



**XXI SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
23 a 26 de Outubro de 2011  
Florianópolis - SC

**UFPA – Universidade Federal do Para**

**CENTRO DE EXCELÊNCIA EM EFICIENCIA ENERGETICA DA AMAZONIA- CEAMAZON**

**Utilização De Filtros Ativos Trifásicos Em Sistemas Com Cargas Não Lineares Indutivas Desequilibradas**

**Joel Filipe Guerreiro, Rogério de Souza e Silva, Maria Emilia de Lima Tostes  
Universidade Federal do Para, CEAMAZON**

**RESUMO**

Neste artigo Filtros Ativos Trifásicos de Potência (FAPs) são utilizados para reduzir o nível de distorção Harmônica de redes em condições não usuais. Apesar da diversidade de configurações e algoritmos de controle já existentes, o funcionamento desta técnica de filtragem possui severas restrições de operação. Mesmo teoricamente balanceadas, as cargas trifásicas não lineares em geral absorvem correntes desequilibradas, não obstante, a frequência de operação da rede elétrica pode variar, e causar acúmulo de erro. Para solucionar essa gama de problemas, neste trabalho será proposto um novo algoritmo de controle e uma nova topologia de FAPs capaz de mitigar harmônicos de corrente, corrigir fator de potência e reduzir o desequilíbrio de cargas com dinâmica desconhecida.

**PALAVRAS-CHAVE**

Filtros Ativos, Distorção Harmônica, Cargas Não Lineares Desequilibradas

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Com os avanços tecnológicos dos últimos anos, principalmente nas áreas de eletrônica de potência, o aparecimento de cargas não lineares absorvendo correntes não senoidais, torna-se um grande problema para o sistema brasileiro de distribuição de energia elétrica. Como exemplo de cargas não lineares importantes no setor industrial, podemos citar: lâmpadas fluorescentes, fontes chaveadas, fornos elétricos, HVDC (Sistemas de Alta Tensão DC), inversores de corrente e tensão, dispositivos PWM, dentre outros. O alto grau de distorção harmônica que os sistemas elétricos experimentam, estão diretamente ligados a uma extensa lista de problemas que afetam consideravelmente certos sistemas industriais com maior grau de complexidade e sensibilidade.

O problema da poluição harmônica torna-se portando um dos mais importantes no contexto da qualidade da energia. Quando presentes em altos índices, harmônicos de corrente e tensão de uma única carga interagem com as fontes de energia poluindo todo o sistema levando ao funcionamento impróprio de todas as demais cargas. Os sistemas de filtragem mais comuns utilizam filtros passivos em série ou paralelo, bem como dispositivos eletromagnéticos para mitigar harmônicos.

Com o passar dos anos, a distorção residual que essas técnicas não conseguem eliminar passou a interferir em equipamentos eletrônicos, e paralelamente novas definições dos limites mínimos de qualidade da energia explicitam a necessidade de dispositivos mais eficazes.

Estudos recentes mostram a utilização de filtros ativos como uma eficiente técnica adaptativa de mitigação harmônica (1), também eficiente para regular a tensão, amortecer oscilações e regular a transferência de potência, portanto diversas topologias foram idealizadas.

(\*) Avenida Roberto Camelier, nº 439 – Apto. 201 – CEP 66.033-640 Belém, PA – Brasil  
Tel: (+55 91) 8196-4993 / (+55 91) 3271-2395 – Email: Joel\_ufpa@hotmail.com

Nesse trabalho foi desenvolvida uma técnica que torna possível reduzir eficazmente a taxa de distorção harmônica de uma rede caso as cargas sejam não lineares, bem como corrigir o fator de potência caso as cargas sejam indutivas ou capacitivas não lineares e ainda equilibrar o sistema caso as cargas possuam componentes de sequência negativa e zero. No final do trabalho, será discutido como o desequilíbrio da corrente pode prejudicar o funcionamento próprio do sistema de filtragem ativa, e como corrigi-lo.

## 2.0 - MÉTODOS TRADICIONAIS DE CONTROLE DE FAPS

Durante esta secção será brevemente descrito os fundamentos teóricos de metodologias tradicionais de controle de FAPs (2), para posteriormente estudar as limitações e apresentar um modelo otimizado.

