

**CONVENCION INTERNACIONAL DE LA INGENIERIA EN CUBA
CIIC 2010**

**Evento: VI Conferencia de Ingeniería Mecánica, Eléctrica e Industrial.
CIMEI 2010**

**Título: Aplicação de Filtro Harmônico em Sistemas Elétricos de Baixa Tensão
utilizando Lógica Fuzzy.**

Autores:

Weverson dos Santos Cirino¹

Pesquisador do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia.

e-mail: weverson.cirino@gmail.com

Jandecy Cabral Leite²

Pesquisador do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia.

e-mail: jandecy.cabral@itegam.org.br

Carlos Tavares da Costa Junior

Professor da Universidade Federal do Pará (UFPA) – Programa de Pós-graduação.

e-mail: cartav@ufpa.br

Maria Emília de Lima Tostes

Professor da Universidade Federal do Pará (UFPA) – Programa de Pós-graduação.

e-mail: tostes@ufpa.br

RESUMO

Em um sistema elétrico existem vários circuitos e equipamentos industriais que se comportam como dispositivos não-lineares. Esse comportamento gera distorções no sistema elétrico. Essas distorções são chamadas de Harmônicas. Este artigo apresenta uma das várias soluções para minimizar esse problema através da utilização de filtros harmônicos passivos. A aplicação desse filtro se dará através de uma ferramenta computacional gerada para analisar e detectar quais harmônicas estão presente no sinal de entrada e prejudicam a qualidade do serviço de fornecimento, bem como, em projetar o filtro passivo. O Algoritmo está dividido em duas fases, uma para análise e detecção e a outra baseada em Lógica Fuzzy para a definição do estado do serviço de fornecimento – QEE (Qualidade da Energia Elétrica).

Palavras-chaves – Filtro Harmônico, Filtro Passivo, Harmônicas, Lógica Fuzzy, Série de Fourier.

**CONVENCION INTERNACIONAL DE LA INGENIERIA EN CUBA
CIIC 2010**

**Evento: VI Conferencia de Ingeniería Mecánica, Eléctrica e Industrial.
CIMEI 2010**

**Título: Aplicação de Filtro Harmônico em Sistemas Elétricos de Baixa Tensão
utilizando Lógica Fuzzy.**

Autores:

Weverson dos Santos Cirino¹

Pesquisador do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia.

e-mail: weverson.cirino@gmail.com

Jandecy Cabral Leite²

Pesquisador do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia.

e-mail: jandecy.cabral@itegam.org.br

Carlos Tavares da Costa Junior

Professor da Universidade Federal do Pará (UFPA) – Programa de Pós-graduação.

e-mail: cartav@ufpa.br

Maria Emilia de Lima Tostes

Professor da Universidade Federal do Pará (UFPA) – Programa de Pós-graduação.

e-mail: tostes@ufpa.br

RESUMO

Em um sistema elétrico existem vários circuitos e equipamentos industriais que se comportam como dispositivos não-lineares. Esse comportamento gera distorções no sistema elétrico. Essas distorções são chamadas de Harmônicas. Este artigo apresenta uma das várias soluções para minimizar esse problema através da utilização de filtros harmônicos passivos. A aplicação desse filtro se dará através de uma ferramenta computacional gerada para analisar e detectar quais harmônicas estão presente no sinal de entrada e prejudicam a qualidade do serviço de fornecimento, bem como, em projetar o filtro passivo. O Algoritmo está dividido em duas fases, uma para análise e detecção e a outra baseada em Lógica Fuzzy para a definição do estado do serviço de fornecimento – QEE (Qualidade da Energia Elétrica).

Palavras-chaves – Filtro Harmônico, Filtro Passivo, Harmônicas, Lógica Fuzzy, Série de Fourier.

1 Introdução

Durante os últimos 10 anos, as empresas e residenciais em todo o Brasil vem aumentando o número de equipamentos elétrico-eletrônicos ligados a rede elétrica de alimentação. Este aumento é proveniente do avanço tecnológico e cultural provocado pela globalização e pelo aumento do consumo devido ao crescimento do poder aquisitivo da sociedade.

