

ESTUDO SOBRE AS TÉCNICAS DE CONTROLE UTILIZADAS EM FILTROS ATIVOS DE POTÊNCIA

Rafael Franco Silviera¹
André Luiz Silva Pereira²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás/Jataí/Engenharia Elétrica - PVIC,
rafaelfrancos@oi.com.br

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás/Jataí/Coordenação de Indústria, andspa@gmail.com

Resumo

O uso crescente de cargas eletrônicas, com o intuito de melhorar a eficiência e o controle do sistema, aumenta a preocupação com os níveis de distorção harmônica tanto em instalações dos usuários finais quanto do próprio sistema de energia. Uma das técnicas (métodos) para sanar essa tipo de problema é a utilização de Filtros Ativos. Os filtros ativos têm a vantagem de serem capazes de compensar harmônicas. A filtragem ativa é uma opção quando há a necessidade de realizar uma correção do fator de potência no ponto de entrada de cada equipamento, ou conjunto deles. Este trabalho tem o intuito de elaborar um acervo bibliográfico acerca dos filtros ativos e principalmente sobre as técnicas utilizadas para controle do mesmo. Tais técnicas são capazes de identificar as distorções e distúrbios da rede de energia de elétrica e realizarem cálculos e comparações a fim de “informar” ao filtro propriamente dito como realizar a correção efetiva dessas anomalias. A partir deste trabalho será possível obter informações sobre filtros ativos com maior facilidade, com o intuito de proporcionar novos estudos nessa área.

Palavras-chave: Filtros Ativos, Controle, Acervo, Teoria da Potência Complexa Instantânea.

APRESENTAÇÃO

Existem diversos métodos para a determinação das correntes e tensões de referência para os filtros ativos, visto que esse conceito de compensação dinâmica por filtros ativos de potência vêm desde o início de 1970.

A partir desses métodos foram desenvolvidas técnicas para realizar o controle e a determinação do sinal de referência e basicamente podemos classificar da seguinte forma:

- Controle – normalmente empregam processadores digitais de sinais (DSP's), aqui se destacam os seguintes métodos:
 - Tensão Capacitor/Corrente Indutor Constante;
 - Técnicas de Otimização;
 - Tensão Linear;

- Determinação Referência – a referência de tensão ou corrente a ser processada pelo controle constitui uma medida importantíssima para subdividir as técnicas de filtragem ativa, aqui se destacam:
 - Filtragem Analógica;
 - Técnicas de Cálculo (Domínio Tempo ou Frequência).

Atualmente a maioria das malhas de controle utiliza o controle por histerese interna como padrão para inversores de fonte de tensão, controlados por corrente. (PREGITZER, 2006)

O modelo de filtro mais difundido é o do tipo Paralelo, que traz como características a compensação da distorção harmônica das correntes, potência reativa e desequilíbrios (resulta em corrente neutro nula). Dessa forma seu controlador pode apresentar certos parâmetros, como:

1. Atenuação, onde as componentes desejadas devem manter a sua magnitude e as preteridas de ser fortemente atenuadas.
2. Defasamento, em que a fase das componentes harmônicas de referência calculadas pelo sistema de controle deve ser precisa e não pode ser afetado por atrasos, caso contrário à compensação fica muito comprometida,
3. Resposta Temporal, sendo o sinal a ser compensado instável, logo pode sofrer mudanças bruscas em curtos períodos de tempo, fazendo com que o filtro precise alterar a sua ação de compensação de forma rápida e eficaz.

Com os dados fornecidos por essas técnicas é possível informar aos circuitos de potência, composto por filtros ativos, quais serão as parcelas a serem compensadas.

Entretanto em boa parte dos trabalhos publicados não apresenta de forma mais clara e objetiva como é realizada essa compensação idealizada pelos sinais enviados e recebidos pelo sistema de controle, logo se vê que para se iniciar experiências acadêmicas necessita-se de um maior conhecimento a cerca desses métodos e de como realmente utilizá-los a fim de obter os dados desejados.

Neste contexto que entra esse projeto, que visa reunir e organizar essas informações para facilitar os estudos relacionados tanto aos problemas provenientes de cargas não lineares acopladas a rede de energia assim como também modos mais eficientes de resolvê-los. Tendo esse acervo em mãos incentiva tanto pesquisadores já existentes como os novos a continuarem e desenvolverem novos projetos.

