

PROPOSTA DE UM AUTOTRANSFORMADOR PARA CONVERSORES DE POTÊNCIA

José Policarpo G. Abreu

Carlos A. M. Guimarães

Gilson Paulillo*

GQEE/DET/IEE

Escola Federal de Engenharia de Itajubá
Av. BPS, 1303 - 37500-000 - Itajubá - MG - Brasil

e-mail: gilsonp@iee.efei.rmg.br

*Autor para contato

Resumo: O objetivo deste trabalho é apresentar um novo modelo de autotransformador aplicado na alimentação de sistemas multiconversores. Além disso, o estudo contempla a viabilidade técnico-econômica do conjunto transformador-conversor e os problemas acarretados pelos efeitos harmônicos. São apresentadas, ainda, as formas de onda das tensões e correntes de entrada e de saída para o arranjo proposto, obtidas a partir de simulação.

Palavra-chave: Sistemas multiconversores, autotransformador defasador, harmônicos.

Abstract - The aim of this paper is to present a new type of autotransformer to feed power converters. It is also shown the technical as well as the economical feasibility of the transformer-converter set. Problems due to harmonics effects are taken in account. By means of an analysis it is shown that: ADZ is a new and effective option for power converters; using this new transformer type interaction between power converters and electrical system is improved regarding harmonic effects; and magnetomotive forces (mmf) are balanced for several cases. Waveform for input and output sides are also presented. At last, to make this power converter well suited for a such application a new and special autotransformer called ADZ [1,2] is analyzed.

Keywords: Multiconverter systems, phase-shift autotransformer, harmonics.

1. INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento apresentado pelos componentes eletrônicos de potência privou a aplicação de determinadas configurações consideradas anteriormente inviáveis face às potências envolvidas. Entretanto, atualmente estas opções tornaram-se completamente viáveis para muitas aplicações industriais. Avaliando-se o sistema em sua totalidade, especialmente quando o desempenho técnico é um dos parâmetros a se ponderar, muitas configurações clássicas também surgem como interessantes possibilidades. Todavia, estas acabam não tendo uma extensa aplicação devido a fatores diversos, tais como: o número de semicondutores, circuitos de controle mais precisos e sofisticados, conexões mais complexas, proteção mais sensível, dentre outros.

Neste sentido, há a necessidade de se revisar alguns tópicos relativos aos princípios de funcionamento e desempenho dessas configurações clássicas, bem como de algumas alternativas. Outro importante aspecto a se considerar na estrutura do sistema conversor, de acordo com a aplicação, recai sobre o transformador alimentador. Muitas vezes, como será demonstrado, são eles os responsáveis pelo defasamento das tensões de saída.

2. SISTEMAS MULTICONVERSORES

Geralmente, os sistemas multiconversores não necessitam de alteração no nível de tensão do barramento, mas somente alteração no ângulo de fase da tensão de saída do transformador alimentador. Por esta razão, torna-se muito comum a utilização de transformadores defasadores concebidos especialmente para esta tarefa. Estes são chamados especiais devido à facilidade na obtenção de defasagens não convencionais e ao emprego de conexões especiais, comparando-se àquelas utilizadas habitualmente.

2.1. Transformador Delta Estendido

A topologia Delta Estendido (que a partir deste ponto será chamada DE) pode substituir, com algumas vantagens, algumas topologias tradicionais [3]. Esta, por permitir defasagens não convencionais, tornou-se muito utilizada na alimentação de sistemas multiconversores.

Seja o sistema apresentado na figura 1, onde um sistema multiconversor de 24 pulsos está representado utilizando quatro transformadores Y/DE. Tomando-se o equacionamento destas

unidades, determinou-se o balanço das forças magneto-motrizas (fmm). Isto resultou em (1).

$$K_1 I_a = \left[K_2 i_{aDE1} - K_3 \left(\frac{i_{bDE1} - i_{aDE1}}{3} \right) \right] + \left[K_4 i_{aDE2} - K_5 \left(\frac{i_{bDE2} - i_{aDE2}}{3} \right) \right] + \left[K_4 i_{aDE3} - K_5 \left(\frac{i_{bDE3} - i_{aDE3}}{3} \right) \right] + \left[K_2 i_{aDE4} - K_3 \left(\frac{i_{bDE4} - i_{aDE4}}{3} \right) \right] \quad (1)$$

As figuras 2 e 3 apresentam as formas de onda da tensão de saída e da corrente de entrada para o conversor apresentado na figura 1.

