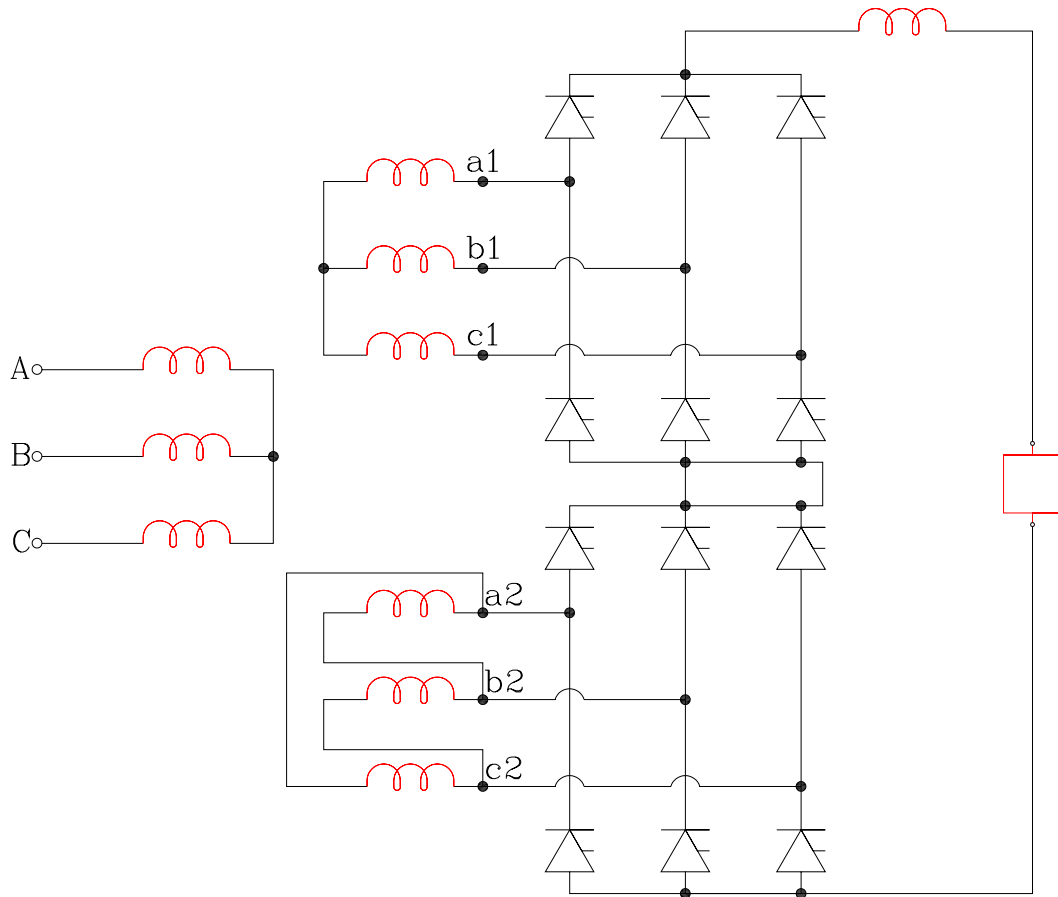


FIGURA 9 - CONVERSOR SEMICONTROOLADO

4 - CONCLUSÕES

O programa de simulação das correntes e tensões desenvolvido se mostrou bastante útil e eficiente. Elaborou-se um manual de utilização bastante simples e objetivo e o mesmo vem sendo utilizado sem problemas pelos usuários. O Programa de simulação desenvolvido permite uma ampliação para simulação de correntes e tensões em sistemas multiconversores de 24, 36 e 48 pulsos.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PELLY, B. R., (1971). “Thyristor Controlled Converters and Cycloconverters”, Wiley-Interscience, New York.

REZEK, A. J. J., (1986). “Análise em Regime Permanente e Transitório de um Sistema de Conversão de Energia Elétrica AC/DC”, Dissertação de mestrado EFEI/1986.

REZEK A. J. J. & Abreu J. P. G. (1988) “Análise e Simulação de Correntes e Tensões em Sistemas Multiconversores com a Utilização de Transformador Especial”, Proceedings International AMSE Conference “Modelling & Simulation”, Rio de Janeiro (Brazil) October 13-15, 1988 Vol. 2 pp 97-108.

REZEK, A. J. J. & Cogo, J. R. & Sá, J. S. & ABREU, J. P. G. (1989) “Analysis and Simulation of short Circuit Currents in 6 and 12 pulse Converters”, Anais II Sepope – São Paulo – SP – Brazil.

Comentários ou **Sugestões** relativos a

Artigos

publicados nesta revista podem ser encaminhados à
Editora/EFEI