Esses equipamentos são fabricados cada vez mais com componentes variados e de forma muito mais compactas, como por exemplo: microcomputadores e motores de corrente contínua. O problema é que dentro desses equipamentos existem circuitos não-lineares, que uma vez alimentados, provocam o surgimento de distorções, interferências e espúrios (que são chamadas de Harmônicas), que em grande quantidade, podem provocar danos ao

sistema elétrico. Harmônicos presentes nesse sistema são definidos como tensão e correntes senoidais em frequências que são múltiplos inteiros da principal gerado (ou fundamental) de frequência [1].

Para agravar mais ainda este problema, foi constatado que o crescimento na instalação de equipamentos no sistema elétrico para diminuir os efeitos de tais harmônicas não ocorreu de forma satisfatória. Dessa forma, podemos dizer que a corrente que está sendo disponibilizada para o usuário não é uma pura senoíde, e sim, um sinal distorcido. Este problema da má qualidade da energia elétrica e sua escassez é atual.

O impacto dessas harmônicas no sistema elétrico é bastante prejudicial para os equipamentos de potência, podendo causar aquecimento excessivo em transformadores e geradores, mau funcionamento de equipamentos eletrônicos, danos a dispositivos conectados ao sistema (decorrentes de sobre-tensões) e diminuição da vida útil de cabos.

Entre os possíveis efeitos externos dos harmônicos são uma degradação na comunicação sistemas de desempenho, ruído audível excessiva e harmônica induzida por tensão e correntes [2].

Essas harmônicas podem ser minimizadas a níveis aceitáveis através do dimensionamento adequado de transformadores, bem como, o emprego de filtros especialmente calculados. Na escolha de filtros, a solução mais comum consiste na aplicação de filtros tipo Passivo, e em alguns casos, Tipo Ativos.

Este problema se alastrou de forma internacional, onde foram criadas normas e recomendações técnicas que especificam o limite de magnitude de harmônicas de corrente e tensão nas diversas frequências, bem como, criando também normas e metodologias para mensurar essas distorções geradas.

O objetivo desse artigo é expor o problema da geração de harmônicas no sistema elétrico, conceituando-a, abordar através do algoritmo de lógica fuzzy a instalação de filtro passivo conforme dados de entrada de uma simulação, e baseado nas normas IEC 61000 – 4 – 30 e IEC 61000 – 4 – 7: 2002, finalizando com a convalidação do algoritmo por softwares computacionais e a correta seleção e dimensionamento do filtro passivo que eliminará a distorção harmônica gerada.

2 Revisão da Literatura

Em um sistema elétrico de alimentação existem vários parâmetros que definem como má qualidade o serviço prestado. Os harmônicos presentes na tensão e na corrente do sinal e seus efeitos nos diversos equipamentos eletro-eletrônicos têm constituído assunto de interesse de vários grupos de pesquisas e alvo de numerosas publicações.

A. Harmônicas.

Vamos agora conceituar o que vem a ser harmônicas. É importante sempre lembrar que esta distorção é causada por dispositivos não-lineares. A figura 1 ilustra o caso de uma tensão senoidal aplicada a um simples resistor não-linear, no qual a tensão e a corrente variam de acordo com a curva apresentada.

Enquanto a tensão aplicada é puramente senoidal, a corrente resultante é distorcida. Esta situação ilustra o surgimento das distorções harmônicas na rede elétrica [3].

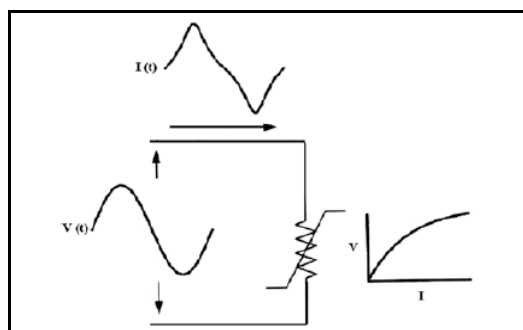


Figura 1: Comportamento Tensão versus Corrente de um Dispositivo Não-Linear.