OBJETIVOS

Organizar um acervo a cerca dos modelos existente para o controle de filtros ativos de potência e como atuam junto ao sistema de energia quando acoplados. E se possível simular algum deles para entender de forma mais interativa sua atuação nos sistemas de correção das correntes e/ou tensões injetadas na rede de energia.

Buscar um modelo a partir dos mais disseminados e conhecidos para que possa interagir com a Teoria da Potência Complexa Instantânea (TPCI).

METODOLOGIA

Quando se fala em correção de sistemas elétricos logo se recorre à teoria de potência ativa e reativa convencional, entretanto quando realizado um estudo mais detalhado sobre a mesma mostra que esta tem sua validade física confirmada apenas em sistemas que operam em regime permanente e sem distorções, em monofásico, e ainda balanceada no caso do trifásico, como descrito por Watanabe (1991).

Dito isto, temos problemas recorrentes a essa situação uma vez que inicialmente essa teoria foi desenvolvida para sistemas monofásicos e depois reestruturada para sistemas trifásicos como se este último comporta-se como se fosse três sistemas monofásicos, logo ignorando o acoplamento das fases. A teoria convencional deriva em base de fasores e valores eficazes caracterizando uma técnica desenvolvida para apenas uma frequência, segundo Watanabe (1991). Logo como se trata de casos onde verifica a existência de diversas frequências no sistema seria errôneo utilizar tal teoria.

Em casos como esse podemos utilizar a Teoria de Potência Ativa e Reativa Instantâneas, teoria p-q, de Akagi (1983), a qual propõe a decomposição escalar das tensões e correntes trifásicas nos eixos real e imaginário. Decompondo a corrente e tensão trifásica é possível calcular as potências ativas e reativas instantâneas da rede elétrica trifásica permitindo responder de uma forma eficaz e dinâmica às situações de distorções e de desequilíbrio em sistemas elétricos.

Há ainda uma nova abordagem para os problemas com harmônicos utilizando a Teoria da Potência Complexa Instantânea.

A Teoria da Potência Complexa Instantânea de Milanez (1993) permitirá o estudo da potência ativa e reativa instantânea em casos de distorção harmônica e dará base matemática para o projeto de um filtro para correção ativa do fator de potência nestes casos.

A Teoria da Potência Complexa Instantânea têm como base a potência instantânea de Akagi (1983). A Teoria da Potência Ativa e Reativa Instantânea de Akagi propõe a decomposição escalar das tensões e correntes trifásicas nos eixos real e imaginário. Decompondo a corrente e tensão trifásica é possível calcular as potências ativas e reativas instantâneas da rede elétrica trifásica.

A base da correção está nos filtros ativos de potência, que nada mais são que sistemas eletrônicos de potência instalados em série ou paralelo com a carga não linear, visando compensar seja as tensões harmônicas, seja correntes harmônicas geradas pela carga.

Os filtros atuam através de um processo de aplicação de correntes harmônicas contrárias àquelas produzidas pela carga não linear, promovendo a compensação reativa. Ele é composto por um inversor de corrente e um controlador.

O controlador, a partir da medida dos valores instantâneos das tensões e correntes na carga, produz as correntes de compensação de referência para o inversor. O inversor, por sua vez, injeta as correntes de compensação requeridas pela carga de forma que as correntes nas fases da rede elétrica passam a ser senoidais e equilibradas (Figura 1).

