



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica



**RELATÓRIO SOBRE
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Estudo dos filtros ativos de potência e seu uso na melhoria da
Qualidade de Energia Elétrica.**

Orientador

Cursino Brandão Jacobina

Professor da Universidade Federal de Campina Grande

Aluno

Vanderley Maia Gomes

vanderleymaia@gmail.com

Campina Grande, Dezembro de 2009

Sumário

Lista de Figuras.....	3
1. INTRODUÇÃO	4
2. COMPENSAÇÃO DE POTÊNCIA REATIVA	5
3. HARMÔNICAS EM COMPONENTES DO SISTEMA.....	7
4. FILTROS ATIVOS.....	9
4.1 Filtro Ativo Paralelo	9
4.2 Filtro Ativo Serie.....	10
4.3 Filtro Ativo Universal	10
5. MODELAGEM DE UM FILTRO ATIVO PARALELO	12
5.1 Modelagem do Filtro Ativo utilizando MATLAB/Simulink	12
5.1.1 Módulo PWM	14
5.2 Modelagem da carga.....	14
6. ESTRATÉGIA DE CONTROLE	16
7. SIMULAÇÕES	18
7.1 Carga indutiva linear	18
7.2 Carga indutiva não linear.....	19
8. CONCLUSÃO	22
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	23

Lista de Figuras

Figura 1 - Compensação com banco de capacitores em paralelo.	5
Figura 2 - Banco de capacitores segmentado	5
Figura 3 - Filtro Ativo Paralelo	9
Figura 4 - Filtro Ativo Serie	10
Figura 5 - Filtro Ativo Universal	11
Figura 6 - Simulação do Filtro Ativo Paralelo em Matlab/Simulink	12
Figura 7 - Modelo Filtro Ativo em MATLAB/Simulink®	13
Figura 8 – Filtro Ativo	13
Figura 9 – Tensão de saída do filtro, (a) dois níveis, (b), três níveis, (c) cinco níveis	14
Figura 10 – Modelagem do Módulo PWM	14
Figura 11 - Modelo da carga em MATLAB/Simulink	15
Figura 12 - Esquema de Controle	16
Figura 13 - Carga indutiva linear sem Filtro	18
Figura 14 - Carga indutiva linear com Filtro	19
Figura 15 - Carga indutiva não linear sem filtro	19
Figura 16 - Carga indutiva não linear com filtro	20
Figura 17 - Cargas em Paralelo sem Filtro	20
Figura 18 - Cargas em Paralelo com Filtro	21

1. INTRODUÇÃO

A Qualidade da Energia Elétrica é uma das maiores preocupações no setor elétrico atual, os prejuízos resultantes de problemas de qualidade da energia elétrica são cada vez mais elevados e por isso esta questão é objeto de grande preocupação por parte de empresas produtoras e distribuidoras, consumidores e fabricantes de equipamentos.

É interessante observar que a Energia Elétrica, enquanto produto, tem características particulares, uma vez que a forma como os consumidores a utilizam, influencia na qualidade de energia elétrica fornecida pelas empresas produtoras e distribuidoras, ou seja, uma carga “poluidora” produz efeitos não só a jusante mas também a montante do local de sua instalação.

A Qualidade da Energia Elétrica é diretamente influenciada pela quantidade de harmônicos injetados na rede por cargas não lineares, os quais nos últimos anos têm aumentado bastante devido aos equipamentos eletro-eletrônicos que possuem fontes de alimentação especiais, como retificadores controlados, inversores, fontes chaveadas e outras. Foi observado que esses equipamentos intensificam os distúrbios relevantes no sistema elétrico, dentre os distúrbios podemos citar:

1. Baixo nível do fator de potência da instalação
2. Altas taxas de distorção harmônica da tensão da rede elétrica devido à circulação de harmônicos de corrente na mesma.
3. Surgimento de sobretenções e sobrecorrentes.

O fator de potência de uma instalação é também influenciado pela quantidade de reativos que a mesma absorve da rede, quanto maior a quantidade de potência reativa drenada por uma instalação para uma mesma quantidade de potência ativa, menor será seu fator de potência e maior será a corrente nos condutores que alimentam essa instalação, resultando desta forma em maiores perdas nos condutores de alimentação.

Para solucionar estes problemas, é possível utilizar filtros ativos, tais como filtros ativos paralelos e/ou em série, estes devem compensar os harmônicos injetados nas redes por uma carga não linear além de fornecer a esta carga a potência reativa a ela necessária, de forma que o conjunto “instalação + filtro”, seja visto pela rede como uma carga linear e com fator de potência unitário.

É possível ainda a utilização do filtro universal, o qual é obtido utilizando-se conjuntamente o filtro ativo série e o filtro ativo paralelo.

2. COMPENSAÇÃO DE POTÊNCIA REATIVA

Habitualmente o fator de potência se corrige instalando-se em paralelo a carga “que é geralmente indutiva” um banco capacitivo, como mostrado na figura 1.

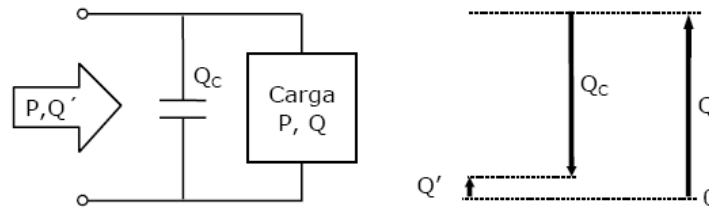


Figura 1 - Compensação com banco de capacitores em paralelo.

Estes elementos apresentam alguns inconvenientes, como por exemplo:

- A potência depende do módulo e frequência da tensão;
- Sua inclusão a rede pode resultar em fenômenos de ressonância indesejáveis com elementos da rede;
- O envelhecimento afeta a potência reativa que são capazes de fornecer;

Quando se deseja que a potência reativa gerada pelo banco de capacitores se adapte ao comportamento variável da carga, é normal encontrar baterias de capacitores que são conectadas a rede separadamente, segundo a necessidade. Este esquema é mostrado na figura 2.

