Identificação das componentes harmônicas em uma instalação elétrica através do fator de potência utilizando inferência fuzzy

Cleonor C das Neves
Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia- ITEGAM
69048-750, Manaus, AM
E-mail: cleonor.cneves@gmail.com

Carlos Tavares da Costa Junior
Universidade Federal do Pará - UFPA
69075-110, Belém, PA
E-mail: cartav@ufpa.br

RESUMO

Este artigo visa obter as componentes harmônicas em uma instalação elétrica industrial através da inferência fuzzy usando o fator de potência. Para isso, foi usado o modelo nebuloso lingüístico da lógica fuzzy. E a partir da definição do fator de potência indicado pelas normas IEC 61000-3-2 foi realizado o teste com algoritmo que apresentamos na sua forma natural. Este trabalho apresenta uma alternativa para detectar os ruídos(harmônicas) numa instalação elétrica e contribui para melhorar a qualidade de energia de um sistema elétrico.
Palavras-chave*: Sistema Elétrico, harmônicas, lógica fuzzy, qualidade de energia, fator de potência e inferência fuzzy*

1-Introdução

Um dos problemas a ser resolvido no mundo globalizado é constituir uma forma de detectar os ruídos no sistema de energia elétrica, gerando qualidade de energia. Este artigo apresenta um modelo nebuloso lingüístico de identificação das componentes harmônicas em uma instalação elétrica através do Fator de Potência utilizando as ferramentas da lógica fuzzy, constituído de uma base de dados coletado de um sistema elétrico de uma fábrica do Pólo Industrial de Manaus. Observado as harmônicas com os dados obtidos na entrada do sistema e nos pontos próximos a carga através de um algoritmo, usando a inferência fuzzy de Mamdani, observado os distúrbios no sistema.

Para auxiliar na determinação do fator de potência foi utilizado uma ferramenta estatística. Além da identificação das harmônicas, foi sugerido uma alternativa para diminuir os distúrbios no sistema utilizando as normas IEC 61000-3-2 para dispositivos com correntes de entrada maior que 16 A/ por fase e IEC 61000-3-4 para dispositivos com correntes de entrada menor que 16 A/por fase. Para complementar este trabalho, foi comparado com outro índice de identificação das harmônicas em um sistema elétrico encontrado na literatura, Taxa de Distorção Harmônica Total (THD). E em seguida foi realizado a simulação com os dados e sugerido as devidas correções em um sistema que tenha as harmônicas obtidas através do Fator de Potência.

* Bolsista de Iniciação Científica PIBIC/CNPq

2) HARMÔNICA, FATOR DE POTÊNCIA E LÓGICA FUZZY

2.1 Harmônica

É um sinal que tem a freqüência sendo um múltiplo da freqüência fundamental de um sinal de alimentação. Sendo assim, a tensão ou a corrente harmônica é um sinal que representa um ruído no sistema Elétrico.

Na figura abaixo, a onda de tensão ou corrente registrado em um ponto de uma instalação elétrica pode ser caracterizada pelo sinal da linha clara, representada pela letra T que está mostrado na figura 1, isto é, onda deformada. Deste ponto de vista, percebe-se que o sinal T é a resultante ponto a ponto dos sinais 1 e 5 formados pela curva senoidal de amplitudes e freqüências diferentes, denominadas de harmônicas.

Com isto, é possível construir o sinal T a partir dos valores dos sinais 1 e 5 indicados na Tabela 1.

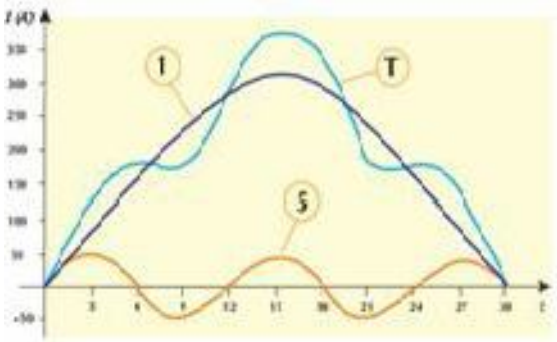

Figura 1-representação de harmônicas

t	Sinal 1 (A)	Sinal 5 (A)	Sinal T (A) sinal 1+sinal 5
3	90	50	140
6	190	0	190
9	230	-50	180
12	300	0	300
15	310	50	360
18	300	0	300
21	230	-50	180
24	190	0	190
27	90	50	140
30	0	0	0

