

ANÁLISE DO RETIFICADOR DE 12 PULSOS UTILIZANDO A CONEXÃO POLÍGONO DE TRANSFORMADORES.

Eduardo Ozanique Guarizo, Falcondes José Mendes de Seixas, Priscila da Silva Oliveira – Eletrônica de Potência - Engenharia Elétrica - Departamento de Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira.

INTRODUÇÃO

Atualmente, muitas cargas não lineares têm sido introduzidas nos sistemas elétricos industriais, comerciais e também residenciais. Principal exemplo disto são os circuitos retificadores, geralmente usados no estágio de entrada de conversores ca-cc ou em fontes de alimentação dos mais diversos tipos de processadores de energia elétrica. Estas cargas não lineares, além de degradarem a tensão da rede, reduzem o fator de potência. Isto ocorre não somente devido ao deslocamento do componente fundamental de corrente em relação à tensão, mas principalmente pela natureza pulsante desta corrente, responsável pela elevada distorção harmônica.

Para as empresas que gerenciam o setor de energia elétrica, uma elevada Taxa de Distorção Harmônica (THD - Total Harmonic Distortion) é sinônimo de prejuízo, o que torna redução do índice de harmônico de corrente uma necessidade crescente. No Brasil, devido à carência de normas técnicas atualizadas nesta área, tomam-se como referência normas reguladoras internacionais no sentido de limitar os níveis de distorção harmônica da corrente injetada à rede e reduzir o nível de interferência eletromagnética. Em 1975, a norma européia EN50006 foi apresentada pela CENELEC (Commission Européen pour la Normalisation Eléctrique) e substituída, em 1982, pela IEC (International Electrotechnical Commission) de número 555 e revisada em 1991 [5].

Os principais padrões, atualmente, são o europeu IEC-61000-3-4 e o americano IEEE-519 que estão ainda mais rígidos quanto aos níveis de THD e de interferência eletromagnética [1, 2].

Os retificadores trifásicos, que são o principal enfoque deste trabalho, também são beneficiados por muitas técnicas passivas e ativas de redução de harmônicos de corrente, porém, novas técnicas que aproveitam as características próprias dos sistemas trifásicos têm sido cada vez mais exploradas. Estas técnicas utilizam como base os retificadores de múltiplos pulsos, cujas correntes de linha são formadas pelo componente fundamental e pelos componentes harmônicos de ordens $k.n \pm 1$ ($p/k=1,2,3...$ e n = número de pulsos).

Neste trabalho é analisada uma destas técnicas: a que utiliza um transformador defasador de tensão com conexões polígono dos secundários. Através desta conexão podem-se alimentar retificadores trifásicos de seis pulsos, formando os múltiplos pulsos.

METODOLOGIA

Para analisar este retificador de 12 pulsos, fez-se, inicialmente, uma revisão bibliográfica de temas relacionados às conexões de transformadores e aos circuitos retificadores. Também foi revisada a teoria de fator de potência e de harmônico. Na sequência realizou-se o estudo matemático por diagramas fasoriais [3] seguido de simulações digitais, através do programa Pspice. Nesta etapa foram estudadas formas de ondas para transformadores com conexões estrela, delta e polígono, sendo esta última utilizada nos secundários do transformador para simulação dos retificadores de 6 e 12 pulsos, definindo de forma precisa o fator de potência e a distorção harmônica total. Foram feitas análises individuais para os fatores de distorção harmônica de corrente e de deslocamento entre os componentes fundamentais de tensão e corrente de alimentação.

O retificador de 12 pulsos foi simulado para uma potência de 1kW. A partir dos resultados obtidos na simulação, mais os resultados obtidos através de fórmulas matemáticas para a implementação de transformadores [4], será feita a última etapa do projeto: a implementação de um protótipo de 1kW, formado por um transformador defasador, com dois secundários conectados a dois retificadores de seis pulsos, montados sobre um dissipador de calor, e duas cargas indutivas idênticas, o que será implementado e ensaiado.

RESULTADOS

Aplicando a lei dos senos no triângulo formado pelas tensões dos enrolamentos primário, secundário e auxiliar, obtém-se a relação da expressão (1).

A relação de espiras próprias entre os enrolamentos primário e secundário é obtida através da expressão (2).