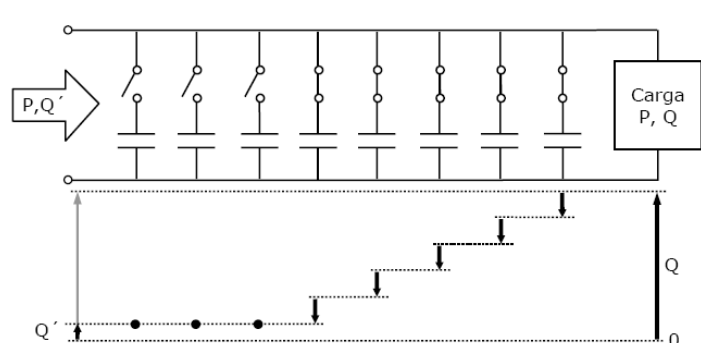


Figura 2 - Banco de capacitores segmentado

Entretanto o esquema de segmentar o banco de capacitores apresenta ainda os seguintes inconvenientes:

- A capacidade de adaptação do banco capacitivo depende do número de segmentos, e um número grande de segmentos acarretaria em um sistema bastante oneroso
- A corrente durante a conexão de uma bateria de capacitores pode alcançar valores consideráveis.
- A utilização de elementos mecânicos para a conexão dos segmentos do banco capacitivo significa limitação quanto à velocidade de atuação.

Um elemento que tem sido empregado na compensação de potência reativa é o compensador síncrono, que nada mais é que uma máquina síncrona rodando em vazio. De forma que o controle da compensação é obtido através da variação de sua excitação, este se comportará como uma carga indutiva quando sub-excitado e como uma carga capacitiva quando sobre-excitado. Dentre as características do compensador síncrono podemos citar:

- A regulação da potência reativa é muito fácil e progressiva, podendo-se compensar cargas indutivas e capacitivas, durante um transitório ou regime permanente.
- Apesar de funcionar em vazio a máquina síncrona absorve uma potência ativa considerável devido às perdas mecânicas, e nos enrolamentos.
- Sua instalação requer um alto investimento de capital.

O que foi anteriormente exposto visa apresentar as técnicas até então largamente utilizadas na compensação de potência reativa, tratam-se de soluções que utilizam artifícios eletromecânicos para variar a potência compensada, desta forma possuem pesadas limitações em tempo de atuação, custos elevados de emprego e manutenção.

Por este motivo o emprego de compensadores estáticos de potencia reativa, do inglês *Static Var Compensator SVC*, torna-se importante na melhoria da qualidade da energia elétrica.

Utilizando a teoria da eletrônica de potência juntamente com a teoria de controle é possível desenvolver filtros ativos através do uso de tiristores, indutores, capacitores, DPS's, etc. A variação da potência compensada é conseguida através da variação do módulo e fase da tensão de saída do filtro, o que pode ser conseguido através da utilização de módulos PWM.

3. HARMÔNICAS EM COMPONENTES DO SISTEMA

Distorções harmônicas são causadas por cargas não lineares, resultando em correntes de maior magnitude nos sistemas elétricos. O grau com que harmônicas podem ser toleradas em um sistema de alimentação depende de equipamento para equipamento. Os equipamentos menos sensíveis, geralmente, são os de aquecimento (carga resistiva), para os quais a forma de onda não é relevante. Os mais sensíveis são aqueles que, em seu projeto, assumem a existência de uma alimentação senoidal como, por exemplo, equipamentos de comunicação e processamento de dados. No entanto, mesmo para as cargas de baixa susceptibilidade, a presença de harmônicas (de tensão ou de corrente) podem ser prejudiciais, produzindo maiores esforços nos componentes e isolantes.

Existem indicadores que permitem quantificar e avaliar a distorção harmônica das ondas de tensão e de corrente; fator de potência, o fator de crista, a potência de distorção, o espectro em frequência e a taxa de distorção harmônica.

3.1 Motores e Geradores

O maior efeito dos harmônicos em máquinas rotativas (indução e síncrona) é o aumento do aquecimento devido ao aumento das perdas no ferro e no cobre. Afeta-se, assim, sua eficiência e o torque disponível. Além disso, tem-se um possível aumento do ruído audível, quando comparado com alimentação senoidal.

3.2 Transformadores

Também neste caso tem-se um aumento nas perdas. Harmônicos na tensão aumentam as perdas no ferro, enquanto harmônicos na corrente elevam as perdas no cobre. A elevação das perdas no cobre deve-se principalmente ao efeito pelicular, que implica numa redução da área efetivamente condutora à medida que se eleva a frequência da corrente, ou seja, as componentes harmônicas de frequência elevada.

Normalmente as componentes harmônicas possuem amplitude reduzida, o que colabora para não tornar esses aumentos de perdas excessivos. No entanto, podem surgir situações específicas (ressonâncias, por exemplo) em que surjam componentes de alta frequência e amplitude elevada.

3.3 Condutores

Em razão do efeito pelicular, que restringe a secção condutora para componentes de frequência elevada, também os cabos de alimentação têm um aumento de perdas devido às harmônicas de corrente. Além disso, tem-se o chamado "efeito de proximidade", o qual relaciona um aumento na resistência do condutor em função do efeito dos campos magnéticos produzidos pelos demais condutores colocados nas adjacências.

Temos ainda, caso os cabos sejam longos e os sistemas conectados tenham suas ressonâncias excitadas pelas componentes harmônicas, podem aparecer elevadas sobre-tensões ao longo da linha, podendo danificar o cabo.

3.4 Capacitores

O maior problema aqui é a possibilidade de ocorrência de ressonâncias (excitadas pelas harmônicas), podendo produzir níveis excessivos de corrente e/ou de tensão. Além disso, como a reatância capacitiva diminui com a frequência, tem-se um aumento nas correntes relativas às harmônicas presentes na tensão.

As correntes de alta frequência, que encontrarão um caminho de menor impedância pelos capacitores, elevarão as suas perdas ôhmicas. O decorrente aumento no aquecimento do dispositivo encurta a vida útil do capacitor.

3.4 Equipamentos Eletrônicos

Alguns equipamentos podem ser muito sensíveis a distorções na forma de onda de tensão. Por exemplo, se um aparelho utiliza os cruzamentos com o zero (ou outros aspectos da onda de tensão) para realizar alguma ação, distorções na forma de onda podem alterar, ou mesmo inviabilizar, seu funcionamento.

