

Condicionador Unificado para a Compensação Simultânea de Problemas de Tensão e Corrente

**Luís Monteiro ^(1,2), R. Pregitzer ⁽²⁾, J. G. Pinto ⁽²⁾, João L. Afonso ⁽²⁾,
Maurício Aredes ⁽¹⁾**

⁽¹⁾ COPPE – Programa de Engenharia Eléctrica
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Caixa Postal 68.504 – Rio de Janeiro (RJ), Brasil
E-mail: {lfc, aredes}@coe.ufrj.br,

⁽²⁾ Departamento de Electrónica Industrial – Universidade do Minho
Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal
E-mail: {lmonteiro, rpregitzer, gpinto, jla}@dei.uminho.pt,

Resumo:

Neste trabalho é feita uma análise do condicionador unificado denominado como UPQC (*Unified Power Quality Conditioner*). Este equipamento tem como objectivo melhorar a qualidade da energia do sistema de potência, minimizando simultaneamente os problemas observados nas tensões e nas correntes. Resultados de simulação obtidos com o programa de transitórios electromagnéticos PSCAD[®]/EMTDC[™] são apresentados com o objectivo de analisar o desempenho do UPQC. Por fim são apresentados resultados de simulações do UPQC com conversores de três níveis, optimizando o seu desempenho.

Palavras-Chave: Condicionadores Electrónicos, Sistema de Controlo em Tempo Real, Qualidade de Energia Eléctrica.

1. Introdução

Com o avanço da tecnologia dos dispositivos semicondutores de potência, foi possível introduzir o seu uso em equipamentos industriais, permitindo o avanço do processo de automatização nas indústrias. Contudo, por apresentarem características não lineares, estes equipamentos industriais passaram a ser um dos maiores agentes poluidores do sistema de potência. Os semicondutores de potência podem também ser encontrados nos equipamentos electrónicos presentes nas residências e escritórios, o que contribui ainda mais para a injeção de harmónicos no sistema de potência. Diante disto estamos perante uma situação paradoxal, pois ao mesmo tempo que poluem o sistema de potência, estes equipamentos necessitam de uma energia de boa qualidade para operarem de forma adequada.

Com isto, nos últimos anos, foram feitos estudos para o desenvolvimento de equipamentos que melhorem a qualidade de energia. Em 1976, Gyugyi e Strycula [1] introduziram os conceitos básicos dos filtros activos. Os filtros activos correspondem a condicionadores constituídos por dispositivos semicondutores de potência (IGBTs), conectados em série e em paralelo com o sistema, gerando tensões e correntes com o objectivo de minimizar as distorções e desequilíbrios presentes nas tensões e correntes do sistema, e regular o factor de potência [2].

O UPQC (*Unified Power Quality Conditioner*) é constituído por um condicionador série e um paralelo, conectados ao mesmo elo de tensão CC, numa configuração *Back-to-Back* [3] – [5]. O princípio de operação do UPQC é ilustrado na Fig. 1 e a Fig. 2 apresenta diagrama unifilar do condicionador UPQC conectado a um sistema de potência. O UPQC pode ser considerado como um condicionador com capacidade de mitigar os principais problemas relacionados à qualidade da energia eléctrica, uma vez que é capaz de minimizar simultaneamente os problemas relacionados com as tensões e com as correntes de um determinado sistema.