Esta distorção é também conhecida de forma ampla por uma onda não-senoidal (distorcida), como se pode ver na figura 2. Esta onda distorcida é obtida através do somatório da onda fundamental senoidal e de onda de frequência múltipla da original. Este resultado somente é possível através da conhecida Série de Fourier, a qual é graficamente ilustrada na figura 2.

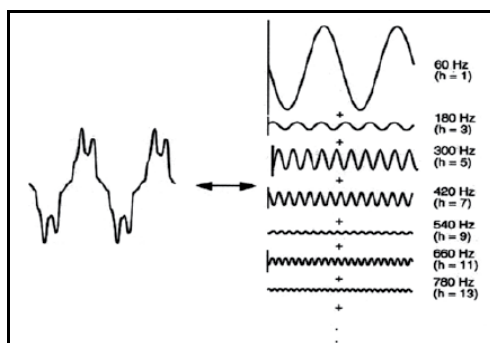


Figura 2: Decomposição de uma forma de Onda por meio das Séries de Fourier.

B. Fator de Potência.

Define-se como Fator de Potência (FP) de uma instalação o quociente entre as Energias Ativa (P) e a Energia Aparente (S), ou seja [4]:

$$FP = \frac{\text{Energia Ativa (P)}}{\text{Energia Aparente (S)}} \quad (1)$$

No Brasil, a ANEEL regulamentou através da Resolução nº: 456, de 29/11/2000 [5], que o fator de potência mínimo de uma instalação elétrica consumidora será de 92%, e que para algumas classes de equipamentos este limite pode chegar até 97%.

O que podemos observar na equação 1 é que para uma dada energia ativa, quanto menor o Fator de Potência, maior será a energia reativa, isso porque as perdas de transmissão de energia elétrica são proporcionais ao quadrado da corrente eficaz que circula pelos condutores e, conseqüentemente, a corrente pelos condutores. A figura 3 mostra exatamente o que acabamos de descrever.

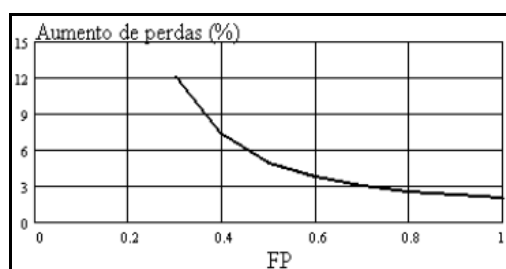


Figura 3: Relação entre as perdas e o fator de potência. Pode-se observar que quanto maior o FP menor a perda de energia.

C. Distorção Harmônica Total (THD).

A THD conforme definição clássica é a medida da perturbação do sinal na saída, após este passar por todo equipamento, em relação ao sinal aplicado na entrada do aparelho. A distorção do sinal é gerada pelo acréscimo de frequências múltiplas do sinal fundamental que surgem devido a não-linearidade de alguns componentes presentes no circuito. O THD é definido como:

$$\text{THD} = \frac{1}{V_1} \left(\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} V_n^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Onde V_1 é a tensão fundamental e V_n é a tensão harmônica de ordem n.

3 Filtros Harmônicos

Nesta seção serão apresentados alguns conceitos sobre tipos de filtros harmônicos e suas aplicações. Nesse sentido, é possível encontrar diversas técnicas para reduzir as distorções harmônicas de tensão e/ou corrente. Estas técnicas podem ser:

- Uso de filtros passivos conectados em paralelo e/ou em série;
- Inserção de reator em série na linha C.A.;
- Aumento da quantidade de pulsos em unidades conversoras, com o uso de transformadores defasadores;
- Técnicas de compensação de fluxo magnético;
- Filtros ativos de potência conectados em paralelo e/ou em série, e o;
- Uso de dispositivos eletromagnéticos.