### 2.1 Modelagem Vetorial do Inversor de Tensão (Domínio da Frequência)

Filtros Ativos de Potência podem ser modelados tanto no domínio do tempo, quanto no domínio da frequência. Neste trabalho, será utilizado o modelo no domínio da frequência, pois para projeção em componentes de Park.

Na Figura 1 visualiza-se esquematicamente um sistema de filtragem ativa shunt sem neutro, e na Tabela 1 esta descrita a notação das variáveis mais importantes para a modelagem.

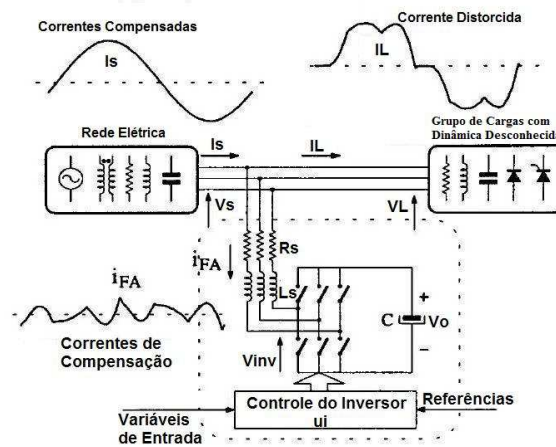


Figura 1 - Filtro Ativo Shunt

Tabela 1 - Notação das Variáveis da FIGURA1

Variável	Descrição
Is	Corrente na Rede Elétrica
Vs	Tensão da Rede Elétrica
IL	Corrente na Carga
VL	Tensão da Carga
IFA	Corrente no Filtro Ativo
Vinv	Tensão do Inversor
ui	Ordens de Comando
Rs	Resistência do Filtro de Corrente do FAP
Ls	Indutância do Filtro de Corrente do FAP
V0	Tensão do Ramo DC do FAP

A partir da Figura. 1 deduz-se a representação do modelo final do inversor de tensão trifásico no referencial girante de Park, vide (1).

$$\begin{cases} \frac{dIFA_d}{dt} = \frac{|Vs|}{L_s} - \frac{R_s}{L_s} \cdot IFA_d + \omega \cdot IFA_q - \frac{V_0}{L_s} \cdot u_d \\ \frac{dIFA_q}{dt} = -\frac{R_s}{L_s} \cdot IFA_q + \omega \cdot IFA_d - \frac{V_0}{L_s} \cdot u_q \\ \frac{dV_0}{dt} = \frac{3}{2 \cdot C} [IFA_d \cdot u_d + IFA_q \cdot u_q] - \frac{V_0}{R \cdot C} \end{cases} \quad (1)$$

O modelo acima é importante, pois é a partir do próprio que se baseia toda a parte de comando do filtro ativo. É importante ressaltar que existe um compromisso entre a máxima variação da corrente do filtro ativo e os componentes passivos ( $L_s$  e  $R_s$ ), o dimensionamento destes componentes deve limitar a transferência de potência ao sistema em harmônicos de alta frequência.

## 2.2 Comando por Modos Deslizantes

Estudando técnicas de controle de dispositivos de estrutura variável, como interruptores ou sistemas derivativos que comutam (como alguns autores preferem tratar) inseridos no contexto de filtros ativos de potência, torna-se evidente a necessidade por comandos por modos deslizantes (3). Esta técnica é utilizada amplamente e é caracterizada por qualidade em robustez, estabilidade e desempenho.

Quando combinado com a técnica da histerese (4), esse modo leva o estado de um sistema a uma referência previamente definida. O conjunto de pontos “caminho” pelos quais o sistema deve passar para atingir a referência previamente definida é denominado de superfície de comutação, a atuação da histerese no sentido de manter este caminho é definida como modo deslizante.

De modo geral este sistema de controle define as regiões em que o inversor deve operar no intuito de extrair as componentes harmônicas da rede, respeitando as condições de existência de modos deslizantes e todas as equações que delimitam as regiões de operação do comando do FAP. A tensão do ramo DC do inversor ( $V_0$ ) também é importante para a estabilidade e dinâmica do sistema, bem como para a compensação integral dos harmônicos.

