

Filtros Activos Paralelos para Compensação Dinâmica de Problemas de Corrente em Sistemas Monofásicos e Trifásicos

R. Pregitzer, J. G. Pinto, P. Neves, Luís F. C. Monteiro, João L. Afonso

Universidade do Minho
Campus de Azurém
Departamento de Electrónica Industrial
4800-058 Guimarães

Email: {rpregitzer, gpinto, pneves, lmonteiro, jla}@dei.uminho.pt

Resumo

Este artigo apresenta resultados experimentais de um Filtro Activo Paralelo Trifásico a 4 fios e de um Filtro Activo Paralelo Monofásico. O filtro activo trifásico tem a capacidade de compensar harmónicos de corrente, factor de potência e desequilíbrios de corrente. Já o filtro activo monofásico compensa harmónicos de corrente e factor de potência.

Ambos os filtros têm o sistema de controlo baseado na teoria da potência instantânea (Teoria p-q), que foi implementado num DSP, e utilizam inversores a dois níveis do tipo fonte de tensão com controlo de corrente. Resultados experimentais dos filtros activos mencionados são apresentados.

Palavras-chave: Filtros Activos de Potência, Qualidade da Energia Eléctrica, Teoria p-q.

1. Introdução

A utilização generalizada de cargas não-lineares tais como variadores de velocidade, UPS, rectificadores, entre outras, são responsáveis pela deterioração da Qualidade da Energia Eléctrica, que por sua vez resulta em prejuízos económicos para a Indústria.

As soluções tradicionais para mitigar harmónicos de corrente (filtros LC sintonizados), ou compensação do factor de potência (bancos de condensadores) só resolvem um único problema, e em certas situações são causadoras de ressonâncias no sistema eléctrico que provocam a destruição de alguns equipamentos, para além de outros inconvenientes.

Uma solução mais recente consiste em aplicar um Filtro Activo Paralelo, que tem a capacidade de compensar dinamicamente harmónicos de corrente e factor de potência, sem que ocorram os problemas de ressonância. Uma vez que o filtro activo mitiga os problemas relacionados ao conteúdo harmónico das correntes da carga, a eficiência do sistema eléctrico aumenta.

O Filtro Activo Paralelo Trifásico a 4 fios, cujo protótipo desenvolvido na Universidade do Minho é apresentado na Figura 1, tem a capacidade de simultaneamente compensar harmónicos de corrente, factor de potência e desequilíbrios, o que faz com que a montante do filtro, o sistema eléctrico forneça apenas três correntes sinusoidais, equilibradas e com factor de potência unitário. Este tipo de equipamento pode inclusivamente injectar energia de proveniente de painéis solares e pequenas unidades eólicas, apenas com pequenas adaptações [1].

Apesar da necessidade de equipamentos de compensação de qualidade de energia ser mais evidente nos sistemas trifásicos dos grandes consumidores industriais, onde as

quebras de produção resultantes de problemas de qualidade de energia podem ser muito avultadas, actualmente, a utilização massiva de computadores, impressoras, fotocopiadoras e outros equipamentos em escritórios e habitações particulares alimentadas por sistemas monofásicos provoca sérios problemas de qualidade de energia. Neste contexto desenvolveu-se também na Universidade do Minho um Filtro Activo Paralelo Monofásico, cujo protótipo é apresentado na Figura 2.

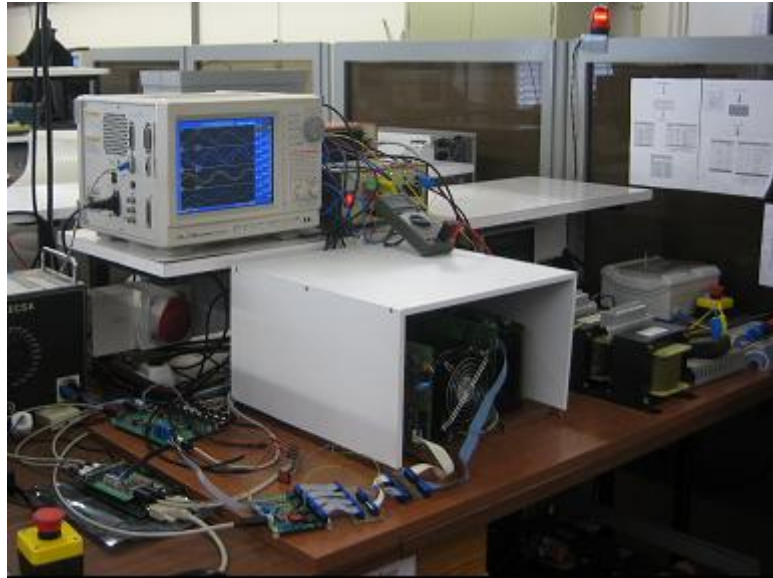


Figura 1 – Protótipo do Filtro Activo Paralelo Trifásico a 4 fios.