E a relação de espiras próprias entre os enrolamentos primário e auxiliar é obtida através da expressão (3).

$$\frac{V_{ab}}{\text{sen}(120^\circ)} = \frac{V_{a2}}{\text{sen}(\alpha)} = \frac{V_{s1}}{\text{sen}(60 - \alpha)} \quad (1)$$

$$\frac{V_{12}}{V_{s1}} = \frac{N_{p1}}{N_{s1}} = K \quad \longrightarrow \quad \frac{L_{p1}}{L_{s1}} = K^2 \quad (2)$$

$$\frac{V_{12}}{V_{a1}} = \frac{N_{p1}}{N_{a1}} = K_a \quad \longrightarrow \quad \frac{L_{p1}}{L_{a1}} = K_a^2 \quad (3)$$

Com as relações de espiras obtêm-se os valores das indutâncias a serem usadas nos enrolamentos para simulação. Assim, primeiramente, obtiveram-se os valores teóricos necessários para simulação do conversor de 12 pulsos através das expressões (1), (2) e (3).

Nesta simulação é possível observar o defasamento angular obtido, que neste caso é de 30° entre as formas de onda dos secundários.

A figura 1 mostra as tensões para uma fase dos enrolamentos secundários, que estão defasadas de 30° entre si, e a tensão no primário, ilustrando que um dos secundários está atrasado de 15° e o outro está adiantado de 15° em relação à tensão no primário.

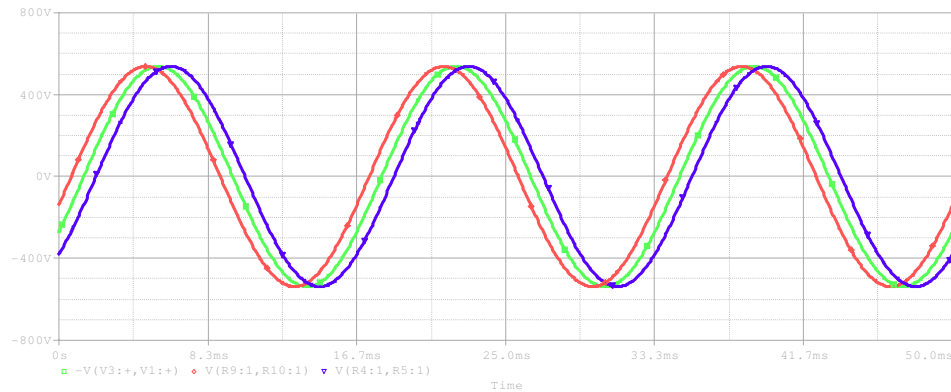


Figura 1: Tensões no primário e nos secundários para uma fase.

Na figura 2 são mostradas as tensões retificadas aplicadas nas cargas.

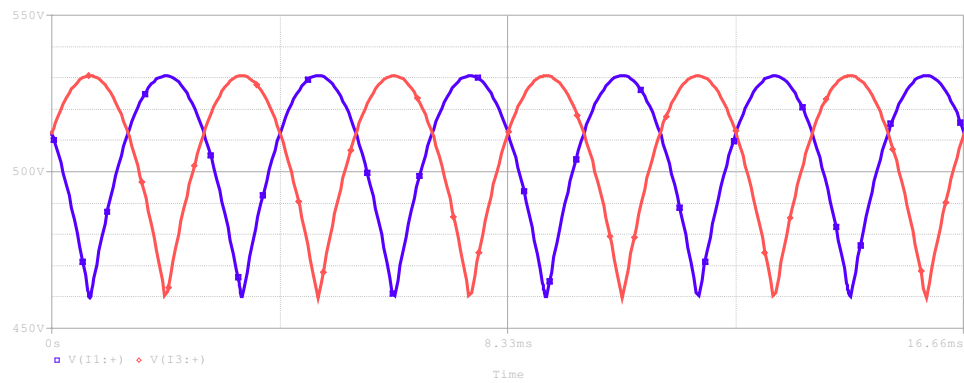


Figura 2: Tensões retificadas aplicadas às cargas .

A corrente que circula através de uma fase do primário, e também a tensão desta mesma fase, podem ser vistas na figura 3, onde é possível observar o formato, da corrente, próximo ao do senoidal formado pelos 12 pulsos do conversor.