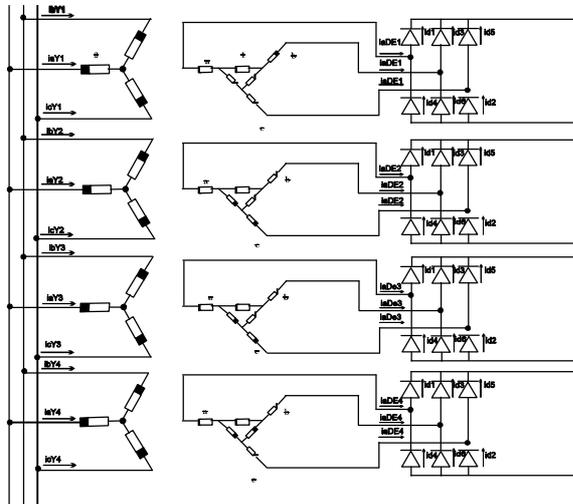


Figura 1 - Sistema conversor utilizando transformadores Y/DE.

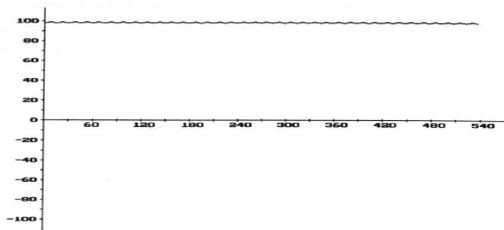


Figura 2 - Tensão de Saída.

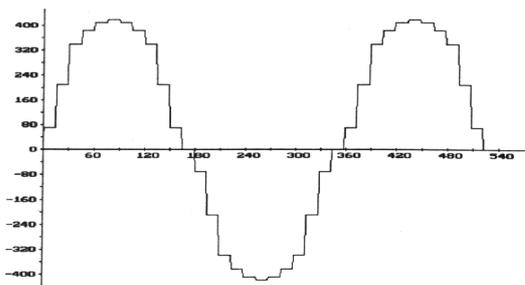


Figura 3 - Corrente de alimentação. 3. SISTEMA MULTICONVERSOR ADZ/Δ/HEXAFÁSICO

Em relação à aplicação de transformadores especiais, é notório que para pequenas relações de transformação, os autotransformadores podem substituir, com vantagens, os transformadores convencionais. Com base nesta informação, surgiu a idéia de se utilizar o autotransformador defasador ADZ em conjunto com a configuração Δ/Hexafásica do conversor.

Utilizando esta nova topologia, na Figura 4 é apresentada a configuração básica de um sistema conversor de 24 pulsos. Cada conexão Δ é alimentada por um conjunto de tensões adequadamente defasadas pelo ADZ.

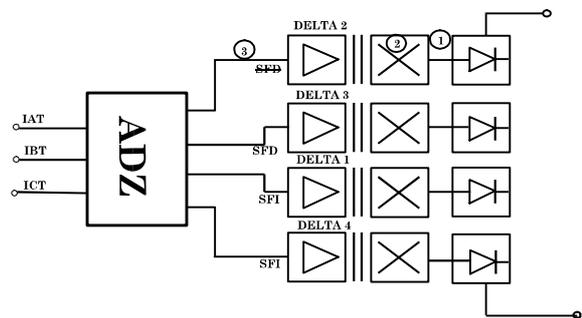


Figura 4 - Sistema conversor ADZ/Δ/Hexafásico.

3.1 - Balanço das Forças Magneto-motrizas do conversor

O balanço das forças magneto-motrizas do conversor aqui proposto pode ser obtido através da análise de somente uma das colunas do núcleo magnético do transformador, de acordo com a Figura 5.