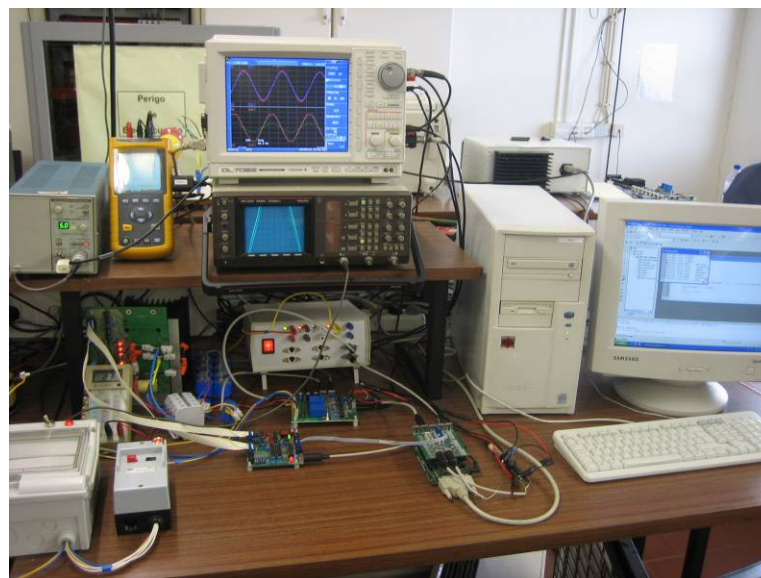


Figura 2 – Protótipo do Filtro Activo Paralelo Monofásico.

2. Topologia de Hardware

O controlador do Filtro Activo Paralelo Trifásico, utiliza como sinais de entrada as três tensões v_a , v_b e v_c , as 3 correntes de carga i_a , i_b e i_c e também a tensão no lado CC do inversor, V_{CC} . O objectivo é que as correntes do lado da fonte i_{sa} , i_{sb} e i_{sc} se tornem sinusoidais, com factor de potência unitário e equilibradas. Para o protótipo

desenvolvido foi utilizado um inversor do tipo fonte de tensão de 2 níveis com 4 braços que está ilustrado na Figura 3.

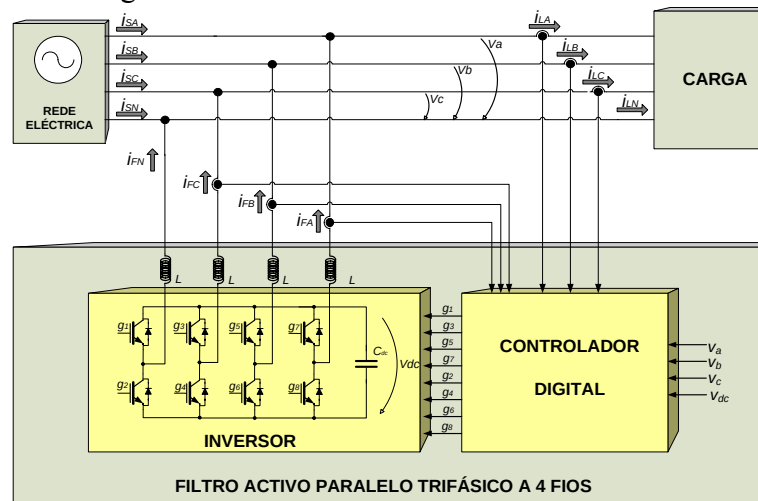


Figura 3 – Esquema simplificado do Filtro Activo Paralelo Trifásico a 4 fios.