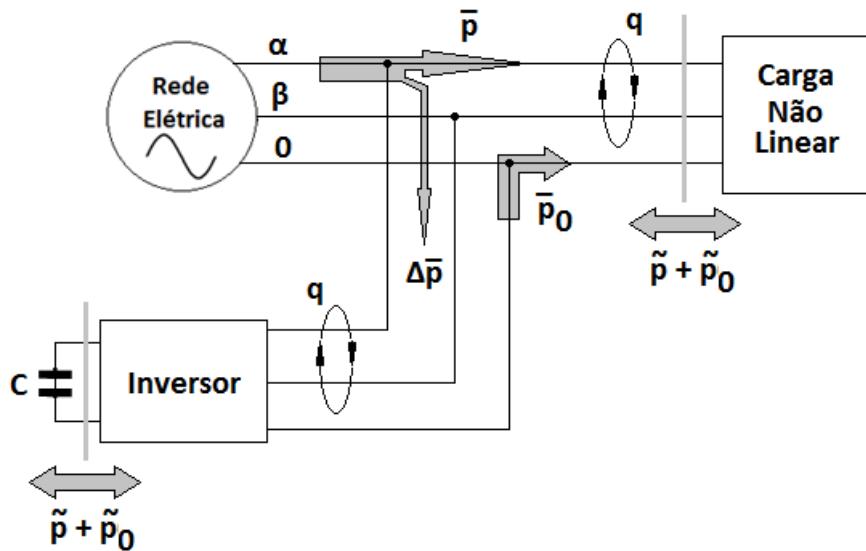


Figura 10 – Exemplo de filtro ativo paralelo à rede elétrica para correção de harmônicas e ofluxo de potência α - β -0. (Fonte: Watanabe, 1998).

O projeto buscou dentre as diversas produções científicas existentes, não só no nacional como internacional, os tipos diferentes de métodos de controle, já estudados, para filtros ativos de potência para posteriormente organizar um acervo a cerca desse material para facilitar consultas e novos projetos de IC que visem o estudo de sistemas de potência.

FILTRO ATIVO PARALELO

Este filtro é composto por um inversor de fonte de tensão e seu controle. Este inversor funciona com malha de controle de corrente e tem como função realizar um curto-círcuito das correntes indesejadas, geradas pela carga.

Tais correntes, em sua maioria, são os harmônicos, mas podem, em determinadas situações, ser de correntes na frequência da fundamental. Desta forma a grande preocupação no desenvolvimento deste tipo de projeto está em determinar de forma instantânea a referência de corrente que será sintetizada.

Em um sistema onde não há harmônicos, a compensação é feita apenas em relação aos reativos da rede. Caso seja para compensar um desequilíbrio nas cargas à compensação deve ser feita na parte oscilante da potência reativa.

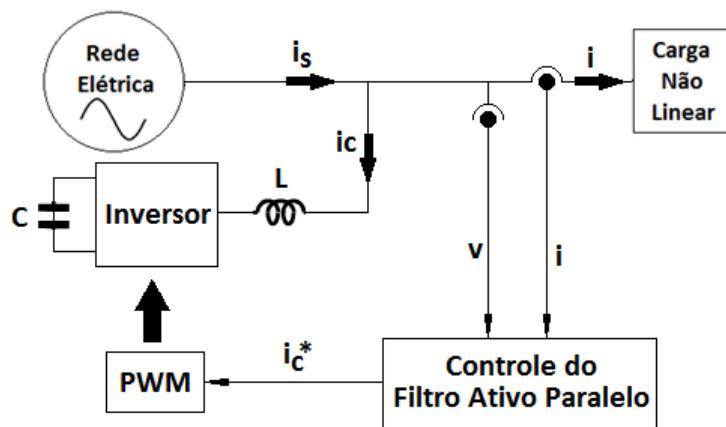


Figura 2 – Diagrama de um filtro ativo paralelo (Fonte: Watanabe, 1998).

FILTRO ATIVO SÉRIE

O filtro ativo série, da mesma forma que o paralelo, é composto por um inversor com um capacitor no seu lado CC e conectado à rede através de um transformador.

Este filtro não é capaz de eliminar harmônicos de corrente gerados pela carga uma vez que este filtro está inserido em série com esta carga, exatamente o mesmo conceito dual que ocorre no filtro paralelo.

Conforme citado por Watanabe (1988) a função deste filtro é não permitir que parcelas indesejáveis da tensão sejam aplicadas sobre a carga. Considerando a tensão da fonte seja distorcida e desequilibrada temos que a tensão de compensação deve ser de tal forma que todas as parcelas de tensão de sequência negativa e zero, assim como as parcelas de harmônicos na fonte não sejam aplicadas diretamente sobre a carga.