A definição de qual técnica deverá ser adotada, ou mesmo, a associação entre elas, deve ser baseada na análise dos seguintes aspectos:

- Conhecimento do sistema de alimentação do ponto de vista da concessionária;
- Conhecimento do sistema consumidor;
- Local da instalação do dispositivo para redução de harmônicos;
- Desempenho e capacidade nominal de tensão/corrente do dispositivo;
- Custo inicial de compra e custo da energia consumida no próprio dispositivo;
- Efeitos colaterais prejudiciais sobre o sistema de alimentação;
- Efeitos colaterais prejudiciais ao funcionamento das cargas elétricas envolvidas;
- Influências nocivas das variações do sistema sobre o dispositivo utilizado, e a;
- Influência da carga sobre a técnica utilizada;

Entre as técnicas acima descritas como possíveis estratégias para a diminuição ou até mesmo eliminação das correntes harmônicas, aquelas associadas ao emprego dos filtros são comumente as mais empregadas. Devido a este fato, falaremos agora sobre a técnica que será utilizada neste trabalho: Filtros Harmônicos Passivos.

Os filtros passivos são formados a partir de várias combinações dos elementos tipo R (resistor), L (indutor) e C (capacitor), podendo ser conectados em paralelo ou em série a rede elétrica. Os filtros passivos conectados em paralelo (derivação ou shunt) têm sido amplamente estudados e aplicados em sistemas elétricos. Ao longo de vários anos, devido a fatores científicos, tecnológicos e econômicos, esta técnica tem se firmado como a solução mais tradicional para a redução de harmônicos. Os filtros passivos podem ser classificados em dois grupos: sintonizados e amortecidos.

4 Normas para Emissão de Harmônicas na Rede Elétrica

Como já identificamos, as correntes distorcidas podem afetar na operação dos equipamentos ligados à rede elétrica, e causar problemas que afetam a qualidade da energia elétrica fornecida aos consumidores. Dessa forma, a rede elétrica como um todo, fica prejudicada devido à soma de milhões de equipamentos gerando harmônicas.

Para que haja um controle dessas correntes foram criadas e estabelecidas normas com objetivo de limitar a emissão de harmônicas por equipamentos eletro-eletrônicos encontradas em todos os setores.

Entre muitas normas técnicas criadas que tratam da emissão de harmônicas, visando mitigar sua expansão, podemos citar a norma IEC 6100 – 3 - 2, a qual limita a emissão de harmônicas por equipamentos eletro-eletrônicos com corrente de entrada menor que 16A por fase e/ou máximo de 5% do coeficiente da onda fundamental para todos os coeficientes harmônicos presentes no sinal de tensão ou corrente. Esta normalização será empregada neste artigo.

5 Noções Básicas sobre Lógica Fuzzy

A lógica clássica aristotélica é bivalente, isto é, reconhece somente dois valores: verdadeiro ou falso, enquanto a lógica fuzzy é multivalente, isto é, reconhece diversos valores, assegurando que a verdade é uma questão de ponto de vista ou de graduação [6].

A lógica fuzzy manuseia perfeitamente expressões verbais, imprecisas, qualitativas inerentes da comunicação humana, que possuem vários graus de incerteza e pode sistematicamente traduzir os termos difusos da comunicação humana em valores compreensíveis por computadores. Ela é uma forma de gerenciamento de incertezas, através da expressão de termos com um grau de incerteza, em um intervalo numérico $[0,1]$, onde a certeza absoluta é representada pelo valor 1. No raciocínio humano, consistindo de implicações lógicas, ou também chamado por inferência lógica, a entrada ou condição e a saída ou consequência, são associadas por regras de raciocínio, com graus de verdade no intervalo numérico $[0,1]$. Genericamente, um sistema fuzzy é composto de quatro componentes conforme especificado na figura 4:

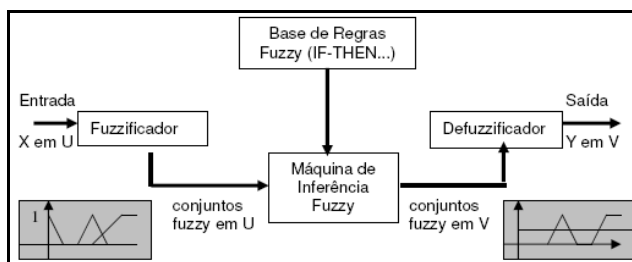


Figura 4: Organização básica de um Sistema Fuzzy.