Caso as harmônicas penetrem na alimentação do equipamento por meio de acoplamentos indutivos e capacitivos (que se tornam mais efetivos com o aumento da frequência), eles podem também alterar o bom funcionamento do aparelho.

Aparelhos de medição e instrumentação em geral são afetados por harmônicas, especialmente se ocorrerem ressonâncias que afetam a grandeza medida.

4. FILTROS ATIVOS

Serão apresentados aqui de forma resumida alguns filtros ativos e os princípios de funcionamento das seguintes estruturas:

Filtro ativo paralelo;

Filtro ativo série;

Filtro ativo universal.

4.1 Filtro Ativo Paralelo

O Filtro ativo paralelo (FAP) é geralmente empregado para corrigir harmônicas de corrente de cargas não lineares. Ele é conectado em paralelo com a rede e com a carga, atuando como um dispositivo que drena ou injeta corrente na rede, de modo que a corrente total drenada da rede seja senoidal, busca-se ainda que a corrente esteja em fase com a tensão resultando dessa forma em uma instalação cujo fator de potência seja unitário, o esquema de aplicação de um Filtro Paralelo é mostrado na figura 3.

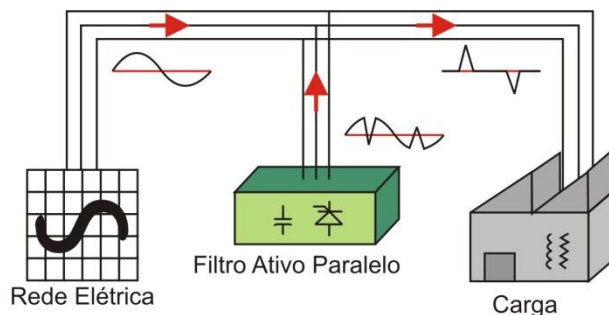


Figura 3 - Filtro Ativo Paralelo

É possível utilizar uma estratégia de controle tal que os reativos da carga sejam também compensados no caso de uma carga indutiva ou capacitiva.

No caso de uma carga resistiva, a corrente será linear e em fase com a tensão, portanto, é de se esperar que o FAP não injete nem drene nenhuma corrente na rede, exceto a corrente necessária para compensar suas perdas.

Seguindo o mesmo raciocínio no caso de uma carga indutiva ou capacitiva, o FAP injetará uma corrente atrasada ou adiantada de 90 graus respectivamente.

O filtro paralelo não processa corrente ativa, por ele circula apenas potência reativa para compensar as harmônicas de corrente da carga ou o reativo de deslocamento da mesma. Dessa forma, as perdas FAP são menores do que as do Filtro

Ativo Série, FAS, visto que o último processa toda corrente da carga, como será visto adiante.

É interessante notar que não existe necessidade de se modificar a carga no caso da instalação de um FAP, e quando o mesmo deixa de operar a carga continua sendo alimentada normalmente pela rede, mas com baixo fator de potência e sem compensação de harmônicos.

4.2 Filtro Ativo Serie

Usado na compensação da tensão na rede, esse filtro funciona isolando a carga contra perturbações, tais como distorções harmônicas. Ele apresenta desta forma uma característica de fonte de tensão variável, a qual se soma a tensão distorcida da rede, resultando em uma tensão puramente senoidal. É mostrado na figura 4 o esquema de aplicação de um FAS.

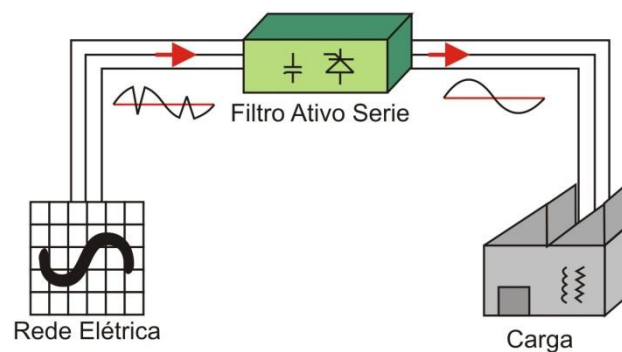


Figura 4 - Filtro Ativo Serie

O FAS também pode ser utilizado para compensar as harmônicas de corrente da carga, funcionando assim como uma impedância variável, que deixa circular a componente fundamental da corrente da carga, mas bloqueia as componentes harmônicas, ou seja, é uma impedância elevada para as harmônicas de corrente.

Dentre as desvantagens do uso do FAS em relação ao FAP podemos citar o fato de toda corrente ter que passar no FAS o que se traduz em maiores perdas e se o filtro parar de funcionar a carga é desligada.

4.3 Filtro Ativo Universal

Trata-se da combinação dos filtros ativos série e paralelo em uma topologia denominada PLC (Power Line Condition) que é mostrada na figura 5.

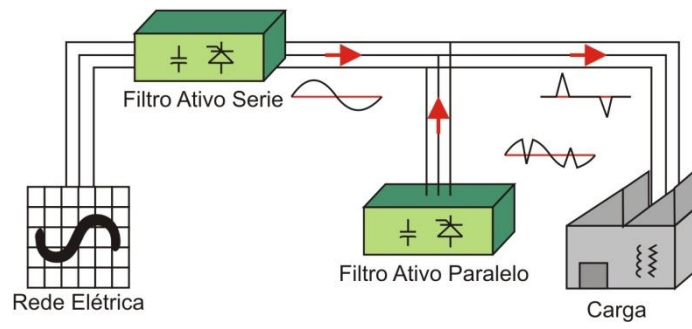


Figura 5 - Filtro Ativo Universal

Esta combinação incorpora características de compensação do filtro serie com as do filtro paralelo. O filtro série compensando distorções da rede e o filtro paralelo compensando reativos e harmônicos da carga.

5. MODELAGEM DE UM FILTRO ATIVO PARALELO

Nesta seção será apresentada a simulação de um filtro ativo paralelo, no ambiente do MatLab/Simulink que é mostrada na figura 6.

