

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM MEDIDOR DE HARMÔNICAS USANDO O
SOFTWARE LABVIEW**

Área de Engenharia Elétrica

por

Ricardo Rafael Dalbosco

Prof. Marcus Vinicius Ataíde, Msc.
Orientador

Itatiba (SP), Dezembro de 2008

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM MEDIDOR DE HARMÔNICAS USANDO O
SOFTWARE LABVIEW**

Área de Engenharia Elétrica

por

Ricardo Rafael Dalbosco

Relatório apresentado à Banca Examinadora do
Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia
Elétrica para análise e aprovação.
Orientador: Prof. Marcus Vinicius Ataíde, Msc.

Itatiba (SP), Dezembro de 2008

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE EQUAÇÕES	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	1
2.1. OBJETIVO GERAL	1
2.1.1. Objetivos Específicos	2
2.2. METODOLOGIA	2
2.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	2
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
3.1. PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS	3
3.1.1. Introdução	3
3.1.2. Transformada de Fourier	4
3.1.3. Cálculo da DFT	8
3.1.4. Transformada Rápida de Fourier	9
3.2. HARMÔNICAS	13
3.2.1. Introdução	13
3.2.2. Definição	14
3.2.3. Espectro harmônico	16
3.2.4. Taxa de Distorção Harmônica Total (THD)	17
3.2.5. Fator de Potência e $\cos \varphi$	18
3.2.6. Normas existentes	19
3.3. INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL	23
3.3.1. Definição	23
3.3.2. Dispositivos de aquisição e controle: hardware	24
3.3.3. Aquisição de dados	25
3.3.4. LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) ...	26
4. PROJETO	29
4.1. MEDIDOR DE HARMÔNICAS	29
4.1.1. Resultados	31
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

LISTA DE ABREVIATURAS

DFT	Discret Fourier Transform
FFT	Fast Fourier Transform
PAC	Ponto de Acoplamento Comum
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TF	Transformada de Fourier
USF	Universidade São Francisco

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cálculo DFT para uma sequência de 8 pontos	11
Figura 2. Diagrama representando DFT de dois pontos (diagrama borboleta)	12
Figura 3. Comparação no número de operações usando DFT e FFT	13
Figura 4. Ondas senoidais de 60 e 300Hz	14
Figura 5. Soma das ondas senoidais de 60 e 300HZ	15
Figura 6. Espectro de um sinal distorcido	17
Figura 7. Painel Frontal	27
Figura 8. Diagrama de Blocos	27
Figura 9. Sub-Vi's usados no Medidor de Harmônicas	29
Figura 10. Diagrama de Blocos do Medidor de Harmônicas	30
Figura 11. Painel Frontal do Medidor de Harmônicas	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Ordem, frequência e seqüência das harmônicas.....	16
Tabela 2. Limites para harmônicas de corrente de ordem par e ímpar	21
Tabela 3. Limites de distorção da corrente para Sistemas de Distribuição (120V a 69KV)	22
Tabela 4. Limites de distorção da corrente para Sistemas de Sub-distrib. (69001V a 161KV)	22
Tabela 5. Limites de distorção da corrente para Sistemas de Alta Tensão (>161KV).....	23
Tabela 6. Limites de distorção de tensão.....	23

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1.....	4
Equação 2.2.....	5
Equação 2.3.....	5
Equação 2.4.....	5
Equação 2.5.....	5
Equação 2.6.....	5
Equação 2.7.....	6
Equação 2.8.....	6
Equação 2.9.....	6
Equação 2.10.....	6
Equação 2.11.....	8
Equação 2.12.....	8
Equação 2.13.....	9
Equação 2.14.....	9
Equação 2.15.....	10
Equação 2.16.....	11
Equação 2.17.....	12
Equação 2.18.....	12
Equação 2.19.....	17
Equação 2.20.....	18
Equação 2.21.....	18
Equação 2.22.....	19

RESUMO

DALBOSCO, Ricardo Rafael. Implementação de um medidor de harmônicas usando o software LabVIEW. Itatiba, 2008. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Itatiba, 2008.

O crescente aumento do uso de cargas não lineares nos últimos tempos tem trazido muitos problemas aos consumidores de energia elétrica, principalmente no que diz respeito às deteriorações na formas de onda, conhecidas como harmônicas, que acarretam enormes prejuízos.