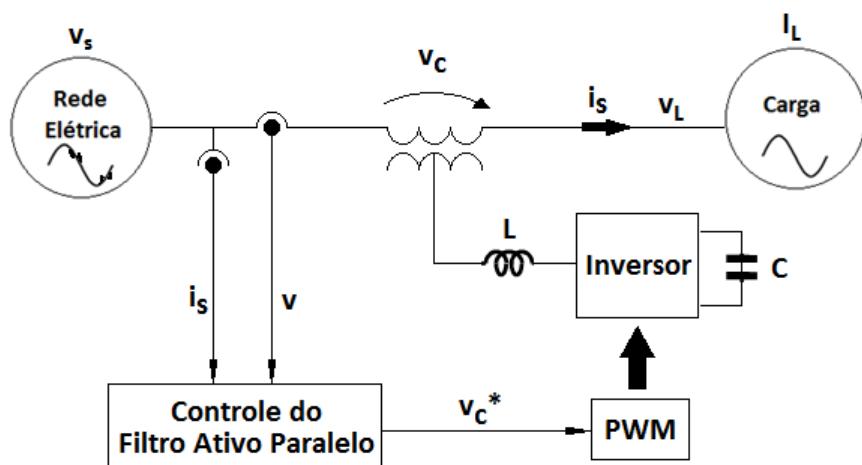


Figura 3 – Diagrama básico de um filtro ativo série (Fonte: Watanabe, 1998).

RESULTADOS

TEORIAS DE CONTROLE PARA FILTROS ATIVOS

Como descrito na seção anterior há dois modelos de filtro ativo e nesse sentido cabe mencionar que modelos de controle diferentes também. Nesta seção serão separados nesse quesito.

1. CONTROLE PARA FILTRO ATIVO PARALELO

Existem diversos métodos de determinação das correntes de referência para um Filtro Ativo Paralelo trifásico, uma vez que o conceito de compensação dinâmica por Filtros Ativos de Potência já existe a mais de 40 anos. Tal filtro tende a “apresentar” características como a compensação da distorção harmônica das correntes, da potência reativa e de desequilíbrios, resultando numa corrente de neutro nula.

Serão apresentados nessa seção alguns métodos mais comuns para obtenção das correntes de referência para os Filtros Ativos Paralelos.

i. FILTRAGEM NO DOMÍNIO DAS FREQUÊNCIAS

A filtragem no domínio das frequências faz uso da transformada de Fourier, nomeadamente em sua forma discreta (Discrete Fourier Transform – DFT) ou na rápida (Fast Fourier Transform – FFT).

A principal vantagem de trabalhar no domínio das frequências é a possibilidade de selecionar apenas uma ou várias frequências, sem que haja uma banda de transição entre elas, ou seja, teoricamente podem-se gerar as correntes de compensação para harmônicos, que por sua vez anulam todas as frequências indesejadas.

A aplicação de controladores baseados neste tipo de filtragem pressupõe que se tem que armazenar pelo menos um ciclo da frequência mais baixa de interesse com uma frequência de amostragem com pelo menos o dobro da frequência com valor mais alto que vai ser analisada. Além disso, só funciona para sinais periódicos estáveis, caso contrário, o sinal de saída terá erros em nível de fase e amplitude, e necessitam de um esforço computacional considerável.

ii. MÉTODOS HETERÓDINOS

Os métodos heteródinos de compensação envolvem fazer a multiplicação entre um sinal distorcido e uma senoide com frequência igual à frequência fundamental do sinal distorcido. A componente na frequência fundamental do sinal distorcido que estiver em fase com o sinal de referência irá gerar um valor médio e um termo com o dobro da frequência da fundamental. O problema desta teoria é a necessidade de isolar o valor médio, que, neste caso, corresponde à componente fundamental do sinal distorcido, sendo necessário fazer um filtro de ordem elevada,

embora este filtro melhor as componentes indesejadas, tem problemas com a velocidade de resposta, já que um filtro de baixa ordem não consegue filtrar completamente as componentes indesejadas.

iii. ALGORITMOS DE APRENDIZAGEM E IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES - REDES NEURAIS

As primeiras aplicações de redes neurais como controladores de filtros ativos obtiveram um nível de sucesso muito reduzido devido ao esforço computacional e ao tempo de resposta dessas redes devido às restrições dos equipamentos da época. Hoje já se consegue, pelo menos em simulações, fazer com que redes tenham um comportamento muito superior.