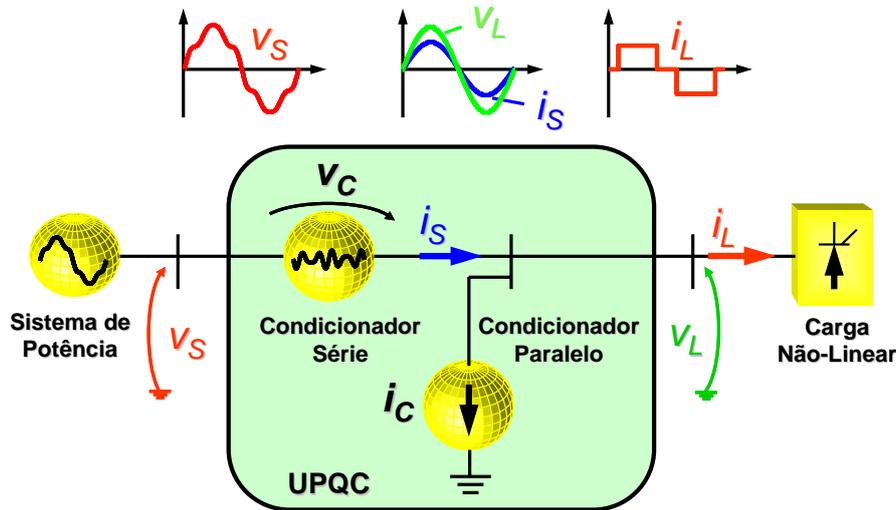


Fig. 1 – Princípio de operação do condicionador UPQC

O circuito de potência do UPQC (Fig. 2) é constituído por conversores conectados em série e em paralelo com o sistema associados a transformadores e filtros passivos. Os transformadores são utilizados para conectar o conversor série com o sistema. Os filtros passivos têm como objectivo atenuar as componentes de alta-frequência geradas pelos conversores série e paralelo.

De acordo com a Fig. 2, o sistema de controlo tem como medições a corrente da carga i_L , a corrente do sistema i_S , a tensão do sistema v_S , e a tensão do elo CC (v_{cc}). A partir destas medições, o sistema de controlo determina, em tempo real, as tensões e as correntes de referência, denominadas como v_{ref} e i_{ref} , a serem sintetizadas pelos conversores série e paralelo, respectivamente.

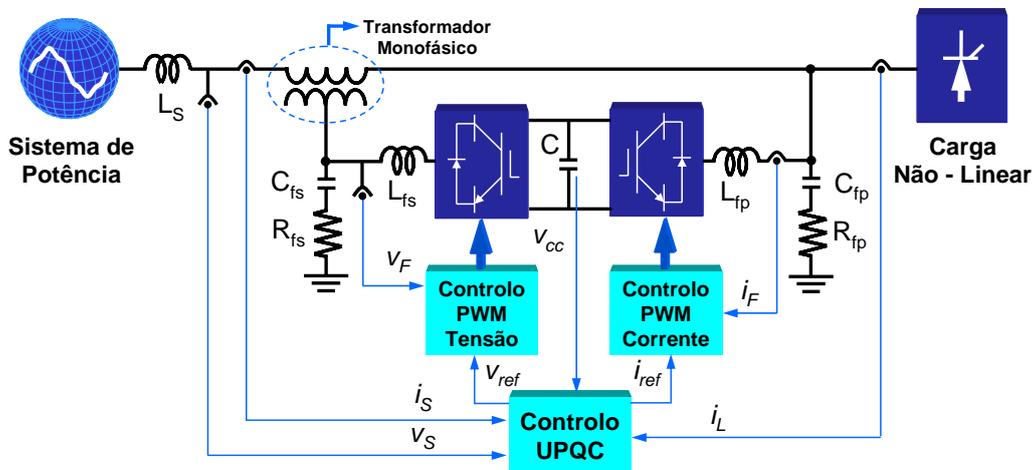


Fig. 2 – Diagrama unifilar do UPQC conectado ao sistema de potência

2. Sistema de Controlo do UPQC

De acordo com a Fig. 3, o sistema de controlo do UPQC apresenta como entradas as tensões do sistema (v_{Sa} , v_{Sb} , v_{Sc}), tensão do elo CC dos inversores série e paralelo (v_{cc}), e as correntes do sistema e da carga (i_{Sa} , i_{Sb} , i_{Sc}), (i_{La} , i_{Lb} , i_{Lc}), respectivamente. Estas tensões e correntes apresentam amplitudes normalizadas com valor de pico igual a 1, antes de serem utilizadas no sistema de controlo. O sistema de controlo descrito a seguir corresponde ao apresentado em [5].