1. Fuzzificadores: A principal função de um fuzzificador é converter os valores reais de entrada (escalar ou vetorial) em conjuntos fuzzy para que sejam tratados pela máquina de inferência. Dentre os fuzzificadores mais utilizados, podemos destacar:

- ❖ Singleton: simplifica os cálculos da máquina de inferência, mas não suprime o ruído.
- ❖ Gaussiano: pode simplificar os cálculos na máquina de inferência caso seja usada função de pertinência Gaussiana nas regras fuzzy. Pode suprimir ruídos da entrada.
- ❖ Triangular: simplifica os cálculos na máquina de inferência se for usada função de pertinência Triangular nas regras fuzzy. Pode suprimir ruídos da entrada.

2. Defuzzificadores: O defuzzificador é definido como um mapeamento de um conjunto fuzzy, saída da máquina de inferência em um valor real. Isto é, especificar um ponto na saída que melhor represente o conjunto fuzzy. Existem três critérios que devem ser considerados para a escolha de um defuzzificador.

2.1 Plausibilidade - o valor de saída é intuitivo.

2.2 Simplicidade Computacional - é importante uma vez que controladores fuzzy operam em tempo real.

2.3 Continuidade - uma pequena troca no conjunto de saída da máquina de inferência não representa uma grande troca do valor real da saída.

Dentre os defuzzificadores propostos na literatura podemos mencionar: Centro de Gravidade, Centro Ponderado e Máximo Valor.

3. Base de Regras Fuzzy: O conhecimento humano pode ser representado na forma de regras fuzzy "IF-THEN". A base de regras fuzzy consiste de um conjunto de regras "IF-THEN", sendo considerada o coração de um sistema fuzzy, uma vez que todos os outros componentes são usados para implementar as regras de modo eficiente e razoável.

A base de regras deve ser constituída de conjuntos fuzzy completos, consistentes e contínuos. Conjunto de regras fuzzy é dito completo quando para qualquer entrada existe uma regra na base de regras, é dito consistente quando não existem regras com a mesma parte "IF" e diferentes partes "THEN", isto é, a base de regras não pode conter regras conflitantes e, é dito contínuo quando não existem regras vizinhas na parte "THEN" cuja interseção dos conjuntos fuzzy seja vazia.

4. Máquina de Inferência Fuzzy: Em uma máquina de Inferência fuzzy, os princípios da lógica fuzzy são usados para combinar as regras fuzzy "IF-THEN" existentes na base de regras em um mapeamento de um conjunto fuzzy de entrada para um conjunto fuzzy de saída.

Existem dois modos de inferir em um conjunto de regras: inferência baseada em composição e baseada em regras individuais. Na inferência baseada em composição todas as regras da base de regras são combinadas com uma relação fuzzy simples, união ou interseção, essas combinações podem ser a de Mamdani (norma S) ou de Gödel (norma T). Na inferência baseada em regras individuais, cada regra da base de regras determina um conjunto fuzzy de saída e a saída da máquina de inferência é a combinação dos vários conjuntos fuzzy individuais, a combinação pode ser feita pela união ou interseção.

Existe uma variedade de escolhas para máquinas de inferência. De um modo geral, os seguintes critérios devem ser considerados para escolha:

- Apelo Intuitivo - a escolha pode ser feita de modo intuitivo, por exemplo, um especialista humano fornece um conjunto de regras que ele acredita serem independentes umas das outras, então elas podem ser combinadas com a união.
- Eficiência Computacional - é calculada por uma fórmula bastante simples.
- Propriedades Especiais - Algumas escolhas podem resultar em uma máquina de inferência que tem propriedades especiais, se essas propriedades são desejáveis então faremos esta escolha.

A seguir, relacionamos algumas máquinas de inferência utilizadas em sistemas fuzzy:

- Produto;
- Mínimo;
- Lukasiewicz;
- Zadeh, e;
- Dienes-Rescher.

Dentre estas, o Produto e o Mínimo são as mais utilizadas, uma vez que elas têm simplicidade computacional e apelo intuitivo.