A proposta deste trabalho é apresentar o software LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) da National Instruments, como um medidor de Harmônicas pelo fato de ser um software que usa uma linguagem flexível e amigável.

A monitorização das instalações elétricas fornece os dados necessários para determinar como e onde esses distúrbios foram provocados, levando ao entendimento de como seus efeitos podem ser evitados no futuro, ou de como os seus efeitos podem ser amenizados.

Palavras-chave: Monitorização de Harmônicas, Instrumentação Virtual, LabVIEW.

ABSTRACT

The increasing use of nonlinear loads in recent times has brought many problems to consumers of electricity, especially with regard to the deterioration in the forms of wave, know as harmonics, which are of huge losses.

The purpose of this study is to provide the software LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Enginnering Workbench) by National Instruments, as a gauge of Harmonic, because you are a software language that a flexible and friendly.

The monitoring of electrical installations provide the data needed to determine how and where the disturbances caused lining, leading to the understanding of how its effects can be avoided in the future, or how their effects may be diluted.

Keywords: Monitoring of Harmonics, Virtual Instrumentation, LabVIEW.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade de energia elétrica nos dias atuais preocupa não somente as concessionárias, mas também os consumidores e fabricantes de equipamentos. Os prejuízos são enormes, pois estudos demonstram que a maioria das empresas não tem suas instalações preparadas para lidar com esse problema. De acordo com um recente levantamento feito pela ECI (European COPPER Institute), 73% das indústrias analisadas tinham problemas com harmônicas e os prejuízos com a qualidade de energia geram prejuízos de cerca de 150 milhões de euros anualmente.

A evolução da eletrônica de potência trouxe muitos benefícios, melhorando os rendimentos dos equipamentos, reduzindo custos, permitindo a execução de algumas tarefas antes não permitidas. Mas por trabalharem com cargas não lineares, esses equipamentos geram harmônicas à rede ocasionando aquecimentos dos cabos, redução da vida útil dos equipamentos, problemas nas operações de relés, mau funcionamento ou falha de equipamentos, entre outros problemas que geram prejuízos.

A monitorização contínua das instalações elétricas é a melhor maneira de detectar e fornecer os dados necessários para determinar como e onde os distúrbios foram ocasionados, e com isso evita-se que esses problemas possam ocorrer novamente.

Existem no mercado, muitos equipamentos que monitoram e detectam as harmônicas, mas são muito caros. A opção é usufruir do software LabVIEW, da National Instruments, que trabalha com instrumentação virtual, de fácil programação e manuseio.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por objetivo o uso do software LabVIEW como um medidor de Harmônicas.

2.1.1. Objetivos Específicos

Para conseguir alcançar o objetivo desse trabalho de implementar um medidor de harmônicas foram estabelecidos alguns objetivos específicos, como descritos a seguir:

- Aprimoramento dos conhecimentos sobre Qualidade de Energia;
- Aperfeiçoamento dos conhecimentos em relação às harmônicas;
- Aprendizado sobre Instrumentação Virtual;
- Uso do software LabVIEW.

2.2. METODOLOGIA

Este projeto se baseou em pesquisas de livros e sites sobre os assuntos envolvendo harmônicas, LabVIEW, processamento digital de sinais e instrumentação virtual. Em seguida foi elaborado um programa no software LabVIEW e implementado todo conhecimento adquirido em pesquisas e com isso colhido os resultados e analisados.

2.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi estruturado da seguinte forma:

- Introdução: Foram relatados de forma resumida os problemas que as harmônicas trazem as indústrias e como elas podem ser detectadas com o uso de instrumentação virtual usando o software LabVIEW
- Teoria: Foram introduzidas as explicações teóricas sobre instrumentação virtual, LabVIEW, os problemas causados pelas harmônicas e como podem ser detectadas.
- Resultados: Nesta etapa foi apresentado o projeto e os resultados alcançados com a implementação do medidor de harmônicas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir será apresentada a teoria de como processar um sinal da melhor forma possível. Além disso, será visto as normas existentes relacionadas às harmônicas e o funcionamento do software LabVIEW.