O bloco denominado na Fig. 3 por “*Detector de V_{+1}* ” determina em tempo real a componente fundamental de sequência positiva das tensões do sistema, as quais estão representadas por v_{Sa1} , v_{Sb1} , v_{Sc1} . O bloco denominado como “*Algoritmo Amortecimento*” calcula os sinais v_{Ha} , v_{Hb} , v_{Hc} , tendo como entradas as correntes do sistema (i_{Sa} , i_{Sb} , i_{Sc}) e, com os sinais obtidos por meio do bloco “*Detector de V_{+1}* ” (v_{Sa1} , v_{Sb1} , v_{Sc1}). Basicamente, o controlo de amortecimento, cujos sinais de saída tem como objectivo minimizar possíveis ressonâncias envolvendo os componentes passivos do UPQC com a impedância do sistema, evitando assim que o sistema tenha a sua estabilidade comprometida com o uso deste equipamento. Neste sentido o controlo de amortecimento calcula as componentes oscilantes que ainda permanecem nas correntes do sistema, e multiplica-as por um ganho. Este ganho pode ser entendido como uma resistência com valor elevado para atenuar as componentes harmónicas das correntes que fluem pelos transformadores monofásicos do condicionador série, amortecendo o fenómeno da ressonância. As tensões de referência a serem moduladas pelo conversor série, denominadas como v_{Ref_a} , v_{Ref_b} , v_{Ref_c} , são determinadas de acordo com a apresentação na Fig. 3.

O bloco de controlo “*Algoritmo Correntes de Referência*” obtém, em tempo real, as correntes de referência (i_{Ref_a} , i_{Ref_b} , i_{Ref_c}) a serem moduladas pelo conversor paralelo. Estas correntes são determinadas a partir da diferença entre a componente fundamental das correntes da carga, que estão em fase com a componente fundamental de sequência positiva das tensões do sistema (i_{L1a} , i_{L1b} , i_{L1c}), e as correntes da carga i_{La} , i_{Lb} , i_{Lc} .

O condicionador paralelo é também responsável por manter a tensão do elo CC regulada, de modo que v_{cc} é uma das variáveis de entrada que actua directamente na amplitude das correntes de referência. Para manter a tensão do elo CC regulada, o condicionador paralelo força uma troca de energia activa entre o sistema de potência e o UPQC.