Tabela 2- características da frequência

Assim, a harmônica em um sinal periódico é caracterizado pela deformação em relação a um sinal senoidal. Os sinais harmônicos são classificados quanto à sua ordem, freqüência e sequência, conforme indicado na Tabela 3:

Ordem	*Frequência*	*Sequência*
1	60	+
2	120	-
3	180	0
4	240	+
5	300	-
6	360	0
n	n.60	-

Tabela 3 – Ordem, freqüência e sequência de harmônicos

Numa situação ideal, freqüência 60 Hz, perceberia apenas a harmônica de ordem 1, denominada de fundamental. E a sequência é a situação em que se encontra a harmônica, pois hora é positiva, negativa ou nula e fica neste ciclo. Na Tabela 3, percebe-se que há dois tipos de harmônicas: Ímpares e Pares.

O espectro harmônico é uma representação da forma de onda no domínio da freqüência.

A existência da Taxa de Distorção Harmônica Total (THD) é simplesmente para determinar de forma numérica as harmônicas presentes em um dado ponto da instalação.

Há duas formas de se quantificar a THD:

$$THD_f = \frac{\sqrt{(h_2)^2 + (h_3)^2 + (h_4)^2 + ... + (h_n)^2}}{h_1} x100\%$$

$$THD_r = \frac{\sqrt{(h_2)^2 + (h_3)^2 + (h_4)^2 + ... + (h_n)^2}}{\sqrt{(h_1)^2 + (h_2)^2 + (h_3)^2 + (h_4)^2 + ... + (h_n)^2}} x100\%$$

Onde h_1, h_2,...,h_n representa o valor eficaz das harmônicas de ordem 1,2,3,...,n. A THD_r representa o grau de distorção harmônica total em relação ao sinal total enquanto a $_f THD$ indica a distorção total em relação à componente fundamental.

Nos dois casos, é possível verificar que na ausência de componentes harmônicas (h_1, h_2,...,h_n), a $THD = 0$. Portanto, a busca nas instalações elétricas os valores de *THD* mais próximos de zero é constante. No Brasil, não há ainda valores normalizados para $_f THD$ nas instalações elétricas.

Nesse caso, uma sugestão é adotar, por exemplo, os valores máximos expressos na norma IEEE 519-2. Baseado nisso, existe uma para tensão (THD_U) e outro para correntes (THD_I), o que indica o grau de distorção das ondas de tensão e corrente, quando comparadas com as senóides puras.

2.2 Fator de Potência

O fator de potência (FP) é a relação entre a potência ativa e a potência aparente definido para um sinal periódico não senoidal:

$$fp = \frac{P(W)}{S(VA)}$$

Por outro lado, o fator de potência também pode ser caracterizado através da THD, usando o seguinte modelo matemático:

$$fp = \frac{\cos\varphi_1}{\sqrt{1 + (THD)^2}}$$

Na determinação de harmônicas existe também outros indicadores como FATOR DE CRISTA (FC).

Genericamente, são consideradas cargas lineares aquelas constituídas por resistência, indutância e capacitância, onde as formas de onda de tensão corrente são sempre senoidais. Desse modo, aproximadamente 50% da energia elétrica passa por um dispositivo de eletrônica de potência antes que seja finalmente utilizada. Essa eletrônica faz uso de diodos, transistores e tiristores, sendo que praticamente todos eles operam em modo de interrupção.
Para análise do controle da harmônica foi usado o modelo matemática da lógica fuzzy que resumimos a seguir:

2.3 Lógica Fuzzy

Na atual modernidade sempre estamos usando palavras como: muito, pouco, grande, pequeno, frequentemente, raramente, etc para descrever situações. Estas situações não são nitidamente definidas e não podem ser precisamente descritas.

A descrição completa de um sistema real em muitos casos requer dados extremamente detalhados e muito além do que um ser humano poderia simultaneamente, processar e entender. Daí a necessidade de se fazer um estudo sobre como lidar com ambiguidades, incerteza e informações vagas na resolução de problemas em que se faz necessário o auxílio matemático computacional.