## 2.3 Controle do Inversor de Tensão do FAP

O controlador do filtro ativo possui quatro variáveis de entrada (Corrente na Carga –  $IL_{123}$ , Corrente no Filtro –  $I_{fa123}$ , Tensão do Ramo DC –  $V_0$ , Tensão da fonte –  $V_s$  abc), e apenas uma saída (Ordens de Comando do Inversor –  $u_{123}$ ).

A correta utilização das variáveis de entrada torna possível a implementação de um controlador multivariável adaptativo capaz de mitigar todos os harmônicos de corrente gerados pela carga, bem como corrigir o fator de potência se a carga possuir característica indutiva ou capacitiva.

O controlador foi construído no ambiente Matlab/Simulink, o esquema básico apresenta-se na Figura 2.

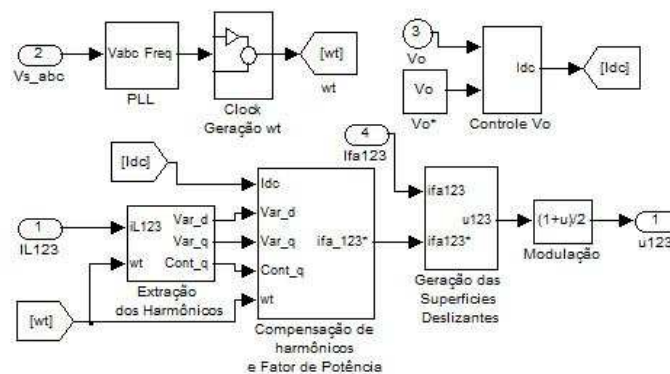


Figura 2 - Controlador Discreto do FAP

Todos os blocos da Figura. 2 agem em conjunto para calcular o conjunto de correntes de referência “ $I_{fa\_123}^*$ ”. Denominadas correntes de compensação, devem ser geradas pelo filtro para compensar as correntes harmônicas da carga, tornando as correntes da fonte senoidais. O controlador possui um sincronizador PLL que torna o filtro imune as flutuações de frequência da fonte, as quais podem levar ao acúmulo de erros de cálculo nos demais blocos. O bloco “Controle  $V_0$ ” é responsável por controlar a tensão do ramo DC do filtro ativo, o valor da tensão desejada “ $V_0$ ” depende do dimensionamento do filtro, o que veremos mais adiante.

As correntes “ $IL_{123}$ ” são as correntes da carga, através do bloco “Extração de Harmônicos” as correntes são transformadas utilizando as transformadas de Park em suas componentes em fase e em quadratura “ $IL_d$ ” e “ $IL_q$ ”. Utilizando um filtro passa baixa, retiram-se as componentes alternadas das componentes de Park “ $Var_d$ ” e “ $Var_q$ ”, essas componentes possuem o conteúdo harmônico de “ $IL_{123}$ ”, enquanto que a variável “ $Cont_q$ ” nos dá a possibilidade de controlar o fator de potência das correntes geradas pelo filtro, e consequentemente corrigir o da carga. “ $I_{dc}$ ” corresponde ao sinal de controle do ramo DC do filtro.

O bloco “Compensação de Harmônicos e Fator de Potência” realiza a transformada de Park inversa das componentes de controle, gerando as correntes de referência do filtro. As variáveis  $I_{dc}$ ,  $Var_d$ ,  $Var_q$  e  $Cont_q$  estão envolvidas neste processo.

As correntes de referência são comparadas com as correntes de entrada do inversor a banda fixa, então logo que o erro chega à banda inferior uma ordem de comando “ $u$ ” é gerada para aumentar a tensão de saída do inversor. Esta é a aplicação da técnica da histerese e é executada pelo bloco “Geração das Superfícies Deslizantes”.

### 3.0 - SIMULAÇÃO

Após a modelagem do filtro e construção do algoritmo de controle, um simulador foi construído utilizando o ambiente Matlab/Simulink e o toolbox Simpowersystem. Simulando um sistema convencional de distribuição de energia elétrica, alimentando uma carga não linear indutiva, o simulador mostra o funcionamento de um sistema de filtragem ativa híbrido. Na Figura 3 apresenta-se o sistema esquematicamente e na Tabela 2 definem-se as variáveis.