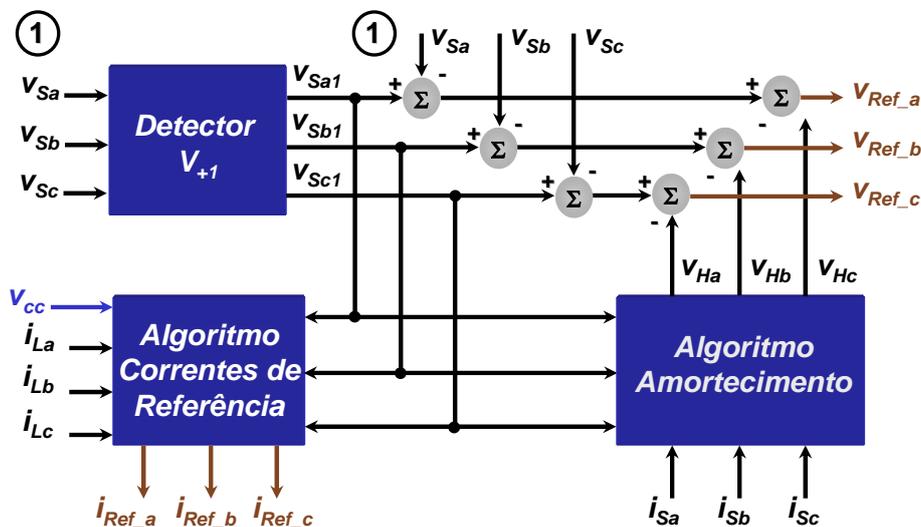


Fig. 3 – Sistema de controlo do UPQC

3. Resultados de Simulação

O UPQC, aplicado a um sistema trifásico a três fios, foi implementado no simulador PSCAD[®]/EMTDC[™]. A carga corresponde a uma ponte rectificadora trifásica a tiristores, com ângulo de disparo igual a 30 graus, e cujo valor da corrente no lado CC da ponte é de 50 A. A tensão da rede eléctrica contém um desequilíbrio de sequência negativa de 5%, e apresenta também 5% de sétimo harmónico (sequência positiva). O condicionador paralelo começa a operar aos 200 ms e o condicionador série aos 230 ms. As indutâncias L_{fp} e L_{fs} , observadas na Fig. 2, são de 800 μ H e 900 μ H, respectivamente. Os condensadores C_{fp} e C_{fs} são iguais a 20 μ F e 42 μ F, e as resistências R_{fp} e R_{fs} iguais a 1,2 Ω e 2,5 Ω . Os transformadores monofásicos do conversor série apresentam uma relação de 1:1, com potência nominal de 12 kVA. O elo de tensão CC do inversor VSI está regulado para operar com uma tensão aos seus terminais igual a 800 V, utilizando um condensador de 1100 μ F no elo CC.

A Fig. 4 e a Fig. 5 mostram, respectivamente, as tensões entregues à carga não linear v_{La} , v_{Lb} , v_{Lc} , e as correntes drenadas da fonte i_{Sa} , i_{Sb} , i_{Sc} , antes e depois dos condicionadores série e paralelo do UPQC serem conectados ao sistema. A Fig. 6 ilustra o UPQC a compensar simultaneamente a corrente do sistema i_{Sa} e a tensão entregue à carga v_{La} .

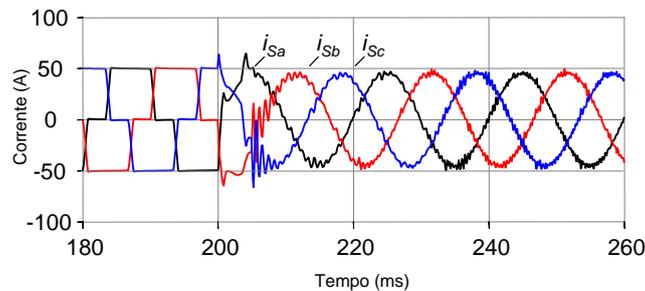


Fig. 4 – Correntes do sistema antes e depois do condicionador paralelo do UPQC ser conectado ao sistema.

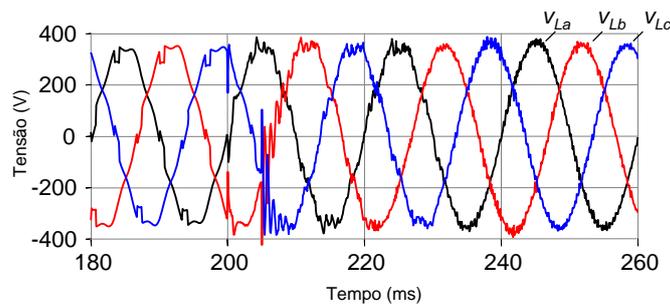


Fig. 5 – Tensão na carga antes e depois do condicionador série do UPQC ser conectado ao sistema.