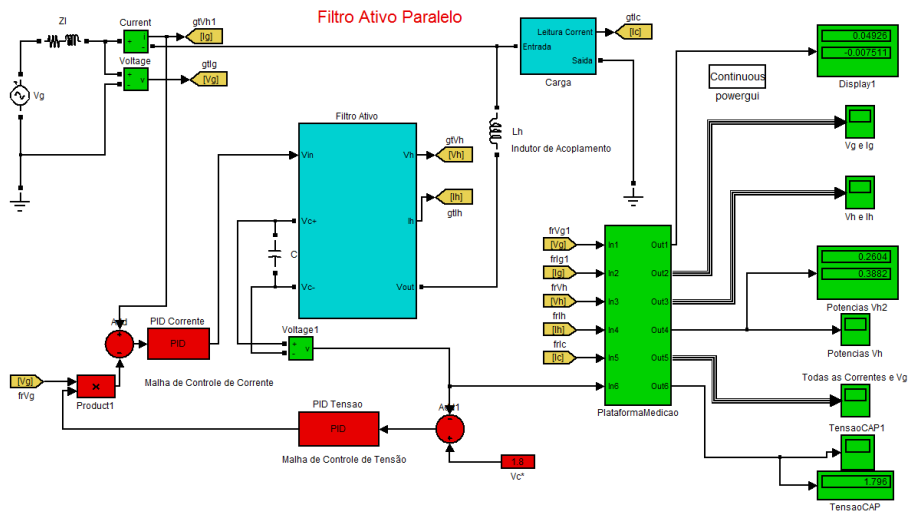


Figura 6 - Simulação do Filtro Ativo Paralelo em Matlab/Simulink

Na simulação mostrada na figura 6, a fonte de tensão ‘Vg’ representa a rede elétrica, a impedância ‘Zl’ representa a impedância da linha entre o ponto de fornecimento e a entrada da carga. Os dois blocos em azul são o filtro ativo paralelo e a carga, que pode ser modificada internamente para simular o comportamento de vários tipos de carga, toda a malha de controle é representada na cor vermelha, dispositivos de medição são representados na cor verde.

5.1 Modelagem do Filtro Ativo utilizando MATLAB/Simulink

O filtro ativo paralelo modelado neste trabalho é formado por vários elementos, tais como capacitores, chaves controladas, diodos, modulo PWM, controladores PID, etc. O modelo do filtro ativo sem controladores é mostrado na figura 7.

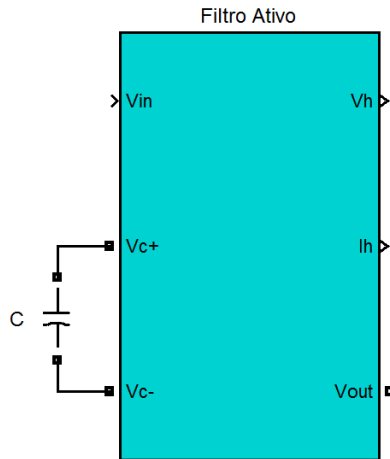


Figura 7 - Modelo Filtro Ativo em MATLAB/Simulink®

No modelo do filtro ativo mostrado na figura 7 temos as seguintes entradas/saídas:

- **Vin:** Tensão de controle, do PWM, essa será a tensão comparada com a onda triangular gerada no módulo PWM para a geração de uma onda na saída.
- **Vh:** Tensão de saída do filtro ativo.
- **Ih:** Corrente de saída do filtro ativo
- **Vout:** Conexão elétrica do modelo do filtro que deve ser conectada a indutância de acoplamento.

Internamente o modelo do FAP é constituído de chaves controladas e um gerador de PWM, como mostrado na figura 8, note que existe um circuito de carga do capacitor, esse circuito serve para dar uma carga inicial no capacitor, se o mesmo estiver totalmente descarregado.

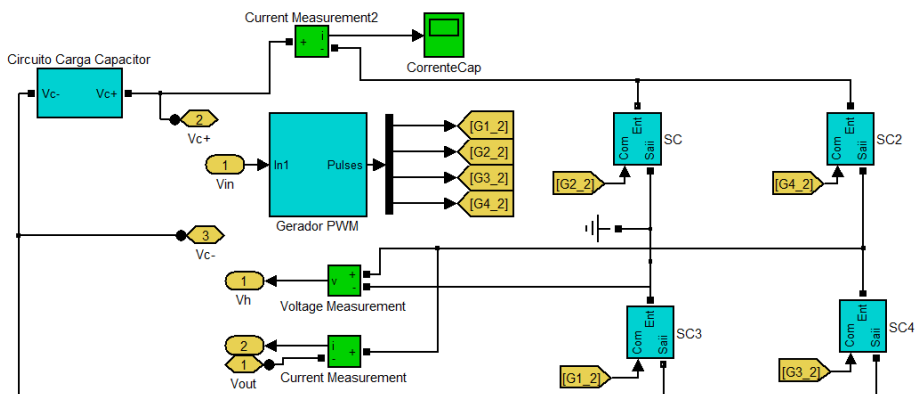


Figura 8 – Filtro Ativo

5.1.1 Módulo PWM

Dependendo da modulação empregada, a tensão de saída do filtro apresentará diferentes níveis, como mostrado na figura 9. Quanto maior o número de níveis de tensão melhor o desempenho do filtro ativo, mas por outro lado mais complicado se tornará o seu controle.

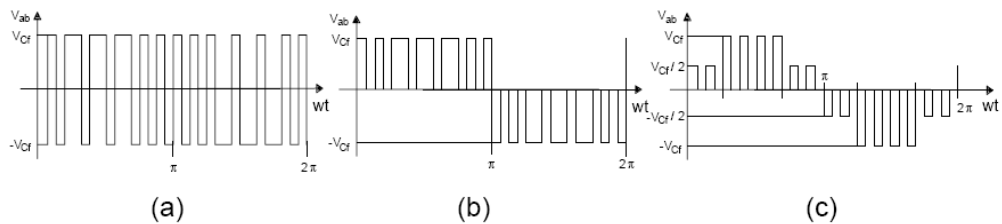


Figura 9 – Tensão de saída do filtro, (a) dois níveis, (b) três níveis, (c) cinco níveis

O disparo das chaves SC mostradas na figura 8 é realizado através de um gerador de sinais PWM de 3 níveis (+Vc, 0, -Vc), mostrado em detalhes na figura 9.