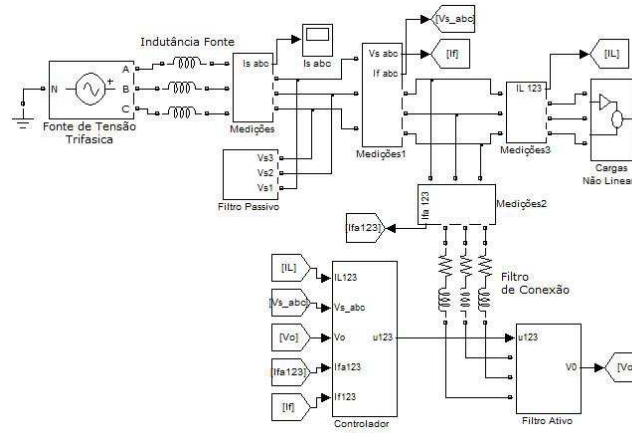


Figura 3 - Simulador do Filtro Ativo Shunt

Tabela 2. Notação das Variáveis da Figura 3

Variável	Descrição
Is	Corrente na Fonte
Vs	Tensão da Fonte
IL	Corrente na Carga
VL	Tensão da Carga
Ifa	Corrente no Filtro Ativo
ui	Ordens de Comando
V <sub>0</sub>	Tensão do Ramo DC do FAP
If	Corrente da Fonte sem a Filtragem Passiva

O modelo matemático desenvolvido até o momento supõe uma rede ideal, sem impedâncias. Paralelamente, nenhuma limitação de frequência de comutação foi imposta ao filtro ativo, nem atrasos dos sistemas de aquisição e de geração de ordens de comando. Enfim o modelo é contínuo e diversos aspectos não foram levados em consideração.

No simulador estas limitações são previstas para tornar sua dinâmica mais real possível, para isso foram previstos: Atrasos na entrada e na saída do sistema de aquisição, bem como a digitalização do controlador para limitar as frequências de comutação. Reatâncias na fonte ( $L = 300 \mu H$ ) foram inseridas para simular a distorção de tensão. Uma resistência na parte DC do filtro, simulando as perdas por comutação. Um filtro passivo passa altas de 3º ordem para minimizar a passagem de harmônicos de alta frequência, provenientes das comutações do filtro ativo.

Para testar e validar o modelo, será simulado o comportamento do filtro utilizando uma carga resistiva de 2kW alimentada por um retificador trifásico à diodo, como representado na Figura 4.

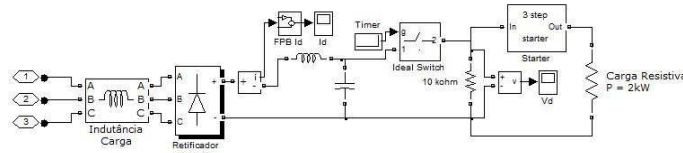


Figura 4 - Carga Não Linear

#### 3.1 Dimensionamento Teórico do FAP

Para que o FAP seja capaz de compensar todos os harmônicos da carga, sua potência deve ser pelo menos 30% da potência da carga. Para provar a existência dos modos deslizantes, deve-se calcular o valor mínimo de  $V_0$  necessário para compensação da integralidade dos harmônicos, a partir da Equação (2).

$$V_{0min} = \frac{3}{2} \left( |Vs| + \frac{2 \cdot L_s \cdot \omega \cdot Id}{\sqrt{3}} \right) \quad (2)$$

Para a carga de 2kW dimensionada previamente, calcula-se que  $V_{0min} = 300V$ . Para que o sistema opere com folga e garantir a estabilidade e a compensação integral dos harmônicos, definiremos  $V_0 = 500V$ .

### 3.2 Testes e Simulações

Depois de dimensionado o FAP, partiu-se para a simulação. A carga absorveu uma corrente não linear, ver Figura 5 (a). A Figura 5 (b) mostra a análise do espectro de frequência da corrente da carga  $I_L$ , essa corrente é semelhante à corrente drenada por inversores trifásicos de frequência alimentando motores.