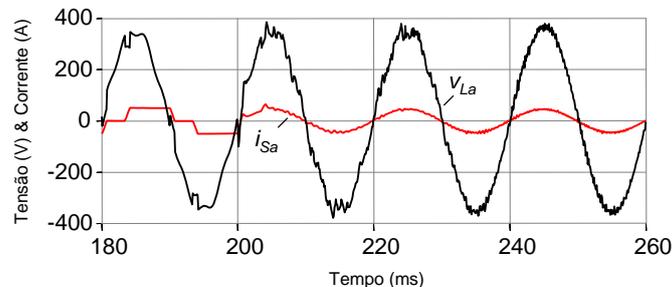


Fig. 6 – Tensão na carga e corrente do sistema antes e depois dos condicionadores série e paralelo do UPQC serem conectados ao sistema.

3.1 Resultados de Simulação com o UPQC Composto por Conversores de 3 Níveis

Uma tecnologia emergente relacionada com conversores de alto desempenho consiste nos conversores denominados como multinível. O primeiro destes conversores foi o NPC (*Neutral Point Clamped*) de 3 níveis apresentado por Nabae *et al.* [6]. Foi observado que o uso deste conversor apresentava vantagens em relação aos conversores convencionais de 2 níveis. Como consequência, nos anos 90 pesquisas envolvendo o conversor de 3 níveis foram desenvolvidas o que resultou em propostas para novas estruturas de conversores multinível [7].

Apesar de apresentarem um maior número de semicondutores, relativamente aos conversores de 2 níveis, o conversor de 3 níveis produz uma distorção harmónica que é aproximadamente metade da produzida por um conversor de 2 níveis, à mesma frequência de chaveamento. Deste modo a distorção harmónica presente nas tensões e correntes geradas, diminui de forma considerável, permitindo reduzir os componentes passivos presentes nas saídas destes conversores, além de garantir um melhor dimensionamento dos transformadores.

A seguir são apresentados resultados de simulação com o UPQC composto por conversores de 3 níveis. Estas simulações ocorreram nas mesmas condições das apresentadas com o UPQC composto por conversores de 2 níveis. A diferença consiste basicamente nos componentes passivos empregados para o UPQC com conversores de 3 níveis, onde as indutâncias L_{fp} e L_{fs} , equivalem a $400 \mu\text{H}$ e $300 \mu\text{H}$. Os condensadores C_{fp} e C_{fs} são iguais a $30 \mu\text{F}$ e $42 \mu\text{F}$, e as resistências R_{fp} e R_{fs} tomam os valores $0,2 \Omega$ e $2,5 \Omega$. A implementação do sistema de controlo para o UPQC, operar com conversores de 3 níveis, teve de passar por alterações no controlo das tensões do elo CC, além de ajustes na técnica de comutação utilizada, conforme apresentado em [8].

A Fig. 7 e a Fig. 8 mostram, respectivamente, as tensões entregues à carga não linear v_{La} , v_{Lb} , v_{Lc} , e as correntes drenadas da fonte i_{Sa} , i_{Sb} , i_{Sc} , antes e depois dos condicionadores série e paralelo do UPQC serem conectados ao sistema. A Fig. 9 ilustra o UPQC compensando, simultaneamente, a corrente do sistema i_{Sa} e a tensão entregue à carga v_{La} .

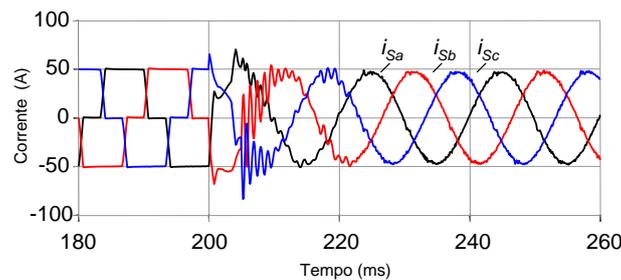


Fig. 7 – Correntes do sistema antes e depois do condicionador paralelo do UPQC ser conectado ao sistema (UPQC com conversores de 3 níveis).