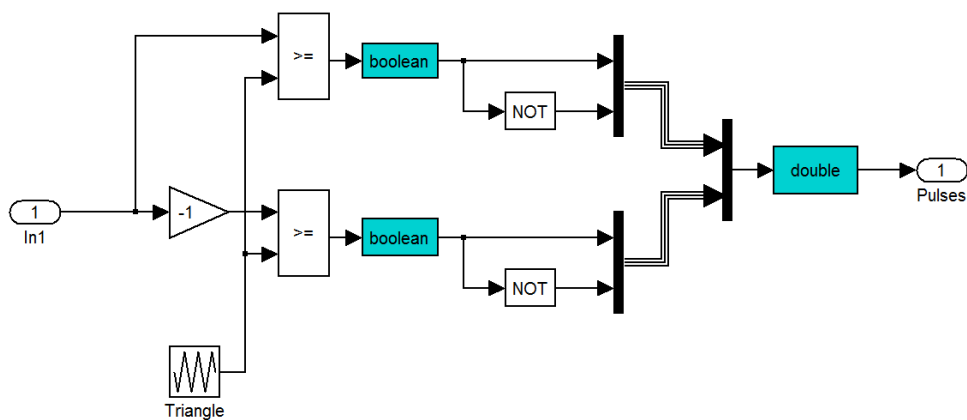


Figura 10 – Modelagem do Módulo PWM

5.2 Modelagem da carga

A carga modelada é uma carga indutiva linear conectada a rede através de tiristores, em uma configuração ponte de onda completa. Modificando-se o disparo dos tiristores podem-se obter diversas cargas não lineares, o modelo da carga é mostrado na figura 10.

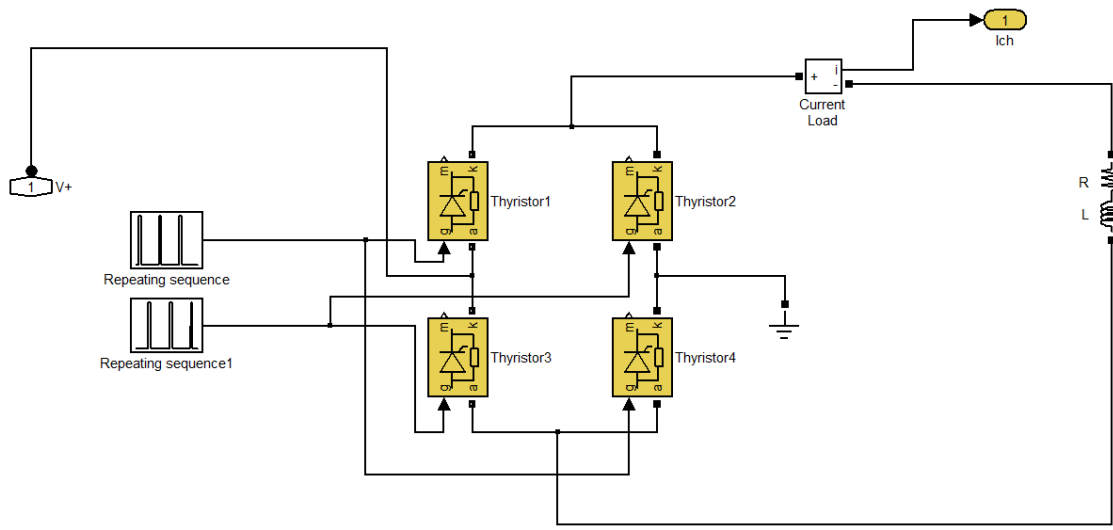


Figura 11 - Modelo da carga em MATLAB/Simulink

6. ESTRATÉGIA DE CONTROLE

Será apresentada nesta seção a estratégia de controle para o filtro ativo paralelo, baseada no monitoramento da corrente drenada da rede.

A malha de tensão monitora a tensão do capacitor, garantindo que o valor médio dessa tensão seja mantido constante a um valor maior que o valor de pico da tensão da rede.

A malha de corrente (Corrente na rede ou no FAP) é quem efetivamente faz com que o filtro ativo compense as harmônicas de corrente da carga, impondo uma corrente no filtro ativo ou na rede, de acordo com a estratégia de controle escolhida.

É mostrado na figura 12 o esquema da estratégia de controle do filtro ativo utilizada neste trabalho.

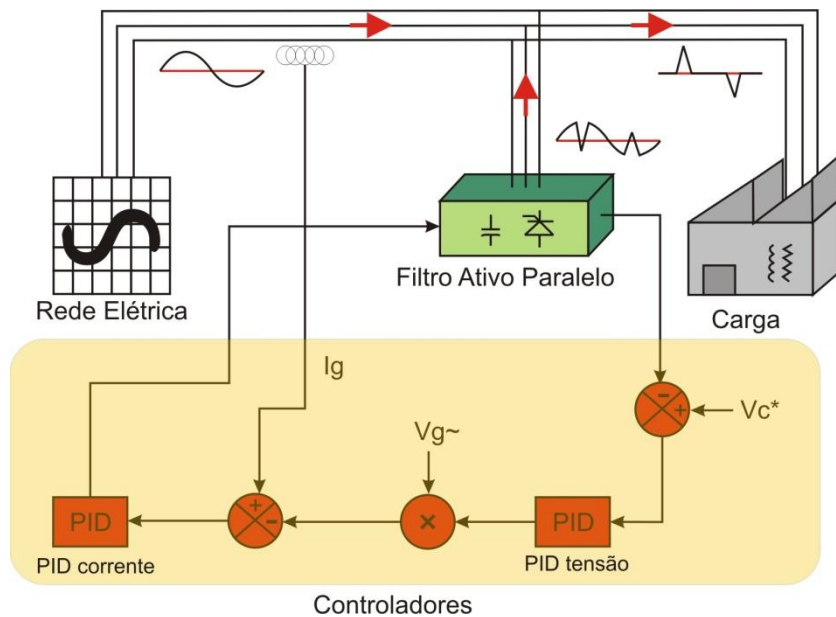


Figura 12 - Esquema de Controle

O controle é formado por duas malhas, uma de corrente e uma de tensão, sendo a malha de tensão lenta e a malha de corrente bastante rápida para responder a picos de corrente da carga e outros comportamentos não linear que esta possa apresentar.