O princípio de funcionamento do Filtro Activo Paralelo Monofásico é semelhante ao do filtro trifásico. Neste caso é lida a tensão do sistema, v_{ac} , a corrente da carga, i_L e a tensão do lado CC, V_{dc} . Quando o filtro está em operação em regime permanente a corrente da fonte, i_s , será sinusoidal e com factor de potência unitário. Na Figura 4 é possível observar o esquema simplificado do Filtro Activo Paralelo Monofásico desenvolvido que utiliza um inversor tipo fonte de tensão de ponte completa.

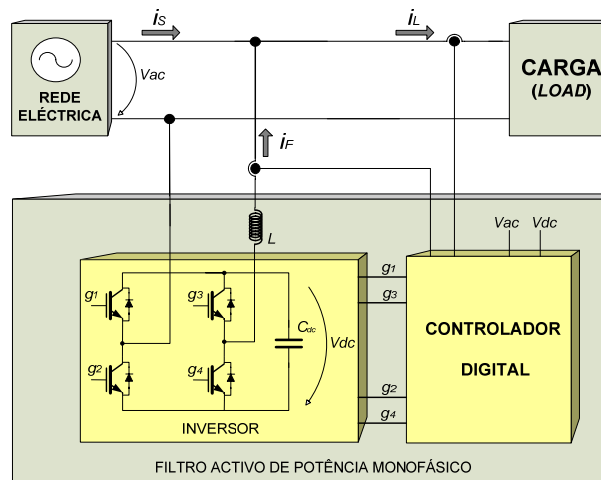


Figura 4 – Esquema simplificado do Filtro Activo Paralelo Monofásico.

3. Sistema de Controlo

O controlador de ambos os Filtros Activos Paralelos é baseado na teoria da potência instantânea (Teoria p-q) desenvolvida por *Akagi et. al.* [2] e expandida para sistemas trifásicos a 4 fios por *Aredes et. al* [3]. Esta teoria permite a implementação do sistema de controlo dos filtros activos de uma forma simples e eficaz, uma vez que os cálculos consistem apenas em operações algébricas que podem ser realizadas com aritmética do tipo inteiro [4]. É assim possível implementar controladores digitais utilizando DSP *standard*, com um mínimo de hardware adicional. Na implementação de ambos os filtros activos foram usados DSP da *Texas Instruments* TMS320F2812 [5].

Convencionalmente a Teoria p-q é aplicável apenas a sistemas trifásicos. No entanto, é possível, com pequenas alterações, desenvolver estratégias que permitem aplicar esta teoria a sistemas monofásicos, tal como foi demonstrado em [6] e [7]. A técnica utilizada neste artigo consiste em criar duas tensões e duas correntes virtuais com a mesma amplitude das grandezas medidas, mas desfasadas entre si de 120°, formando um sistema trifásico virtual. Da aplicação da Teoria p-q a este sistema virtual resultam três correntes de compensação, uma das quais é utilizada como referência para controlar o inversor de potência.

A nível do disparo dos IGBTs é utilizada a mesma técnica para os dois filtros activos que comutam a 16 kHz. A técnica PWM sinusoidal com ganho proporcional tem a vantagem de apresentar melhores resultados quando estão a ser geradas correntes com um conteúdo harmónico elevado. A figura seguinte mostra o diagrama de blocos, para um braço do inversor, da técnica de comutação utilizada, que está descrita com maior detalhe em [8].

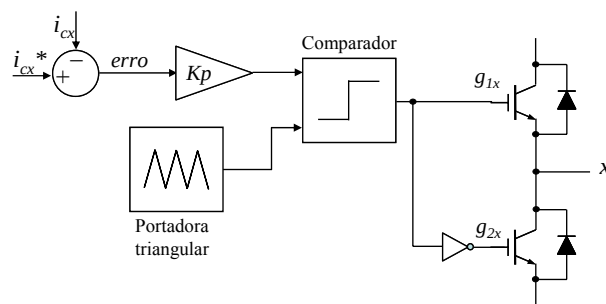


Figura 5 – Diagrama de blocos da técnica de comutação aplicada em ambos os filtros activos.