Os conjuntos fuzzy são conjuntos que não possuem fronteiras bem definidas e que foram introduzidas devido ao fato de os conjuntos clássicos apresentarem limitações para lidar com problemas onde a transição de uma classe para outra deve acontecer de forma suave.

Definição: Um conjunto fuzzy A em um conjunto universo U é um conjunto de pares ordenados de um elemento genérico x e seu grau de pertinência $\mu_A(x)$ da forma:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \setminus x \in U\}$$

Além da função de pertinência, há um outro conceito bastante importante relacionado com conjuntos nebulosos, que é o de variável lingüística. Entende-se por variável um identificador que pode assumir um dentre vários valores. Deste modo, uma variável lingüística pode assumir um valor lingüístico dentre vários outros em um conjunto de termos lingüísticos. Estas variáveis têm seu valor expresso qualitativamente por um termo lingüístico (que fornece conceito à variável) e quantitativamente por uma função de pertinência.

As regras fuzzy descrevem situações específicas que podem ser submetidas a análise de um painel de especialistas, e cuja inferência nos conduz a algum resultado desejado. A inferência baseada em regras fuzzy pode também ser compreendida como um funcional que mapeia um conjunto de entradas do sistema para um conjunto de saídas (como em um esquema de interpolação).

Uma vez construído o conjunto de regras fuzzy necessitaremos de uma máquina de inferência para extrair dela a resposta final. Existem vários métodos de inferência possíveis e a escolha por um deles depende do sistema

que está sendo analisado. No entanto, a inferência mais comum, e amplamente utilizada no controle de sistemas, é o Método de Mamdani.
Nestes casos se a saída do sistema for um conjunto fuzzy, então se faz necessário um processo de defuzificação para se obter um número apropriado.

Os sistemas fuzzy são resultados de uma generalização dos sistemas clássicos. Os sistemas difusos estimam funções com descrição parcial do comportamento do sistema, onde especialistas podem prover o conhecimento heurístico, ou esse conhecimento pode ser inferido a partir de dados de entrada-saída do sistema.

As regras podem ser fornecidas por especialistas, em forma de sentenças linguísticas, e se constituem em um aspecto fundamental no desempenho de um sistema de inferência fuzzy.

No estágio de inferência ocorrem as operações com conjuntos fuzzy propriamente ditas: combinação dos antecedentes das regras, implicação e *modus ponens* generalizado. Os conjuntos fuzzy de entrada, relativos aos antecedentes das regras, e o de saída, referente ao conseqüente, podem ser definidos previamente ou, alternativamente, gerados automaticamente a partir dos dados. Um aspecto importante é a definição dos conjuntos fuzzy correspondentes às variáveis de entrada (antecedentes) e à(s) de saída (conseqüente(s)), pois o desempenho do sistema de inferência dependerá do número de conjuntos e de sua forma. Pode-se efetuar uma sintonia manual das funções de pertinência dos conjuntos adequada para a sintonia de funções de pertinência, assim como para a geração automática de regras.

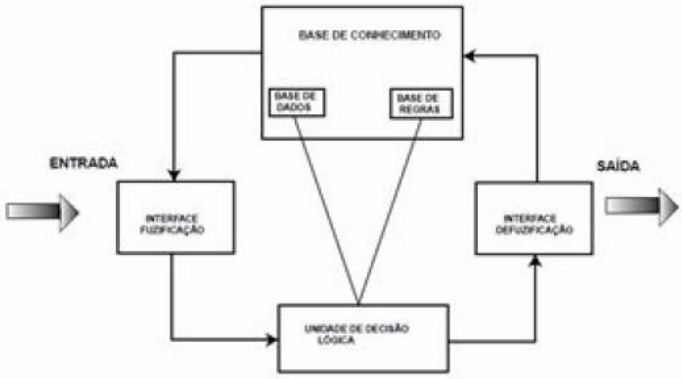

Figura 2- Sistema de inferência fuzzy

3. METODOLOGIA DO TRABALHO

A metodologia da pesquisa apresentada está baseada da forma quantitativa das informações obtidas durante a coleta de dados das componentes harmônicas.