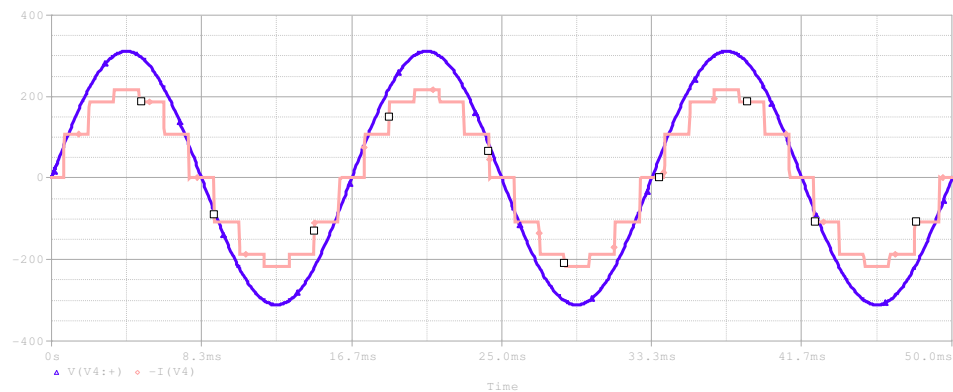


Figura 3: Corrente e tensão para uma mesma fase.

A Figura 4 mostra o espectro harmônico obtido na simulação deste conversor de 12 pulsos, onde podem ser vistos os harmônicos fundamental, 11°, 13°, 23°, 25°, 35° e 37°.

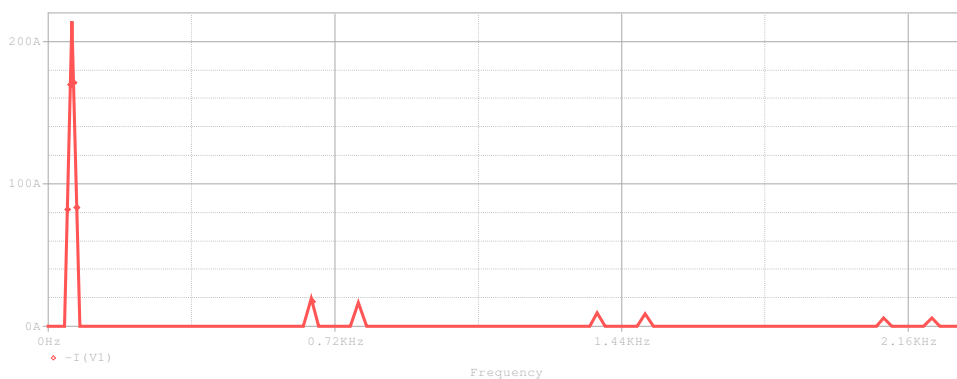


Figura 4: Espectro harmônico da corrente da rede.

CONCLUSÕES

A conexão polígono pode defasar um sistema em ângulos menores que 60° , com o uso de transformador elevador e em ângulos menores que 120° , com o uso de transformador abaixador.

O número de pulsos múltiplos de seis determina o número de retificadores trifásicos em ponte completa que são utilizados. Cada conversor é alimentado por um sistema trifásico, isolado eletricamente da rede, gerado no secundário do transformador. O retificador de múltiplos pulsos elimina naturalmente os componentes harmônicos da corrente da rede de ordem diferente de $k \cdot P \pm 1$ ($p/k=1,2,\dots$ e $P =$ número de pulsos).

A THD está diretamente ligada ao número de pulsos do conversor. Com isso, quanto mais pulsos tiver o conversor, maior será a redução da THD.

A análise por simulação mostra que o conversor estudado retifica a corrente em 12 pulsos e elimina os componentes harmônicos de ordens diferentes de $k \cdot P \pm 1$ ($p/k=1,2,\dots$ e $P = 12$ pulsos, neste caso), o que será comprovado pelo protótipo em construção.

O transformador do retificador não apresenta problema de saturação com componente contínua, pois as correntes através dos enrolamentos primário e secundário são alternadas com valor médio nulo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION: IEC-61000-3-4. *Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 3-4. Limitation of Emission of Harmonic Currents in Low-voltage Power Supply Systems for equipment with Rated Current Greater than 16A*, 1998.
- [2] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS: IEEE-519. *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*, 1992.
- [3] PAICE, D. A. *Power Electronic Converter Harmonic Multipulse Methods for Clean Power*. New York. IEEE Press, 1996.
- [4] MARTIGNONI, Alfonso. *Transformadores*, São Paulo. Globo, 1991.
- [5]. GONÇALVES, V. A. Redução de Harmônicos de Corrente em Retificadores de Múltiplos Pulsos – Generalização das Conexões Diferencial. Ilha Solteira, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), UNESP - Universidade Estadual Paulista.

Bolsa: FAPESP