4. Resultados Experimentais dos Filtros Activos Trifásico e Monofásico

Para ensaiar o Filtro Activo Paralelo Trifásico foi utilizado um conjunto de cargas lineares e não-lineares, ligadas a um sistema eléctrico com uma tensão de 75 V entre fase e neutro que se traduziram em formas de onda de corrente desequilibradas com factor de potência indutivo e harmónicos. Na Figura 3 é possível visualizar as formas de onda das tensões no sistema e das correntes na carga. Na Figura 6 são apresentadas as formas de onda das tensões no sistema e das correntes na fonte que ficam praticamente sinusoidais, equilibradas e em fase com as respectivas tensões, como se pode comprovar pelos valores apresentados na Tabela I, e pelas formas de onda da Figura 7.

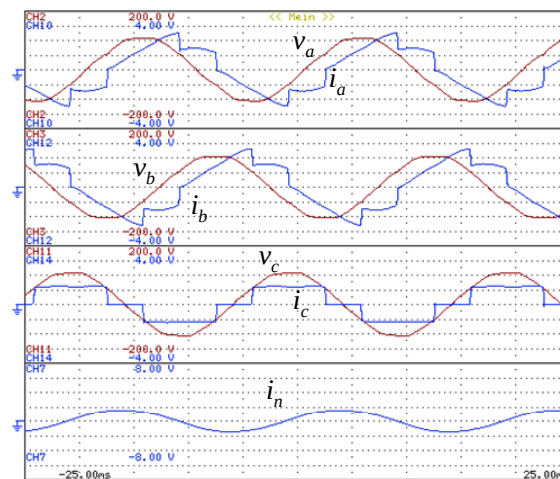


Figura 6 – Correntes e tensões na carga.

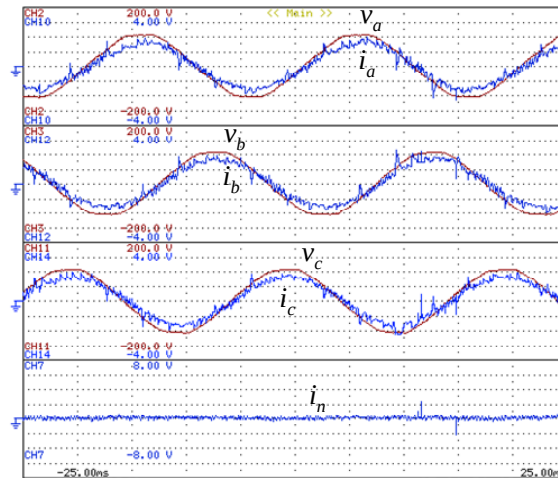


Figura 7 – Correntes e tensões na fonte, com Filtro Activo Paralelo em operação.

TABELA I - VALORES MEDIDOS A MONTANTE DO FILTRO ACTIVO PARALELO TRIFÁSICO

	SINAL	RMS	THD	PF	cos φ
Filtro Activo desligado	I_a	6,0 A	18,2 %	0,71	0,72
	I_b	6,3 A	17,6 %	0,70	0,71
	I_c	3,9 A	27,9 %	0,96	1
	I_n	4,3 A	2,3 %	--	--
Filtro Activo em operação	I_a	4,6 A	14,2 %	0,98	1
	I_b	4,7 A	13,5 %	0,98	1
	I_c	4,7 A	13,5 %	0,98	1
	I_n	0,2 A	--	--	--

Para ensaiar o Filtro Activo Paralelo Monofásico foi utilizado como carga um conversor AC/DC (muito frequente nos sistemas monofásicos), composto por um rectificador de onda completa com um condensador de 2 mF em paralelo com uma resistência de 30 Ω no lado dc, ligado ao sistema eléctrico de 230V / 50 Hz. Na Figura 8 a) é possível visualizar a forma de onda da tensão no sistema e da corrente na carga. Na Figura 8 b) é apresentada a forma de onda da tensão no sistema e da corrente na fonte que fica praticamente sinusoidal e em fase com a tensão, como se pode comprovar pelos valores apresentados na Tabela 2.