A pesquisa realizada foi condicionada aos dados referente as harmônicas obtidas a partir das cargas não lineares no sistema elétrico trifásico. Neste sentido, foi consideradas as seguintes etapas:

1-Especificação do equipamento para realizar a leitura dos dados na rede elétrica

2-Obtenção das normas que especificam os critérios para identificação das harmônicas através do Fator de Potência.

O algoritmo foi projetado para o sistema elétrico trifásico de baixa tensão. A norma define que as harmônicas de tensão devem ser calculadas conforme a norma IEC 61000-4-7:2002 classe 1, e que deve ser calculadas um período de 10/12 ciclos, sem gaps descrito como Cng na norma 61000-4-7:2002. A agregação segue o conceito da 61000-4-30. As harmônicas de corrente estão definidas da mesma maneira, porém esta definição está no anexo da norma

3-Locais de leitura com o equipamento

O equipamento utilizado para leitura dispôs de um recurso que disponibilizou informações lidos possíveis de importar para um arquivo no formato texto com as seguintes características: Identificação das fases(sistema trifásico);

Data e hora da leitura(o tempo em hora, minuto e segundo);

Para cada fase da leitura os valores das componentes harmônicas até a 50a ordem.

Dentro do período de leitura (data e hora, início e fim) o equipamento realizou uma leitura e capturou as componentes a cada minuto.

Baseado na norma IEC 1000-3-2: Limites para emissão de harmônicas de corrente (maior ou igual a 16 A por fase)

O FP medido e os fenômenos absorvidos em uma instalação elétrica temos:

Identificação do Problema: Alto

Característica: valor do FP inferior a 0,50

Analise do problema: alto gasto no consumo de energia elétrica.

Identificação do problema: Médio

Característica: Valor do FP entre 0,51 e 0,82

Análise do problema: gasto de energia significativo.

Identificação do problema: Baixo

Característica: Valor do FP acima de 0,82

Análise do problema: Baixo gasto de energia e eficiência nos equipamentos.

Efetuar o cálculo do FP (Fator de Potência) de todas as fases lidas no banco de dados.

Para tensão:

$$fp = \frac{\cos\varphi_1}{\sqrt{1+(THD)^2}}$$

Para corrente:

$$fp = \frac{\cos\varphi_1}{\sqrt{1+(THD)^2}}$$

O equipamento configurado para realizar uma leitura durante um período de duas horas nas fases do sistema elétrico e a cada minuto deste período realiza uma leitura totalizando 120 leituras.

FP_SU: FP significativo da tensão

FP_SI: FP significativo da corrente

Os valores do FP de tensão e corrente significativos (FP_SU e FP_SI) serão utilizados no sistema de inferência fuzzy para determinar o diagnóstico de cada leitura realizada.

Definição das variáveis lingüísticas e a sua função pertinência baseado na norma IEC 61000-4-7(VERIFICAR A NORMA) (especialista):

3.1 Variáveis lingüística para o algoritmo de inferência fuzzy

3.1.1 Definição das variáveis de entrada

Para tensão:

Variável fuzzy de entrada: FP_TENSÃO(FP_SU)

Tipo de diagnóstico: normal

Ocorrência: valor do FP de tensão inferior a 5%(verificar na norma)

Característica do diagnóstico: algum disfuncionamento não é permitido.

Tipo de diagnóstico: Significativa (verificar o nome)

Ocorrência: valor do FP de tensão compreendido entre 5 e 8% (verificar a norma)

Característica do diagnóstico: quaisquer disfuncionamento são possíveis.

Tipo de diagnóstico: Considerável

Ocorrência: valor do FP de tensão superior a 8%.

Característica do diagnóstico: Disfuncionamento são possíveis, uma análise aprofundada e a colocação de dispositivos de atenuação são necessários.

Para corrente:

Variável Fuzzy de entrada: FP_CORRENTE(FP_SI)

Tipo de diagnóstico: Normal

Ocorrência: valor do FP de corrente inferior a 10%

Característica do diagnóstico: algum disfuncionamento não é permitido.