As componentes harmônicas até a 49ª ordem mostraram-se relevantes para o cálculo da %THD, que para  $I_L$  teve valor de 122.1%. Um diferencial deste trabalho é justamente a carga, usualmente dimensionam-se FAPs para cargas com %THD de até 30%. Mitigar harmônicos de cargas com alto THD requer a sintonia fina de componentes que não são facilmente modalizados, como o valor da resistência  $R$  do ramo DC do FA.

O FAP gerou as correntes da Figura 5 (c). A corrente do sistema de filtragem ativa e a corrente da carga resultam na corrente  $I_s$  fornecida pela fonte, na Figura 5 (d) podemos visualizá-la. O espectro da corrente  $I_s$  é quase totalmente centrado em 60 Hz, senão por pequenas componentes harmônicas de alta frequência (em torno de 50kHz devido à limitação de chaveamento dos IGBTs) e inter-harmônicas.

É importante atentar também que o filtro ativo corrige fator de potência. Por possuir característica capacitiva, as correntes de carga são defasadas da tensão de fase. A influência do fator de potência da carga chega a 0.93 quando a compensação de fator de potência do filtro não está ativada. Utilizando-se a compensação de fator de potência é possível corrigir parcialmente o fator de potência da carga (que é reduzido a 0,99 capacitivo). Para minimizar as componentes de alta frequência, um filtro passivo passa baixas foi previsto no intuito de evitar que estas cheguem à fonte ocasionando distorção da tensão.

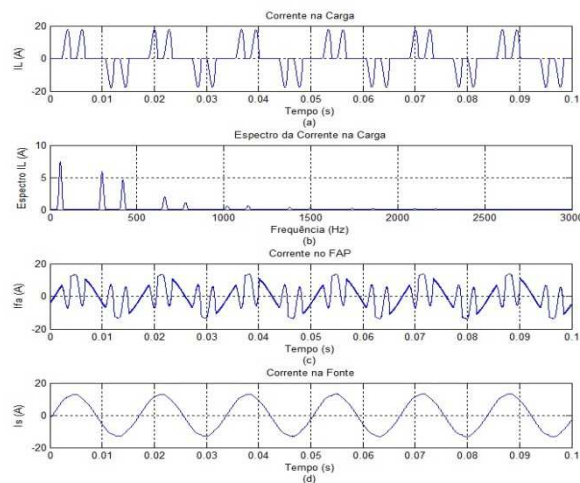


Figura 5 - Formas de Onda do Sistema

Sem o sistema de filtragem ativa, tampouco sem o filtro passivo a onda de tensão mostrou-se um pouco distorcida devido o efeito das indutâncias da fonte, de modo que a %DHT chegou a 4.12%. Conclui-se que o conjunto de filtros operando simultaneamente podem reduzir consideravelmente a distorção da tensão sem distorcer a tensão da fonte com harmônicos de alta frequência.

Após demonstrar que o FAP projetado está operante, estudaremos agora sua utilização em regime desequilibrado.

### 4.0 - REGIME DESEQUILIBRADO

Os sistemas de filtragem ativa convencionais operam sob restritas condições de operação, dentre elas; destaca-se o equilíbrio do sistema. Sistemas trifásicos desequilibrados possuem componentes de sequência negativa e zero, quando as cargas ou a fonte estão desequilibradas, o FAP opera anormalmente, pois o cálculo das componentes de Park deixa de ser válido. Assim a compensação acaba criando um regime de desequilíbrio diferente e pior em determinados casos.

Devido esta característica, nessa parte do trabalho será analisado o desempenho do sistema de filtragem definido até aqui operando em sistemas desequilibrados. Neste sentido, torna-se necessário realizar uma análise dos componentes de sequência positivas, negativa e zero dos harmônicos em sistemas elétricos.

#### 4.1 Funcionamento do FAP em Regime Desequilibrado

Se os sistemas de distribuição e transmissão fossem perfeitamente equilibrados e as cargas lineares, as três tensões e correntes possuiriam a mesma forma de onda e seriam separadas exatamente por  $+ ou - 1/3$  do período do componente fundamental (5).

Nessa parte do trabalho será demonstrado como o filtro ativo de potência pode operar mitigando harmônicos e eliminando o desequilíbrio de sistemas com apenas uma fonte de harmônicos.