O controle de corrente é o verdadeiro responsável pela compensação de reativos e harmônicos. Sabendo que:

$$\vec{I}_g = \vec{I}_h + \vec{I}_c$$

Onde “ \vec{I}_g ” é a corrente drenada da rede, “ \vec{I}_h ” corrente gerada pelo filtro, “ \vec{I}_c ” corrente na carga.

A corrente " \vec{I}_h " é gerada na tentativa de fazer a corrente " \vec{I}_g " seja senoidal e esteja em fase com a tensão, isso é conseguido.

O controle é realizado da seguinte forma:

1. Sinal de tensão do capacitor é comparado com a tensão de referência, resultando em 'ERRO_Vc'.
2. O PID da malha de tensão recebe o sinal 'ERRO_Vc' e envia um sinal de saída que será multiplicado por uma senoide unitária em fase com a tensão da rede 'Vg' criando dessa forma um sinal de referência 'I_g*'.
3. A leitura da corrente da rede é realizada e comparada com 'I_g*', gerando o sinal ERRO_I_g, o qual é a entrada do PID da malha de corrente, que gera um sinal 'Vin'.
4. O Sinal 'Vin' é então usado como entrada do módulo PWM que gera dessa forma a tensão de saída do filtro em três níveis (-V_c; 0; +V_c).

7. SIMULAÇÕES

As simulações mostradas aqui tentam cobrir todas as possibilidades de cargas, cargas com fator de potência menor que um, cargas não lineares, etc.

A tensão da rede foi ajustada para uma senóide de 60Hz de amplitude 1p.u. a tensão no capacitor vai ser controlada em 1.8p.u. e a indutância de acoplamento do filtro é ideal de reatância 1p.u., a impedância entre a rede e a carga tem valor resistivo de 0.001p.u. e de reatância indutiva de 0.01, a carga tem valor resistivo de 0.7p.u. e reatância indutiva de 0.6p.u.

7.1 Carga indutiva linear

A carga indutiva foi configurada utilizando-se um circuito RL série, e os tiristores funcionando como diodos, ou seja, ângulo de disparo 0° .

Resistência = 0.8p.u., Reatância indutiva = 0.6p.u.

O comportamento da carga indutiva sem o uso do filtro é mostrado na figura 13.

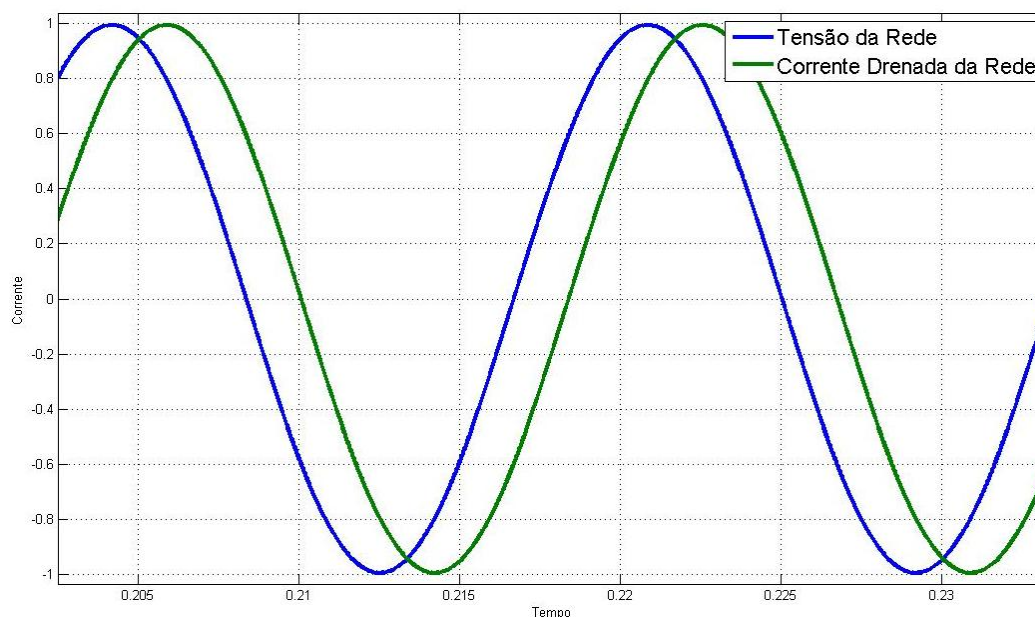


Figura 13 - Carga indutiva linear sem Filtro

Adicionando-se o filtro ao sistema, o fator de potência será corrigido e teremos as curvas que são mostradas na figura 14. Note que a corrente gerada pelo filtro “em vermelho” quando somada a corrente drenada pela carga resulta em uma corrente senoidal e em fase com a tensão da rede.

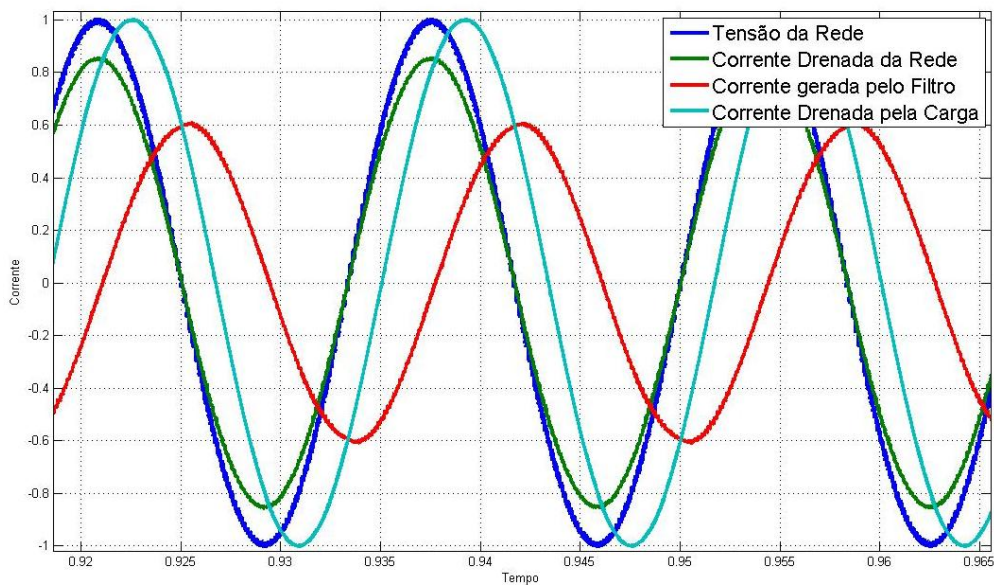


Figura 14 - Carga indutiva linear com Filtro

7.2 Carga indutiva não linear

A carga indutiva não linear foi configurada utilizando-se um circuito RL série, conectado a rede através de uma ponte de tiristores em configuração onda completa, os tiristores foram configurados para disparar em 45° , isso foi feito para se aumentar o comportamento não linear da carga.