6 Simulação

Após um diagnóstico do sistema elétrico de baixa tensão de um consumidor final efetuado por um medidor de THD devidamente calibrado, um arquivo de texto será gerado com o coeficiente fundamental do THD de tensão e da corrente, bem como, os coeficientes das harmônicas medidas da 2ª até a 50ª ordem e suas frequências correlatas.

Desde ponto em diante a primeira parte do algoritmo do filtro será colocada em funcionamento, o qual irá analisar e detectar quais das componentes harmônicas estão fora do limite de 5% do coeficiente da frequência fundamental.

Identificada a componente harmônica e sua frequência correlata, o algoritmo do filtro gera automaticamente o projeto do filtro passivo. Para esta simulação foi gerado o arquivo SDTHD.txt.

É importante ressaltar que a partir desse ponto somente iremos enfatizar o THD de tensão, pois o mesmo cálculo servirá para o THD de corrente. Identificada a componente harmônica e sua frequência correlata, podemos definir o valor do capacitor e calcularmos o valor do indutor através da seguinte fórmula:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3)$$

O valor do capacitor definido pode ser escolhido conforme a tabela 1, a qual mostra diversos valores de capacitância típicas vendidas no comércio em micro ou pico-farady, tais como: 3.3, 4.7, 6.8, 10, 18 e 33 micro-farady.

Tabela 1 [7]
Quadro C.3 Valores Típicos dos Capacitores.

QUADRO C.3 Valores Típicos dos Capacitores								
μF				μF				
10	100	1000	10000	0,10	1,0	10	100	1000
12	120	1200						
15	150	1500	15000	0,15	1,5	18	180	1800
22	220	2200	22000	0,22	2,2	22	220	2200
27	270	2700						
33	330	3300	33000	0,33	3,3	33	330	3300
39	390	3900						
47	470	4700	47000	0,47	4,7	47	470	4700
56	560	5600						
68	680	6800	68000	0,68	6,8			
82	820	8200						

Uma vez definido o valor do capacitor durante a execução do algoritmo do filtro, o próprio algoritmo irá calcular o valor do Indutor. Outro fato importante que devemos ressaltar é que o valor da indutância calculada pode ser um valor diferente dos indutores comercializados, caso isso, aconteça, substitua sempre por um valor aproximado maior.

Na figura 5, podemos ver o gráfico de Contorno de Impedância Constante para um filtro harmônico de 7ª ordem, cuja frequência é de 420 Hz, onde o capacitor escolhido foi de 6.8 micro-farady e o indutor calculado será de 21.117 mili-henry [8]. Para este caso, substituir o valor do indutor por um de 25 mili-henry.

Após as etapas de análise e detecção, avaliação dos coeficientes e projeto do filtro, a implantação do filtro de forma física no sistema elétrico do consumidor é uma etapa de suma importância.

Depois da implantação do filtro, o algoritmo do filtro modifica o coeficiente harmônico encontrado fora dos 5% da fundamental para zero, sendo assim, para cada coeficiente harmônico encontrado fora do limite de 5% da fundamental é projetado um filtro passivo, onde sera implantado no sistema elétrico do consumidor final e que resultará na redução ou eliminação daquela harmonica no sinal, logo coeficiente aproximado de zero.

O algoritmo fuzzy proposto para geração do filtro harmônico desse artigo está baseado no arquivo (saída) do diagnóstico do consumidor de baixa tensão, logo serviram de entradas para o algoritmo fuzzy do filtro.

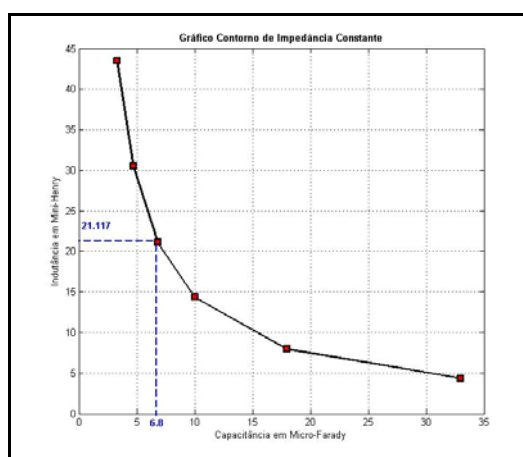


Figura 5: Gráfico Contorno de Impedância Constante.