3.1. PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS

Joseph Fourier (1768-1830) em 1822 desenvolveu a transformada de Fourier que afirmava que um conjunto de dados poderia ser analisado diretamente por um espectro de frequências. Com a evolução tecnológica e o desenvolvimento dos computadores digitais de alta capacidade, a Transformada Discreta de Fourier tornou-se uma ferramenta matemática muito usada em processamento de sinais, pois realiza a transição entre as variáveis tempo e frequência. O objetivo deste capítulo é apresentar de forma resumida as principais propriedades da Transformada de Fourier e apresentar técnicas computacionais para sua determinação na forma discreta, a DFT (do inglês “Discret Fourier Transform”), e seus algoritmos rápidos e muito usados, chamados de FFT (do inglês “Fast Fourier Transform”).

3.1.1. Introdução

Como correntes e tensões harmônicas presentes no sistema de potência distorcem a onda fundamental, causando efeitos como o mau funcionamento de equipamentos, comprometimento a eficiência na geração, transmissão e utilização da energia elétrica, conclui-se que a amplitude de cada harmônica deve ser detectada e analisada, a fim de avaliar se seu valor encontrar dentro dos limites determinados por normas.

A análise harmônica consiste no processo de obtenção da amplitude e fase de cada componente múltipla da onda fundamental, por decomposição do sinal original. Segundo Joseph Fourier um sinal contínuo e de período T pode ser representado por uma componente de frequência fundamental e uma série de componentes harmônicas. Esse trabalho ficou conhecido como análise de Fourier e conduz à representação de uma função no domínio do tempo para o domínio da frequência. Esta serie de Fourier é aplicável a sinais contínuos e periódicos. Para sinais contínuos

aperiódicos define-se a Transformada de Fourier que mapeia o sinal temporal de $-\infty$ a $+\infty$ para o domínio da frequência.

Através de conversores analógico-digitais os sinais podem ser discretizados, passando a ser representados por series finitas de amostras espaçadas no tempo. Para estes sinais discretos, usa-se a Transformada Discreta de Fourier (DFT). Se o sinal discreto a ser transformado é uma serie de amostras periódicas e igualmente espaçadas, a DFT pode ser calculada através de algoritmos rápidos e eficientes, conhecidos como Transformada Rápida de Fourier (FFT), que formam a base da análise deste trabalho.

3.1.2. Transformada de Fourier

A transformada de Fourier é um método matemático que converte o sinal do domínio do tempo para o domínio da frequência, explicitando assim suas várias componentes harmônicas.

A transformada de Fourier é uma operação linear e baseia-se na assertiva de que qualquer sinal ou função pode ser representado por uma combinação linear de um conjunto completo de funções básicas, que possuam a propriedade de ortogonalidade (funções trigonométricas, funções exponenciais complexas, polinômios de Legendre, etc.). Um conjunto de funções ortogonais mais utilizados para a representação de um sinal é o conjunto das funções exponenciais complexas, que aparecem de forma compacta na expressão da Transformada de Fourier (TF) para diferentes tipos de sinais, como apresentado a seguir:

Sinais Contínuos Periódicos:

$$X[t] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} X_n e^{jn\omega t} \quad t \leq t \leq t_1 + T \quad (2.1)$$

$$X_n = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} X[t] e^{-jn\omega t} . dt \quad n = \dots, -1, 0, 1, \dots \quad (2.2)$$

Onde: $\omega = 2\pi/T$ T – período do sinal $x(t)$

A equação (2.1) é denominada série de Fourier, que é um caso particular da TF, e X_n é o coeficiente n da série.

Sinais Contínuos Aperiódicos:

$$X(t) = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{j\omega t} . d\omega \quad (2.3)$$

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) e^{-j\omega t} . dt \quad (2.4)$$

As equações (2.3) e (2.4) são conhecidas como o par de transformada de Fourier e podem ser simbolicamente representadas por:

$$X(\omega) = \mathcal{F} [x(t)] - \text{Transformada direta} \quad (2.5)$$

$$x(t) = \mathcal{F}^{-1} [X(\omega)] - \text{Transformada inversa} \quad (2.6)$$

$X(\omega)$ é conhecida como densidade espectral e geralmente é uma função contínua de ω .