Resistência = 2.6p.u., Reatância indutiva = 0.6p.u.

Na figura 15 são mostradas as curvas de tensão e corrente drenada da rede para a carga indutiva não linear, sem o uso do filtro.

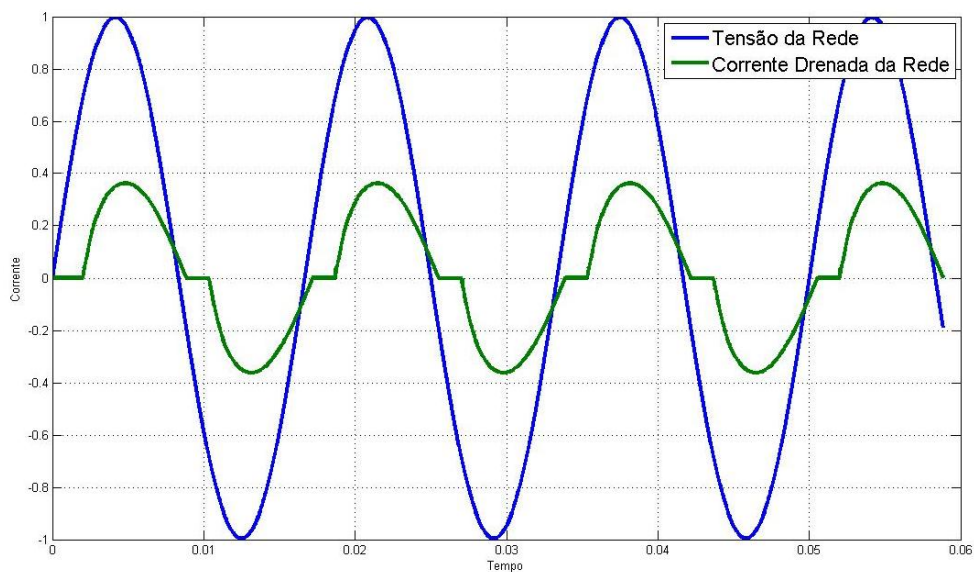


Figura 15 - Carga indutiva não linear sem filtro

Na figura 16 são mostradas as curvas resultantes da simulação utilizando-se o filtro em paralelo a carga indutiva não linear

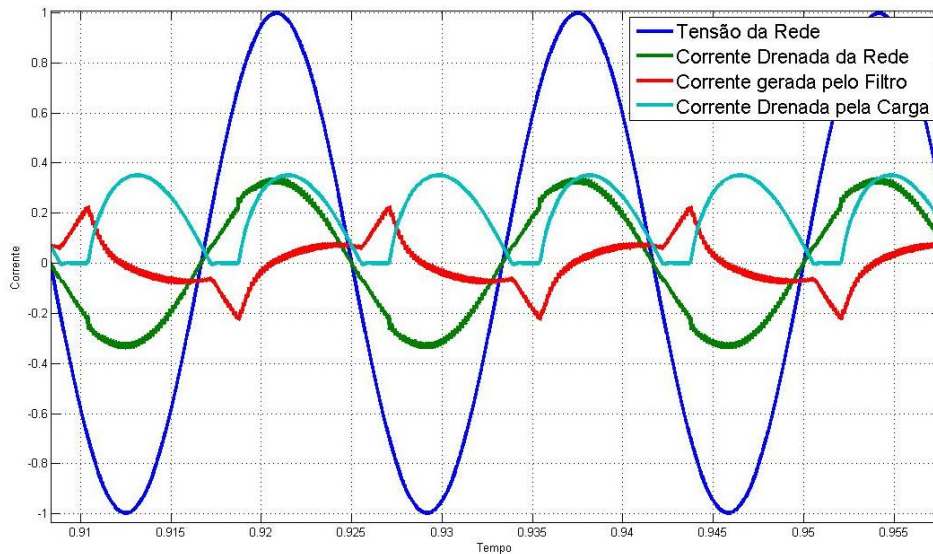


Figura 16 - Carga indutiva não linear com filtro

7.3 Carga indutiva não linear em paralelo com carga resistiva linear

Para mostrar como uma carga não linear pode interferir no bom funcionamento de uma outra carga, são mostrados a seguir os resultados da simulação com uma carga linear em paralelo a uma carga não linear, nota-se que a corrente na carga linear sofre deformações por conta das deformações na tensão da rede, causadas pela corrente da carga não linear.

Na figura 17 são mostradas as curvas geradas na simulação sem o uso do filtro.