No próprio corpo do algoritmo do filtro, na primeira fase, existe a condição para que seja efetuada nova procura por harmônicas acima dos 5% estabelecido. Caso exista novos coeficientes, novos cálculos serão executados e um novo filtro será gerado [9]. Conforme o

resultado do algoritmo, os filtros serão implantados em paralelo com a rede elétrica do consumidor onde foi efetuada a medição.

Depois de projetados e implantados os filtros passivos para cada coeficiente harmônico acima de 5% da fundamental, o próprio algoritmo gera um novo arquivo texto, o qual está atualizado com o novos dados dos coeficientes harmônicos. Neste instante é calculado um novo valor de THD (conforme a fórmula 2). Esse resultado é fuzzificado. Para essa simulação, essa entrada está identificada como a variável THD3.

A segunda parte do algoritmo é baseada no método Mandani de Inferência fuzzy onde é o mais utilizado na aplicação da metodologia fuzzy. O método Mandani foi um dos primeiros sistemas de controle construídos usando teoria de conjunto fuzzy [10] como uma tentativa de controlar a combinação de síntese de um conjunto de regras lingüísticas com controles obtidos a partir de operadores com experiência humana. A técnica Mandani mede esforço baseado na teoria de Lotfi Zadeh através dos sistemas de algoritmos fuzzy complexos e processos na tomada de decisão [11]. De uma forma resumida estão descritas as etapas de elaboração do algoritmo do filtro. São elas:

Algoritmo Fuzzy do Filtro:

Etapa 1 – Arquivo texto é gerado contendo as seguintes entradas: coeficiente da fundamental e as 2ª a 50ª coeficientes das harmônicas e suas frequências correladas.

Etapa 2 - É calculado o valor de referência no qual vale 5% do coeficiente da onda fundamental, a qual servirá de base de comparação para com os coeficientes das harmônicas.

Etapa 3 – São definidas as relações entre as entradas e saídas definidas.

Etapa 4- O algoritmo é executado para determinar se existe algum coeficiente superior ao limite de referência.

Etapa 5 - Caso exista, esse coeficiente é identificado, bem como, a sua frequência. É projetado o filtro, calculando os valores do Capacitor e o Indutor. É verificado novamente se existe outra harmônica prejudicial presente no sinal. Caso exista o algoritmo determina outro ramo de filtro para o sistema elétrico, o qual ficará em paralelo com o primeiro.

Etapa 6 – O valor do coeficiente harmônico identificado for a do limite é corrigido para zero. É calculado um novo THD o qual é fuzzificado. Dentro do Toolbox de Lógica Fuzzy no MatLab são criadas as relações entre entrada e saída. Observando a figura 6, podemos notar a criação e edição do algoritmo Filtro.FIS, o qual possui entrada THD3 e saída saída-filtro.

Etapa 7 – Através da Lógica Fuzzy podemos obter os seguintes resultados para a entrada THD3: (NB) Normal Baixo, (ND) Normal Dentro e (F) Fora.

Para os casos “NB” e “ND” não será necessário aplicação de novos filtros e de novas medições, entretanto, para a saída “F”, propomos aplicação do filtro projetado e nova medição dos coeficientes da fundamental e das harmônicas para efetuar novo cálculo do THD, através do algoritmo.

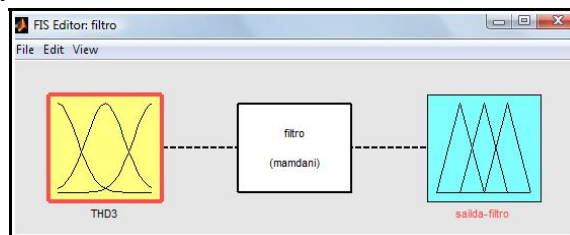


Figura 6: Tela Principal do sistema de inferência do Algoritmo Fuzzy do Filtro.