Baseando-se nesta figura, e considerando defasagens de $-7,5^\circ$ e $-22,5^\circ$, obtem-se (2).

$$I_{AT} = k_1 I_{AN} - k_2 I_{C\Delta 2} + k_3 I_{B\Delta 2} + k_4 I_{C\Delta 1} + k_5 I_{B\Delta 1} \quad (2)$$

Analogamente, para defasagens de $+7,5^\circ$ e $+22,5^\circ$, determina-se (3).

$$I_{AT} = k_1 I_{AN} - k_2 I_{B\Delta 3} + k_3 I_{C\Delta 3} + k_4 I_{B\Delta 4} + k_5 I_{C\Delta 4} \quad (3)$$

Onde, em (2) e (3), estes parâmetros são definidos como:

I_{AT} = corrente de aliment. da fase A do autotransf.;
 I_{AN} = corrente no enrolamento principal da fase A do

autotransformador;

$I_{A\Delta n}$, $I_{B\Delta n}$ e $I_{C\Delta n}$ = corrente de alimentação nas fases A, B e C do DE, respectivamente;

k_n = relação entre o número de espiras.

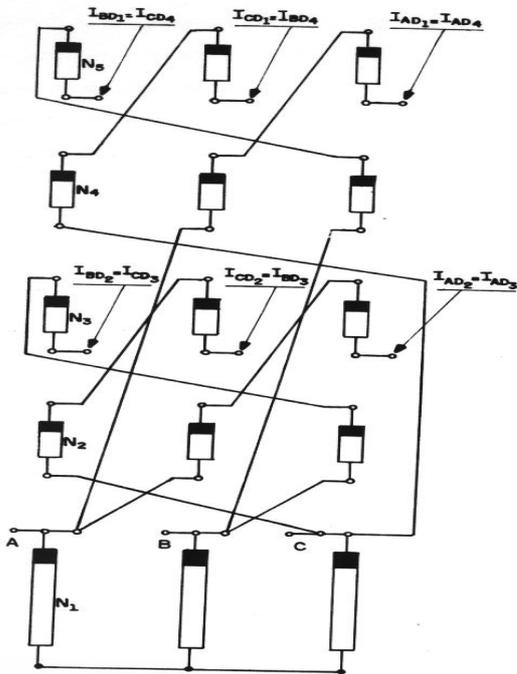


Figura 5 - Balanço fmm.

3.2 Análise Harmônica da Corrente de Entrada

Através de um programa especialmente desenvolvido para esta tarefa, o sistema conversor apresentado foi simulado. Como resultado, foi obtida a forma de onda da corrente de entrada. Através dessa base de dados (2048 amostras do sinal), submetida a uma análise via Transformada Rápida de Fourier, verificou-se o espectro harmônico resultante. Os resultados encontrados estão sintetizados na Tabela 1 e as formas de onda da tensão de saída e da corrente de alimentação do conversor mostradas nas figuras 6 e 7, respectivamente.

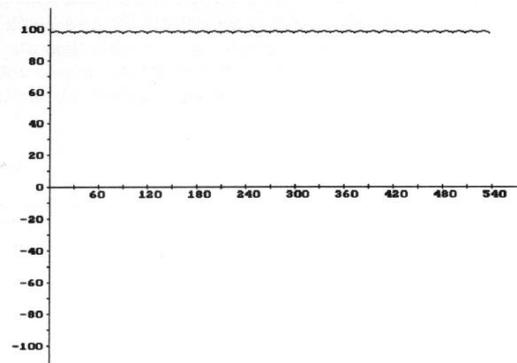


Figura 6 - Tensão de saída.

| Ordem harm. | I_h / I_1 % | Ordem harm. | I_h / I_1 % | Ordem harm. | I_h / I_1 % |
|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|
| 1 | 100 | 21 | 0.0179 | 41 | 0.6601 |
| 2 | 0.0179 | 22 | 0.0179 | 42 | 0.0452 |
| 3 | 0.0187 | 23 | 4.3402 | 43 | 0.2933 |
| 4 | 0.0206 | 24 | 0.0145 | 44 | 0.5967 |
| 5 | 0.2523 | 25 | 0 | 45 | 0 |
| 6 | 0.0179 | 26 | 0 | 46 | 0.5167 |
| 7 | 0.8137 | 27 | 0 | 47 | 0.2933 |
| 8 | 0.0145 | 28 | 0 | 48 | 0.4700 |
| 9 | 0.0479 | 29 | 0 | 49 | 0.6601 |
| 10 | 0.0179 | 30 | 0.3026 | 50 | 0.2933 |
| 11 | 0.3504 | 31 | 0.2933 | 51 | 0.3590 |
| 12 | 0.0206 | 32 | 0.5746 | 52 | 0 |
| 13 | 0.1866 | 33 | 0.6602 | 53 | 0 |
| 14 | 0.0179 | 34 | 0.1933 | 54 | 0 |
| 15 | 0.4780 | 35 | 0.2933 | 55 | 0 |
| 16 | 0.0145 | 36 | 0.1344 | 56 | 0 |
| 17 | 0.4090 | 37 | 0 | 57 | 0 |
| 18 | 0.0179 | 38 | 0.7269 | 58 | 0 |
| 19 | 0.1290 | 39 | 0.2933 | 59 | 0 |
| 20 | 0.0205 | 40 | 0.6724 | 60 | 0 |