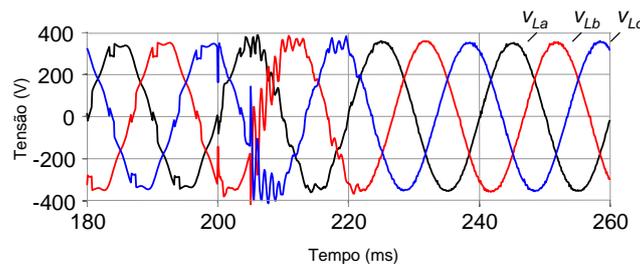


Fig. 8 – Tensão na carga antes e depois do condicionador série do UPQC ser conectado ao sistema (UPQC com conversores de 3 níveis).

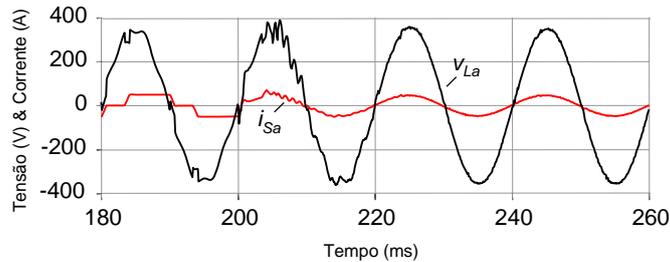


Fig. 9 – Tensão na carga e corrente do sistema antes e depois dos condicionadores série e paralelo UPQC serem conectados ao sistema (UPQC com conversores de 3 níveis).

4. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho foi feita uma apresentação do equipamento “*custom power*” UPQC. Foi observada a capacidade do mesmo em actuar directamente em diversos problemas relacionados à qualidade de energia quer seja nas correntes drenadas pela carga, quer seja pelas tensões entregues pela empresa fornecedora de energia eléctrica. Por fim foram apresentados resultados de simulação do UPQC composto por conversores de 3 níveis, o que permitiu um melhor dimensionamento dos componentes passivos e uma optimização do seu desempenho.

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 Alβan, Programa de bolsas de alto nível da União Europeia para América Latina, bolsa nºE06D103177BR.

Referências

- [1] L. Gyugyi, E. C. Strycula, “Active AC Power Filters,” in Proc. IEEE Ind. Appl. Ann. Meeting, vol. 19-C, 1976, pp. 529-535.
- [2] H. Akagi, “New trends in active filters for improving power quality,” Proceedings of the 1996 International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth, 1996, Vol. 11, 8-11 Janeiro 1996, pp. 417-425.
- [3] M. Aredes, J. Häffner, K. Heumman, “A combined Series and Shunt Active Power Filters,” IEEE / KTH– Stockholm Power Tech. Conf., SPT PE 07-05-0643, vol. Power Elect., Suécia, Junho 1995, pp. 237–242.
- [4] H. Fujita, H. Akagi, “The unified power quality conditioner: The integration of series active filters and shunt active filters,” 27th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Vol. 1, 23 a 27 de Junho de 1996, pp. 494-501.
- [5] L. F. C. Monteiro, M. Aredes, J. A. M. Neto, “A Control Strategy for Unified Power Quality Conditioner,” Proc. (CDROM) of ISIE – International Symposium on Industrial Electronics, Rio de Janeiro, Brasil, Julho 2003.
- [6] A. Nabae, I. Takahashi, H. Akagi; “A New Neutral-Point Clamped PWM Inverter,” IEEE Transactions on Industrial Applications, vol. IA-17, pp:518-523, Setembro / Outubro 1981.
- [7] J. S. Lai; F. Z. Peng; “Multilevel Converters – A New Breed of Power Converters,” IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 32, pp.509-517, Maio / Junho 1996.
- [8] L. F. C. Monteiro, J. C. C. Costa, M. Aredes, J. L. Afonso, “A Control Strategy for a Three-Level Unified Power Quality Conditioner,” Proceedings (CD-ROM) 8th COBEP - Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência, Recife - PE, Brasil, Julho 2005.