Para simular o regime desequilibrado, simularemos como carga diversas máquinas indutivas monofásicas desequilibradas ligadas em paralelo a uma carga não linear dimensionada previamente. A corrente que este conjunto de cargas absorve é então não linear e desequilibrada, ver Figura 6 (a).

O Filtro Ativo é capaz de eliminar a distorção harmônica gerada pela carga, porém um novo estágio de desequilíbrio de correntes é gerado do lado da fonte. Como a configuração do FAP é sem neutro, as correntes de sequência zero ficam confinadas no sistema, o que aumenta o desequilíbrio. Se o neutro estivesse presente as componentes de sequência zero escoariam pelo terra e as correntes de fase seriam menos desequilibradas.

Através da Figura 6 (b) é claro que houve formação de componentes simétricas, levando o sistema a um estágio de desequilíbrio tanto em modulo quanto em fase. A partir desta análise, prova-se que metodologias tradicionais de filtragem ativa são inviáveis para compensar cargas que apresentem desequilíbrio.

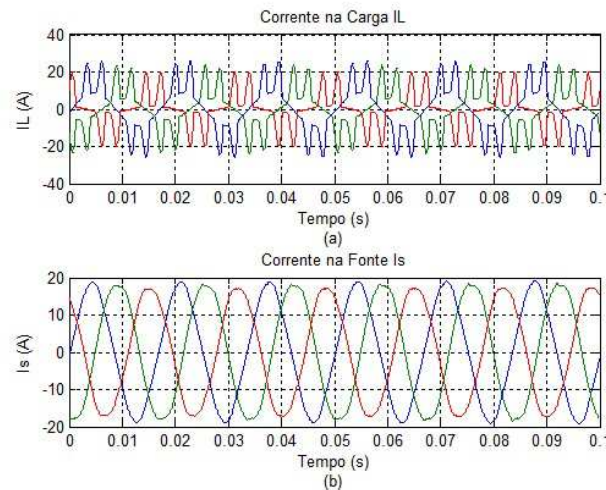


Figura 6 – Formas de Onda no Sistema Desequilibrado

#### 4.2 Equacionamento do Regime Desequilibrado

Um sistema trifásico desequilibrado pode ser decomposto em três sistemas equilibrados. Para isso é utilizada a transformação em componentes simétricas, obtendo três sequências: positiva, negativa e zero. O método empregado para detecção das correntes de referência também é conhecido como técnica Lasseter (6), (7). Esta abordagem consiste em separar as componentes simétricas da corrente de carga e a partir das componentes de sequência negativa e zero que correspondem ao desequilíbrio, gerar as referências de corrente do FAP.

O tratamento dado pelo método Lasseter à sequência zero, transformando para um referencial dq próprio, é um diferencial em relação aos outros métodos que não modificam a sequência zero. Especificamente a sequência zero de 60Hz presente na rede será representada por um valor CC, enquanto nos outros métodos permaneceria como um valor em 60Hz. Essa é uma característica interessante quando se pretende compensar o desequilíbrio da rede secundária, onde a sequência zero é relevante

É importante ressaltar que para aplicar esta técnica as correntes de sequência positiva são descartadas no processo de transformação inversa, pois o interessante é separar as correntes de sequência negativa e zero. A partir dessa técnica, podemos gerar novas correntes de referência  $I_a^*$ ,  $I_b^*$  e  $I_c^*$  para o FAP caso as correntes de carga sejam desequilibradas. O bloco que executa esta ação no simulador está representado na Figura 7.