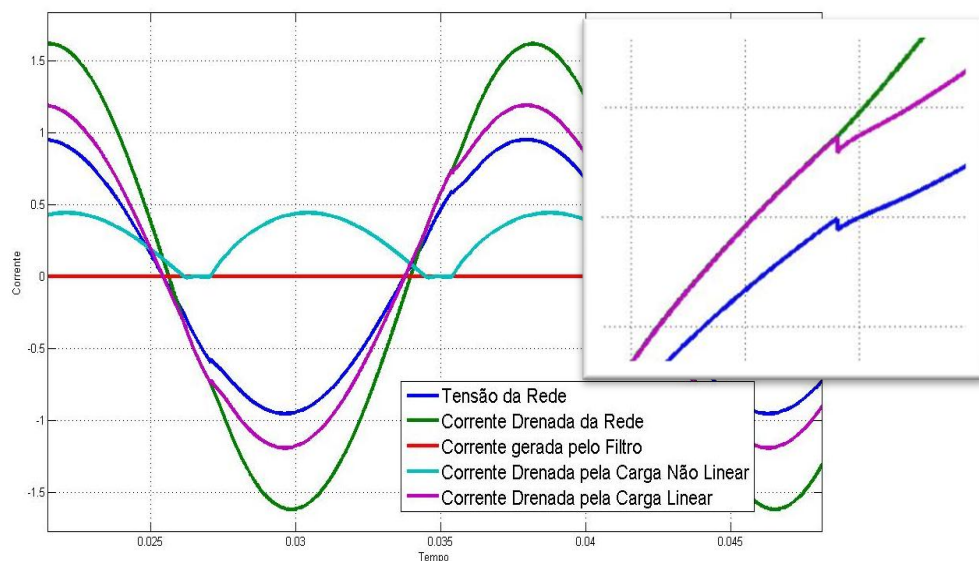


Figura 17 - Cargas em Paralelo sem Filtro

Ao se adicionar o filtro a corrente drenada da rede torna-se senoidal e em fase com a tensão, como mostrado na figura 18.

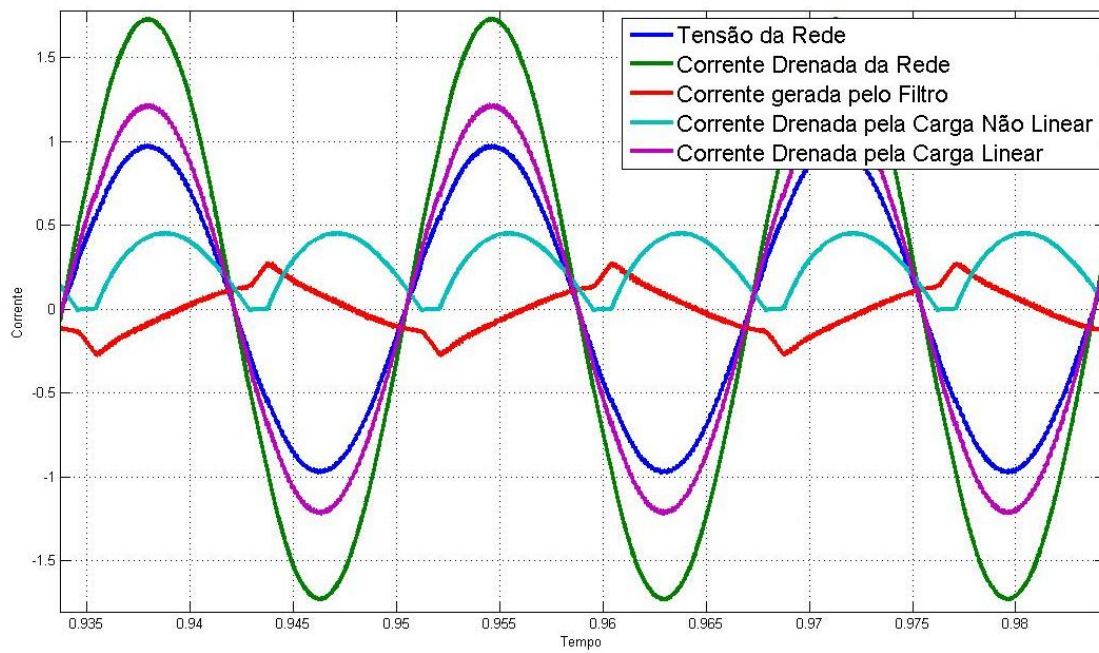


Figura 18 - Cargas em Paralelo com Filtro

8. CONCLUSÃO

A qualidade da energia é um fator fundamental para o bom desempenho de diversos segmentos industriais, dessa forma é imprescindível o uso de filtros de potência os quais amenizam os efeitos maléficos causados pelas cargas não lineares.

O grau com que harmônicas podem ser toleradas em um sistema de alimentação depende de equipamento para equipamento. Os equipamentos menos sensíveis, geralmente, são os de aquecimento (carga resistiva), para os quais a forma de onda não é relevante. Os mais sensíveis são aqueles que, em seu projeto, assumem a existência de uma alimentação senoidal como, por exemplo, equipamentos de comunicação e processamento de dados.

Foi mostrado por meio de simulações que o uso do filtro ativo paralelo é eficaz na compensação do fator de potência, atenuando as distorções da corrente e da tensão causadas por cargas não lineares e compensando a potência reativa drenada pela carga.

Ao compensar o fator de potência temos a diminuição do módulo da corrente drenada da rede, o que representará menores perdas na rede de distribuição por efeito joule.

Um estudo mais detalhado do sistema deve ser realizado com o objetivo de sintonizar os controladores da malha de corrente e tensão, de forma a se obter o melhor desempenho possível.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] – João L. Afonso, Julio S. Martins, Mauricio Aredes, Edson H. Watanabe - Filtro Ativo Paralelo com controle digital de baixo custo – Universidade Federal do Rio de Janeiro – IV SBQEE Porto Alegre/RS, 12 a 17 de Agosto de 2001.

[2] – Cooper Development Association – The cost of poor Power Quality – Power Quality Application Guide.

[3] – Manuel Coxe, Gil Marques, Jorge Assis, Pedro Verdelho – Compensação de Potência Reativa Fundamental e de Correntes Desequilibradas na Rede de Energia Elétrica – Instituto Superior Tecnico, SMEEP/CAUTL.

[4] – Rafael Rocha Matias – Compensadores Estáticos de Potência para Sistemas Trifásicos – Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Campina Grande – Fevereiro de 2007.

[5] – Camilo José Carrillo Gonzales, José Cidras Pidre – Compensadores Estáticos de Potência Reativa.

[6] – Joaquim Fernando Almeida Alves – Compensação Reativa por Conversão Estática de Energia – Dissertação de Mestrado – Universidade do Porto – Setembro de 1997.

[7] – R. Pregitzer, J. G. Pinto, P. Neves, Luiz. F. C. Monteiro, João L. Afonso – Filtros Ativos Paralelos para Compensação Dinâmica em Sistemas Monofasicos e Trifasicos – Universidade do Minho.