Duas aproximações distintas são utilizadas: ou se usa a rede neuronal para determinar as componentes que devem ser eliminadas (aproximação direta) ou se determina a forma de onda que a fonte deverá ter (aproximação indireta). Esta última aproximação é a que aparenta apresentar os melhores resultados, tendo conseguido um tempo de adaptação a novas condições de em cerca de 2-3 ciclos, porém, esta conclusão foi baseada em resultados de simulações (VAZQUEZ, 2003). Há ainda discussões quanto à operação das redes neurais no domínios do tempo e frequência. Se na primeira o número de neurônios é bastante reduzido, sendo necessário um menor esforço computacional, o tempo de resposta é na ordem dos 10 ciclos da rede. Por outro lado a operação no domínio do tempo apresenta a um melhor desempenho, mas utiliza uma rede neuronal mais complexa. O problema deste tipo de controlador, é que na implementação real existem problemas em tentar fazer às redes neurais aprenderem em tempo útil e com esforço computacional que seja comparável às outras técnicas de controle.

iv. MÉTODOS NO DOMÍNIO DOS TEMPOS

As definições de potência instantânea introduzidas por Akagi deram também origem a novos métodos para a determinação das correntes de referência de um Filtro Ativo Paralelo. Aplicando tais definições o controlador opera, exclusivamente, no domínio do tempo e tem a vantagem de não necessitar de uma capacidade de processamento elevada. Basicamente, uma vez calculadas as potências instantâneas de acordo com a Teoria PQ, basta separar a componente média da potência ativa instantânea e determinar as correntes de compensação. De acordo com alguns estudos efetuados, esta teoria tem o problema de necessitar que as tensões no sistema sejam equilibradas e senoidais, do contrário as correntes da fonte não poderão ser totalmente compensadas.

v. MÉTODO DE CONTROLE ALTERNATIVO BASEADO NA TEORIA PQ

Uma alternativa à teoria de controlo apresentada para o filtro ativo paralelo consiste em utilizar a Teoria p-q para determinar as correntes que deveriam ser fornecidas pela fonte. A partir destes valores seria apenas uma questão de subtrair estas correntes teóricas das correntes presentes na carga para obter os valores que deverão ser produzidos pelo inversor do filtro.

Esta alternativa tem a vantagem de apenas ser necessário determinar as componentes médias da potência real instantânea e a potência instantânea de sequência zero, havendo menos cálculos relativamente ao controlador apresentado anteriormente.

Tem-se a vantagem de possuir cálculos mais simples, por outro lado não permite a escolha das parcelas de potência a serem compensadas, uma vez que apenas determina as correntes ideais recorrendo a cálculos que utilizam apenas as potências ativa e ativa de sequencia zero. A possibilidade de se poder não compensar certas parcelas de potência pode ser bastante útil se o filtro ativo estiver operando em sobrecarga. Por exemplo, poderá ser necessário continuar a compensar a totalidade do fator de potência, e compensar apenas parcialmente as restantes parcelas num caso em que o filtro ativo não consiga compensar tudo.

2. CONTROLE PARA FILTRO ATIVO SÉRIE

Assim como no modelo anterior, existem diversas teorias de controle que podem ser aplicadas ao sistema de controlo de um filtro ativo série, como, por exemplo, as teorias apresentadas por FREITAS (2004), Lee et al. (2004) e Müller (2004).

i. FILTRO BANDA ADAPTATIVO – FBA

O Filtro Banda Adaptativo (FBA) funciona como um detector de sequência positiva à frequência fundamental, que determina os três parâmetros (fase, frequência e amplitude) desta componente de sinais de um sistema trifásico, em tempo real, quer sejam de corrente ou tensão.

O FBA recorre à transformada de Clarke, tal como a Teoria p-q, para converter as tensões medidas no sistema trifásico a-b-c para o referencial $\alpha\beta$. Com esta transformação obtém-se uma simplificação dos cálculos realizados, uma vez que se passa a operar com apenas duas variáveis em vez das três presentes no sistema original.

Num sistema elétrico real a frequência não se mantém sempre constante, logo se a velocidade angular é definida como um valor constante, o desempenho desse filtro pode ser seriamente comprometido pelas variações da frequência da rede. Assim sendo, é necessário determinar a frequência fundamental dos sinais de entrada. Isto influencia diretamente na velocidade de resposta do filtro as susceptibilidades que a rede elétrica possa sofrer durante seu funcionamento.

ii. PHASE LOCKED LOOPS – LPP

Este método controlador é utilizado para detectar a componente de sequência positiva à frequência fundamental de sinais distorcidos , tal como o FBA apresentado anteriormente. Este controlador é baseado nos conceitos de FRYZE (1932) de potência reativa e potência ativa no domínio do tempo. Nas definições deste autor a corrente é dividida em duas parcelas: ativa que corresponde à parcela que realiza trabalho, e reativa corresponde à parcela que não produz potência ativa, mas que provoca o aumento da amplitude da corrente total e consequente aumento das perdas nos condutores.