Tipo de diagnóstico: significativo

Ocorrência: Valor do FP de tensão compreendido entre 10 e 50%(ver norma)

Característica do diagnóstico: existe risco de aquecimento, implica o sobre dimensionamento dos cabos e das fontes.

Tipos de diagnóstico: Considerável

Ocorrência: valor do FP de corrente superior a 50%

Característica do diagnóstico: disfuncionamento são possíveis, uma análise aprofundada e a colocação de dispositivos de atenuação são necessários.

Variável Fuzzy de saída: Diagnóstico

4. CONCLUSÃO

Os resultados esperado revelam que o sistema de inferência fuzzy apresenta uma característica de identificação das harmônicas com maior êxito. E para isso, apresento uma forma como lidar coma presença de harmônicos:

Dimensionamento dos condutores de fase e neutro na presença de harmônicas e para dimensionar os cabos com harmônicas, vamos lembrar, primeiramente, como determinar a seção dos condutores sem harmônicas. Para tanto, valem os seis critérios de dimensionamento de um circuito, queda de tensão, sobrecarga, curto-circuito e contato indireto(apenas para esquemas TN).

Além disso, dependendo da ordem da harmônica, no caso de circuitos trifásicos com neutro, ao invés da corrente no neutro ser próxima de zero, ela poderá ser três vezes o valor da fundamental da corrente de fase! Isso significa que, nesses casos, a seção do neutro deverá ser maior do que a dos condutores de fase.

IEC 61000-3-2 para dispositivos com correntes de entrada > 16 A/ por fase;
IEC 61000-3-4 para dispositivos com correntes de entrada > 16 A/por fase.

A norma IEC 61000-3-2 estabelece as exigências sobre harmônicas que devem ser atendidas por todos os equipamentos que consomem menos de 16 A por fase em redes de 220 V a 415 V. Dentre esses, estão os computadores pessoais e os televisores.

A Tabela 7 mostra os limites que todo equipamento com mais de 50 W devem cumprir.

Abaixo dessa potência, não há limite algum. A norma estabelece os limites com base nos valores eficazes(rms) de cada harmônica. A relação entre valor eficaz e valor máximo é:

$$I_{rmsh}[A\ rms] = \frac{I_{mh}[A\ \max]}{\sqrt{2}}$$

O valor efetivo total da soma quadrática do valor eficaz de cada harmônica é:

$$I_{rms\ \text{total}}[A\ \text{rms}] = \sqrt{(\text{I}_{\text{rms1}})^2 + (I_{rms\,2})^2 + \ldots + (I_{rmsh})^2}$$

A norma IEEE 519-2 traz recomendações explícitas de limites de TDHI a serem respeitados nos mais diversos pontos de uma instalação elétrica.

A utilização da inferência fuzzy na identificação das harmônicas é uma alternativa para a obtenção da qualidade de energia. Este algoritmo está em implantação em uma indústria de Manaus. Apesar de existirem outros métodos para identificação das harmônicas , mas o fator de potência é um termômetro importante, quando observado através da inferência fuzzy.

5. Referências

[1]J.-JANG,S.R. , C.-T.SUN, E. Mizutani. Fuzzy Sets.Neuro-Fuzzy and Soft Computing, A computational approach to Learning and Machine Intelligence.

[2] KAZUO TANAKA and HUA O. WANG. Fuzzy Control Systems Design and Analysis, A linear Matrix Inequality Approach.2001.

[3] L.A. Zadeh.Fuzzy sets.Fuzzy Sets, Information and Control. 8:338-353.,1965.

[4] "Manual de orientação aos consumidores sobre a nova legislação para o faturamento de energia reativa excedente". Secretaria executiva do Comitê de Distribuição de Energia Elétrica - CODI, Rio de Janeiro, 1995.

[5]] Mauro Crestani, "Com uma terceira portaria, o novo fator de potência já vale em Abril". Eletricidade Moderna, Ano XXII, n° 239, Fevereiro de 1994,

[6] [2.3] Ivo Barbi e Alexandre F. de Souza, Curso de "Correção de Fator de Potência de Fontes de Alimentação". Florianópolis, Julho de 1993.

[7] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System. Project IEEE-519. Outubro 1991.