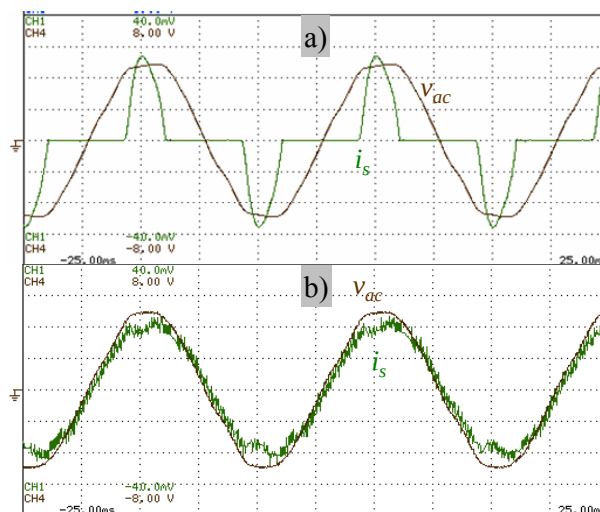


Figura 8 – Corrente e tensão a) na carga; b) na fonte.

TABELA II - VALORES MEDIDOS A MONTANTE DO FILTRO ACTIVO PARALELO MONOFÁSICO

	Is rms	THD	PF	cos φ
Filtro Activo desligado	5,88 A	68,5 %	0,72	1
Filtro Activo em operação	6,99 A	6,2 %	0,99	1

5. Conclusão

Este artigo mostra resultados experimentais de dois protótipos laboratoriais de filtros activos paralelos. O Filtro Activo Paralelo Trifásico é indicado para instalações industriais e tem a capacidade de simultaneamente compensar harmónicos e desequilíbrios de corrente, assim como o factor de potência. Um melhor ajuste dos componentes passivos deve ser feito de modo a otimizar o desempenho do filtro activo paralelo uma vez que as correntes do sistema eléctrico, com o filtro activo a operar, ainda apresentam uma distorção harmónica elevada (da ordem de 13%).

Já o Filtro Activo Monofásico é indicado para escritórios, *clusters* de PCs entre outras instalações monofásicas poluidoras, conseguindo compensar cargas com conteúdo harmónico muito elevado, para além de poder compensar o factor de potência.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia), por meio do projecto POCTI/ESE/48242/2002 e pelo Programa de Incentivos à Modernização da Economia (PRIME) por meio do projecto SINUS. O autor Luís F. C. Monteiro tem o apoio do Programa Alþan, Programa de bolsas de alto nível da União Europeia para América Latina, bolsa nºE06D103177BR.

Referências

- [1] Ricardo Pregitzer, José C. Costa, Júlio S. Martins, João L. Afonso, *Filtro Activo Paralelo com Interface entre Fontes de Energia Renovável e a Rede Eléctrica*, ENER'06, Figueira da Foz, Portugal, 28-30 Setembro 2006.
- [2] H. Akagi, Y. Kanazawa, A. Nabae, *Generalized Theory of the Instantaneous Reactive Power in Three-Phase Circuits*, IPEC'83 - Int. Power Electronics Conf., Tokyo, Japão, 1983, pp. 1375-1386.
- [3] M. Aredes; E. H. Watanabe, *New Control Algorithms for Series and Shunt Three-Phase Four-Wire Active Power Filters*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 10, no. 3, Jul. 1995; pp.: 1649 – 1656.
- [4] J. L. Afonso, C. Couto, J. S. Martins, *Active Filters with Control Based on the p-q Theory*, IEEE Industrial Electronics Society Newsletter, vol. 47, nº 3, Sept. 2000, pp. 5-10.
- [5] R. Pregitzer, J.C. Costa, Júlio S. Martins, J. L. Afonso, *Simulation and Implementation Results of a 3 Phase 4 Wire Shunt Active Power Filter*, CDROM Proceedings of the ICHQP 2006 – International Conference on Harmonics and Quality of Power, Cascais, Portugal, 1-5 October 2006.
- [6] J. G. Pinto, Pedro Neves, Ricardo Pregitzer, Luís F. C. Monteiro, João L. Afonso, *Single-Phase Shunt Active Filter with Digital Control*, ICREPQ'07 International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Sevilha, Espanha, 28-30 Março 2007.
- [7] P. Neves, J. G. Pinto, R. Pregitzer, Luís F. C. Monteiro, João L. Afonso *Experimental Results of a Single-Phase Shunt Active Filter Prototype with Different Switching Techniques*, ISIE'07 International Symposium on Industrial Electronics, Vigo, Espanha, 5-7 Junho 2007.
- [8] S. Buso; L. Malesani; P. Mattavelli; *Comparison of Current Control Techniques for Active Filter Applications*; IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 45, Issue 5, Oct. 1998; Page(s):722 – 729.