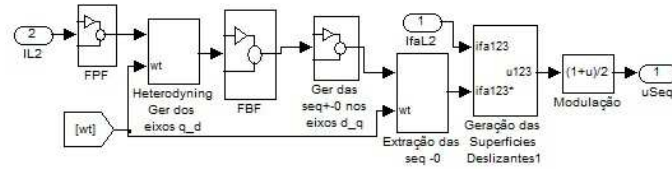


Figura 7 – Detecção das Componentes de Sequência Negativa e Zero

O bloco “FPF” é composto por um filtro passa faixa centrado em 60 Hz (frequência relevante ao sistema de detecção de componentes simétricas). O bloco “Heterodyning Ger dos eixos q\_d” tem a função multiplicar cada corrente de fase por  $2\cos(\theta)$  e  $-2\sin(\theta)$  para gerar as componentes  $I_q$  e  $I_d$  de cada fase. O processo cria uma componente de frequência 120 Hz, o bloco “FBF” é composto por um filtro bloqueia faixa e é responsável pela eliminação da componente em 120°, restando assim apenas um componente DC. As componentes simétricas  $I^+$ ,  $I^-$  e  $I^0$  no referencial q\_d são obtidos a partir da Equação (3).

$$I_{qd}^{+-0} = T * I_{qd}^{abc}; T = \begin{bmatrix} [T^+] \\ [T^-] \\ [T^0] \end{bmatrix} \quad (3)$$

Após a transformação em componentes simétricas, as componentes  $I^+q$  e  $I^+d$  são rejeitadas e as demais são direcionadas ao bloco “Extração das seq - 0”. O referido bloco faz a transformação inversa das correntes, transformando-as de volta ao domínio do tempo através de  $I_{qd}^{abc} = T^{-1} * I_{qd}^{+-0}$ .

Após esta transformação, as correntes projetadas no eixo q são multiplicadas por  $\cos(\theta)$  e as do eixo d por  $-\sin(\theta)$  para reverter o processo heterodyning e gerar as correntes de sequência negativa e zero.

#### 4.3 Modificação do Filtro Ativo

Como a técnica das componentes simétricas utiliza componentes de sequência positiva e zero para gerar as correntes de referência, o FAP na configuração sem neutro não poderá ser mais usado, uma nova topologia é necessária. Na configuração proposta neste trabalho, o filtro ativo torna-se capaz de mitigar harmônicos, fator de potência e componentes de sequência negativa e zero de cargas com dinâmica não conhecida. A detecção de correntes de sequência é feita simultaneamente a detecção de correntes harmônicas, essas correntes de referência são geradas pelo sistema de filtragem ativa atingindo assim o objetivo proposto.

#### 4.4 Simulação do Filtro Ativo Modificado

Para simular o funcionamento da nova topologia de filtragem ativa, vamos supor que seja necessário compensar cargas não lineares bifásicas conectadas em paralelo. As cargas são conectadas a uma rede de distribuição de 220 V fase-fase, o esquema da carga é representado na Figura 8, na Figura 9 visualiza-se a corrente na carga. É importante ressaltar que para a carga em questão a corrente de cada fase além de ser desequilibrada possui conteúdo harmônico diferente, aumentando assim o grau de dificuldade da compensação.

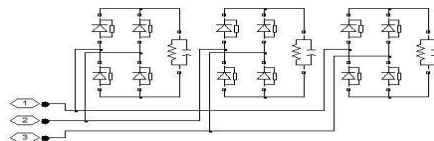


Figura 8 - Cargas Não Lineares Desequilibradas

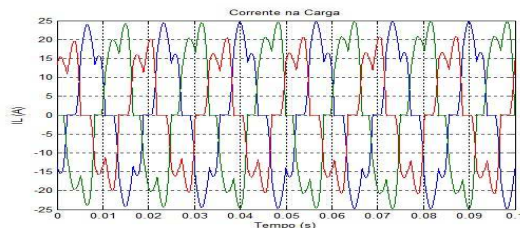
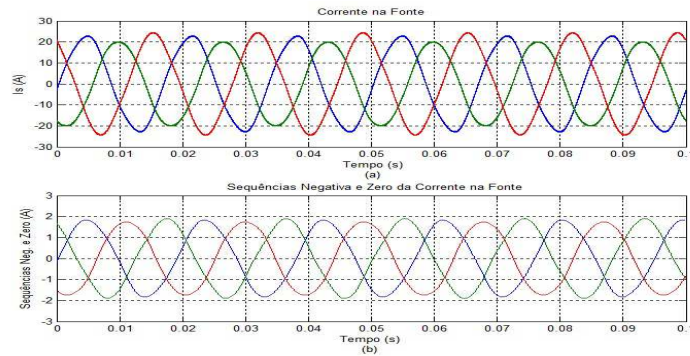


Figura 9 – Correntes Desequilibradas na Carga

Após a mitigação dos harmônicos, temos na Figura 10 (a) as correntes da fonte visivelmente desequilibradas, visualiza-se também na Figura 10 (b) as correntes de sequência negativa e zero somadas. O fator de desequilíbrio de corrente calculado devido à sequência negativa mais importante foi de 11,68% e Zero devido à sequência zero.