As correntes ativas e reativas podem ser formuladas em função da potência e das tensões do sistema. Para determinar as correntes ativas é utilizada uma função objetivo cujo propósito é minimizar as correntes, tendo em mente que as correntes reativas não produzem qualquer componente ativa, ou seja, que entre em consideração que quando se calcula a potência ativa.

Em nível de filtro ativo série, existe duas possibilidades para utilização do controlador PLL. Multiplicando as saídas unitárias pelo valor de pico das tensões nominais do sistema elétrico, compensando qualquer outro distúrbio que ocorra na componente fundamental da onda de tensão. O problema é que em certo ponto irá existir um fluxo de potência ativa média para o lado CC do inversor do filtro, portanto a utilização de apenas um condensador no lado CC não será viável, sendo necessário, por exemplo, um conjunto de baterias. A segunda possibilidade relaciona-se com a utilização do método dos multiplicadores de Lagrange para determinar o valor de pico da tensão do sistema elétrico. Se houver um afundamento nas 3 fases, ou mesmo só numa das fases, por exemplo, a tensão na carga mantém-se equilibrada, no entanto, não chega ao valor de pico nominal das tensões do sistema.

CONCLUSÃO

Este trabalho possibilitou reunir um acervo bibliográfico robusto sobre o tema Filtro Ativo e principalmente métodos eficazes para seu controle e funcionamento.

É interessante verificar que a quantidade de trabalhos relacionados é alta e com diversos exemplos de simulação e aplicações reais, isto traz uma melhor compreensão sobre o tema e que é possível realizar um projeto dessa magnitude dentro do IFG, desde que tanto professores quanto alunos interessados busquem tal objetivo.

Neste trabalho destaca-se que há diferentes métodos para os diferentes tipos de filtro ativo, ou seja, temos soluções para o filtro ativo paralelo e soluções para o filtro ativo série. Entretanto vale ressaltar que a técnica utilizando a Teoria PQ de Akagi (1983) pode ser utilizada para os dois modelos. Pode-se dizer que essa teoria trouxe a tona uma nova forma de abordar as distorções harmônicas e desequilíbrios da rede de energia elétrica.

Todo o material coletado durante o período de pesquisa será entregue ao orientador em mídia digital física (CD-R) e posteriormente, caso possível, em site de professor da Coordenação de Indústria.

TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros deixa-se indicado:

- Estudo mais aprofundado das técnicas de controle;
- Estudo e possível simulação da técnica identificada como mais adequada para o filtro ativo paralelo;
- Estudo sobre o filtro ativo série e filtro ativo série-paralelo;
- Agregar estudo sobre filtros ativos as disciplinas do curso de Engenharia Elétrica.