Tabela 1 - Harmônicos de corrente para o conversor ADZ/ Δ /HEXAFÁSICO.

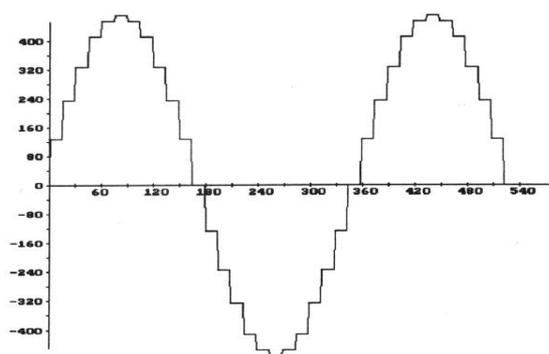


Figura 7 - Corrente de entrada.

4. CONCLUSÕES

Geralmente, tanto os sistemas conversores convencionais, quanto os não convencionais, necessitam de defasagens nos sinais de alimentação de acordo com o número de pulsos do conversor. De acordo com a aplicação, no caso por exemplo de um conversor de 24 pulsos, onde as defasagens necessárias são menores que 30° , as conexões clássicas (do tipo Δ/Y) não possibilitam obter diretamente os ângulos para operação do conversor. Portanto, soluções alternativas são empregadas a fim de se permitir um ajuste fino no controle da amplitude e do ângulo de fase da tensão de alimentação.

Ademais, excetuando-se a defasagem dos sinais de entrada, sabe-se que não há necessidade de se empregar, na alimentação de sistemas conversores, transformadores com grandes relações de transformação. Para tanto, é comum a utilização de transformadores especiais em zigue-zague ou DE.

Porém, conforme [1] e [4], para pequenas relações de transformação, o autotransformador pode substituir, com vantagens, tanto o transformador convencional, quanto o especial. Neste sentido, conclui-se com este trabalho que o ADZ constitui-se como uma nova e efetiva alternativa para a alimentação de sistemas multiconversores, pois reúne, em um único equipamento, todas as características anteriores e possibilita, ainda, o ajuste no nível da tensão de alimentação controlando, simultaneamente, o seu módulo e o seu ângulo de fase.

5. REFERÊNCIAS

- [1] - Abreu, J.P.G. - “Desenvolvimento e Implementação de um Phasor Controller”, Tese de Doutorado - Unicamp - Campinas - Brasil - 1991;
- [2] - Pitta, A. J. C. - “Autotransformador Defasador para Conversores Estáticos”, Dissertação de Mestrado - EFEI - Itajubá - Brasil - 1995;
- [3] - Carlsson, L. - “Extended Delta Converter Transformer for 12-Pulse Operation in HVDC Projects”, Seminar on HVDC Transmission - Rio - Brasil - 1986;
- [4] - Olivier, G., April, G.E., Ngandui, E., Guimarães C. - “Novel Transformer Connection to Improve Current Sharing in High DC Rectifiers”, IEEE Transactions on Industry Applications - Vol. 31 - Nº 1, pp. 127 a 133 - 1995;
- [5] - Bozec, C. et Courault, J. - “Les Redresseurs de Forte Puissance pour les Applications statiques de L'Electricité”, Révue Générale d'Electricité - 5/92, pp. 85-91, 1992;
- [6] - Ngandui, E. - “Étude d'un Nouveau Convertisseur Dodecphasé”, Master Dissertation, École Polytechnique de Montréal - Canada - 1991.