Figuras 10 – Correntes na Fonte com Componentes Simétricas

Neste contexto, torna-se necessário a utilização da técnica desenvolvida que leva em consideração o desequilíbrio das correntes. Após a atuação da compensação de sequências proposta neste trabalho é possível notar que o desequilíbrio foi drasticamente reduzido, ver Figura 11. Além do mais o problema do fator de potência é eliminado e otimizado em relação ao sistema passado, pois atinge o valor unitário.

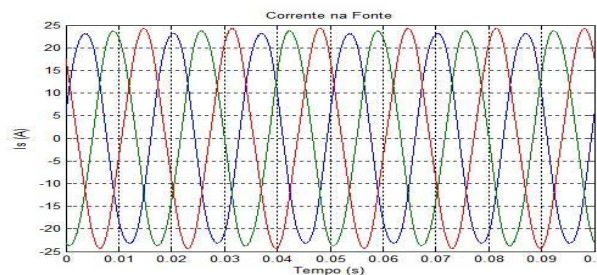


Figura 11 – Correntes na Fonte com a Compensação das Componentes Simétricas

Concluimos assim ver que o sistema de filtragem ativa proposto neste trabalho chega a mitigar efetivamente os principais problemas de um sistema de energia elétrica, mesmo em condições impróprias de operação.

## 5.0 - CONCLUSÃO

Neste trabalho estudamos o funcionamento de dois sistemas de filtragem ativa. O primeiro, um Filtro Ativo Híbrido sem neutro foi testado para funcionamento em regime desequilibrado. Como o controle desta estrutura não é baseado no comando independente de cada um dos três braços do inversor, devido à utilização da transformada de park na detecção das harmônicas, as ordens de comando de cada braço serão defasadas do outro de  $\pi/3$  radianos elétricos o que limita sua utilização a redes elétricas perfeitas.

Uma nova topologia de filtragem ativa é proposta visando a eliminação do problema do equilíbrio, desvio de qualidade tão comum nas cargas atuais. O modelo mostrou-se estável e robusto, ainda apresentando desempenho melhor em determinados aspectos comparando com a metodologia anteriormente proposta. Aumentamos assim o desempenho e o universo de aplicações dos FAPs.

## 6.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Ali Emadi, Abdolhosein Nasiri and Stoyan B. Bekiarov, "UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLIES AND ACTIVE FILTERS," pp. 63-110, 2005 by CRC Press.
- (2) Séverine Guffon, "MODÉLISATION ET COMMANDES À STRUTURE VARIABLE DE FILTRES ACTIFS DE PUISSANCE," 2000 pp. 86-111, Institute National Polytechnique de Grenoble.
- (3) Huu-Phuc To, FAZ Rahman and Colin Grantham "Sliding Mode Control of Current-source Active Power Filter with Control Delay Compensation," The 30th Annual Conference of the IEEE Industrial Eleftronics Society, November 2 - 6, 2004, Busan, Korea.
- (4) L. Malesani, P. Mattavelli, P. Tornasini, "High-Performance Hysteresis Modulation Technique for Active Filters," APEC 96, pp 939-946.
- (5) K.A. Tavares, J.R. Cogo, N.C. Jesus, "Influencia de Componentes de Sequencia nos Estudos de Fluxo Harmonico em Sistemas Desequilibrados," 2009 CBQEE.
- (6) Aloma Mota de Souza, "ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE SISTEMA DE CORREÇÃO DE DESEQUILÍBRIO DE CORRENTES EM DISTRIBUIÇÃO SECUNDÁRIA," 2008 Universidade Federal do Espírito Santo.
- (7) HOCHGRAF, Clark; LASSETER, Robert H. Statcom controls for operation with unbalanced voltages. IEEE Transactions on Power Delivery, v.13, n. 2, abril 1998.