BIBLIOGRAFIA

- MILANEZ, D.L.; MISKULIM, M.S. The instantaneous complex power applied to three-phase machines, 28IAS, 1993, Toronto. In: **INTERNATIONAL ANNUAL MEETING IEEE**. Annual Meeting... Toronto: IEEE, 1993. p. 171-176.
- AKAGI, H.; KANAZAWA, Y.; NABAE, A. (1983). Generalized theory of the instantaneous reactive power in three-phase circuits. In: **PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL POWER ELECTRONICS CONFERENCE**, 1983. Proceedings of the IPEC'83... Tokio: IEEE, 1983. p. 1375-1386.
- AKAGI, H.; WATANABE, E. H.; AREDES, M. **Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning**. IEEE Press, 2007. 379p.
- PREGITZER, R. G.; SOUSA, T. N.; SEPÚLVEDA, J. M.; AFONSO, J. L. Análise e Simulações de um Filtro Banda Adaptativo Aplicado a um Filtro Activo Série; CBA 2004, **XV Congresso Brasileiro de Automática**; Gramado, Brasil; 2004.
- PREGITZER, R. G. **Simulações computacionais de filtros activos de potência em condições reais de operação**, Mestrado em Electrónica Industrial da Universidade do Minho, Setembro de 2006. Disponível em:
http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/7058/1/TESE_FINAL.pdf. Acesso em: 3 de Mar de 2012.
- MÜLLER, S. L. ; LÍBANO, F. B. ; BRAGA, R. A. M. Alternativa de Estratégia de Controle para o Filtro Ativo Série. In: **Congresso Brasileiro de Automática**, 2004, Gramado, 2004.
- POTTKER, F. ; BARBI, I. Power Factor Correction of Linear and Non-Linear Loads Employing a Single Phase Active Power Filter Based on a Full-Bridge Current Source Inverter Controlled Through the Sensor of the AC Mains Current. In: **Power Electronics Specialist Conference**, 1999, South Caroline. Anais de Congresso, 1999. p. 387-392.
- POTTKER, F.; BARBI, I. Power Factor Correction of Non-Linear Loads Employing a Single Phase Active Power Filter: Control Strategy, Design Methodology and Experimentation; **Record of the 28th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference**, PESC '97, vol. 1, 22-27 Jun. 1997 pp.: 412 – 417.
- GREE, T. C.; MARKS, J. H. Control Techniques for Active Power Filters; **IEE Proceedings – Electric Power Applications**; vol. 152, no. 2, Mar. 2005; pp. 369 – 381.
- MARIETHOZ, S.; RUFER, A. C. Open Loop and Closed Loop Spectral Frequency Active Filtering; **IEEE Transactions on Power Electronics**, vol. 17, no. 4; Jul. 2002; pp.:564 – 573.
- PITTORINO, L. A.; HONR, A.; ENSLIN, J. H. R. Power Theory Evaluation for the Control of an Active Power Filter; **Proceedings of the 4th IEEE AFRICON**; vol. 2, 24-27 Set. 1996 pp. 676 – 681.
- VAZQUEZ, J. R.; SALMERON, P. Active Power Filter Control Using Neural Network Technologies; **IEE Proceedings - Electric Power Applications**, vol. 150, no. 2; Mar. 2003; pp.: 139 – 145.
- ROUND, S. D.; MOHAN, N. Comparison of Frequency and Time Domain Neural Network Controllers for an Active Power Filter; **Proceedings of the International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation**, IECON'93; 15-19 Nov. 1993; pp. 1099 – 1104.
- BHATTACHARYA, S.; DIVAN, D. Synchronous Frame Based Controller Implementation for a Hybrid Series Active Filter System; **Conference Record of the Thirtieth IAS Annual Meeting Industry Applications Conference**, IAS '95, vol. 3; 8-12 Out. 1995; pp.:2531 – 2540.

FREITAS, M. J. S. M. de; **Implementação de um Filtro Activo de Potência para a Optimizaçāo da Interface entre a Rede e outros Sistemas Eléctricos**; Tese de Doutoramento; Guimarães; 2004.

LEE, S.; KIM, H.; SUL, S.; Blaabjerg, F. A Novel Control Algorithm for Static Series Compensators by use of PQR Instantaneous Power Theory; **IEEE Transactions on PowerElectronics**; vol. 19, no. 3, Mai. 2004; pp. 814 – 827.

ESTEVE, M. A. P. **Aplicación de Nuevas Técnicas de Control para el Desarollo de Reguladores Activos de Potencia**; Tese de Doutoramento; Sevilla, Espanha; Abr. de 2002.

AREDES, M.; MONTEIRO, L. F. C. A Control Strategy for Shunt Active Filter; **10th ICHQP IEEE/PES 10th Int. Conf. on Harmonics and Quality of Power**; Rio de Janeiro, Brazil; Oct. 2002; vol. 1; pp. 472-477.

FRYZE, S., Active, reactive and apparent power in electrical circuits with non-sinusoidal-shaped profile of the current and voltage; **ETZ-Arch. Elektrotech.**; vol. 53; 1932; pp. 596-599, 625-627, 700-702.

AREDES, M.; WATANABE, E. H. Teoria de Potência Ativa e Reativa Instantânea e Aplicações - Filtros Ativos e Facts. CBA'98 - **XII BRAZILIAN AUTOMATIC CONTROL CONFERENCE**, Uberlândia, n.1, p.81-122, 1998.