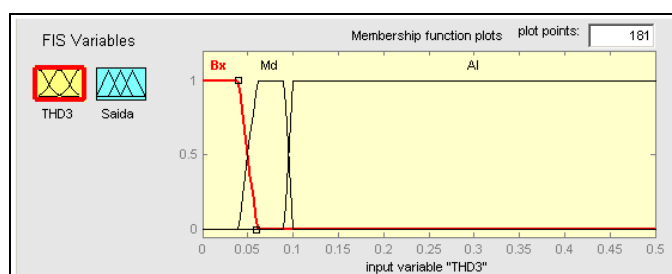


Figura 7: Variável THD3 Tensão com suas relações: Baixo (Bx), Médio (Md) e Alto (Al).

7 Conclusões

Este artigo trata de um assunto atual que envolve a Qualidade de Energia Elétrica prestada pela Concessionária de Energia Elétrica, a qual não instalou de forma satisfatória equipamentos para resolver ou minimizar os efeitos indesejáveis oriundos da presença de distorções no sistema elétrico, prejudicando assim todos os consumidores de uma determinada região.

Foi proposto um algoritmo baseado em Lógica Fuzzy para analisar e detectar a frequência da harmônica presente com valor acima de 5% da fundamental. Esse algoritmo foi posto em prática no sistema elétrico de um consumidor final. Através de um Medidor de Baixa Tensão de THD, os dados foram coletados e observou-se após aplicação do algoritmo do filtro proposto que para a frequência de 180 Hz (3ª harmônica) havia o coeficiente acima de 5% da fundamental. Dessa forma foi projetado um filtro harmônico passivo que consta de um capacitor de 10 Micro-farady e um indutor de 78,18 mili-henry.

Foram criados vários arquivos de saída do Diagnóstico de THD, os quais serviram de entrada para o algoritmo do filtro. Durante a simulação, todas as harmônicas acima do valor de referência (5% do coeficiente da fundamental) foram detectadas e identificadas, bem como, suas frequências correladas. Para todas as simulações foram propostos filtros passivos que empregados, conforme projeto, iriam filtrar as harmônicas prejudiciais presentes no sinal de entrada. Após essa filtragem foram calculados novos valores para o THD, onde com ajuda da lógica fuzzy, foi possível uma melhor avaliação dos resultados.

O Algoritmo proposto funcionou de forma segura e consistente dando resultados esperados.

8 Agradecimentos

Ao ITEGAM - Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia pela oportunidade do convênio com a Universidade Federal do Pará – UFPA através do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Pará (UFPA).

9 Referências Bibliográficas

- [1] ARRILLAGA, and WATSON, N.R. Power Systems Harmonics, 2a. Ed. John Wiley & Sons, Ltd U.S.A. 2003.
- [2] IEEE 519 - 1992, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems (ANSI). IEEE, New York. 1992.
- [3] Belchior, Fernando N., Oliveira, José C., e Oliveira, Luis C. Origina. Uma abordagem à filtragem de harmônicos por meio de dispositivos eletromagnéticos. Revista O setor Elétrico, Março 2009.

- [4] Fernandes, Flávio. Baesso, José A. Werneck, Murilo T. Impactos no fator de potência e harmônicas na substituição da Eletrotermia por Gás Natural. 4º PDPETRO, Campinas, SP. 21 a 24 de Outubro de 2007.
- [5] ANEEL, Resolução n.: 456, de 29/11/2000.
- [6] Breunig, Adriano. Lógica Fuzzy aplicada ao Controle de Processos. Mato Grosso – MT, 2004.
- [7] Boylestad, Robert., Nashelsky, Louis. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. Editora LTC, Rio de Janeiro – RJ, 1999, Apêndice C.
- [8] Hanselman, Duane. Littlefield, Bruce. MATLAB 6 – Curso Completo. Editora Prentice Hall. São Paulo – SP, 2003.
- [9] Artero, Almir Olivette. Inteligência Artificial. Editora Livraria da Física, São Paulo – SP, 2009.
- [10] SUGENO, M. Industrial applications of fuzzy. Elsevier Science Rub. Co., 1985.
- [11] ZADEH, L.A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE transaction on Systems, Man and Cybernetics, Vol 3. n° 1, pp. 28-44, Jan, 1973.