Sinais Discretos Periódicos:

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=\langle N \rangle} X[k] \cdot e^{j \frac{2\pi nk}{N}} \quad (2.7)$$

$$X[k] = \sum_{n=\langle N \rangle} x[n] \cdot e^{-j \frac{2\pi nk}{N}} \quad (2.8)$$

N – Numero de amostras por período do sinal.

As expressões (2.7) e (2.8) juntas são conhecidas como o par de Transformada Discreta de Fourier (DFT) e quase sempre são series complexas.

Sinais discretos Aperiódicos:

$$x[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} X[\Omega] \cdot e^{j\Omega n} \cdot d\Omega \quad (2.9)$$

$$X[\Omega] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cdot e^{-j\Omega n} \quad (2.10)$$

Onde: $[\Omega] = 2\pi/N$ com $N \rightarrow \infty$

$K = \langle N \rangle$

Observando as expressões da transformada de Fourier conclui-se que há similaridades entre os seguintes casos:

- 1- Sinal periódico (contínuo ou discreto) tem espectro discreto.
- 2- Sinais aperiódico (contínuo ou discreto) têm espectro contínuo.

Dos quatro casos apresentados, a transformação mais conveniente para obter o espectro de amplitude de um sinal real é a DFT, pelas seguintes razões:

- Todo sinal real pode ser discretizado para cálculos digitais precisos;
- A transformação do sinal discreto periódico gera um espectro de valores discretos;
- Os algoritmos FFT permitem calcular a DFT de forma rápida e eficiente.

Para se aplicar a DFT (válida para sinais periódicos e discretos) em sinais da rede elétrica, que são contínuos e até mesmo aperiódicos dentro de intervalos grandes de observação, duas condições devem ser consideradas:

1- O sinal deverá ser discretizado dentro de um intervalo de tempo T_a finito, correspondente a pelo menos 1 período da fundamental ($T_a \geq 1/f_1$);

2 – O sinal amostrado será considerado periódico, sendo um período a forma observada no intervalo de tempo T_a ($T_a = T$).

Evidentemente que ao transformar um sinal resultante da discretização de um sinal contínuo para o domínio da frequência, o espectro obtido (do sinal discreto) será apenas uma aproximação do espectro original (do sinal contínuo). Isto ocorre devido às operações de limitação no tempo e amostragem do sinal contínuo para a aplicação da DFT.

Para uma interpretação adequada dos resultados, deve-se ainda ressaltar que a condição de periodicidade imposta a um sinal aperiódico, considerando que um período corresponde ao sinal medido durante o intervalo de tempo T_a , significa que o espectro obtido valerá apenas este intervalo, nada podendo ser afirmado fora dele.

Assim, com o sinal devidamente caracterizado, podemos aplicar a transformação desejada (DFT) determinando e interpretando adequadamente o espectro de amplitude do sinal de tensão ou corrente do sistema elétrico desejado.

3.1.3. Cálculo da DFT

Reescrevendo as expressões do par de transformada discreta de Fourier para uma seqüência periódica de N amostras, tem-se:

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] \cdot W_N^{-kn} \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (2.11)$$

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot W_N^{kn} \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad (2.12)$$

Onde: $W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}}$ - Deslocamento angular

A DFT direta (equação 2.12) é a representação de Fourier para seqüência finitas de valores e corresponde a amostras da Transformada de Fourier do sinal, igualmente espaçadas em freqüência. Sendo $x[n]$ uma série complexa de valores temporais (caso geral), a equação 2.12 pode ser escrita da seguinte forma:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} \{ R_{\theta} [x[n] \cdot R_{\theta} [W_N^k]] - I_m [x[n]] \cdot I_m [W_N^k] + j(Re[x[n]] \cdot I_m [W_N^k] + I_m [x[n]] \cdot R_{\theta} [W_N^k]) \}$$

Equação 2.13

A partir da equação (2.13) temos que, para cada valor de k , o cálculo direto de $X[k]$ requer $4N$ multiplicações reais e $4N-2$ adições reais. Desde que $X[k]$ é calculado para N diferentes valores de k , o cálculo da DFT de uma seqüência $x[n]$ requer $4N^2$ multiplicações reais e $N.(4N^2)$ adições reais ou N^2 multiplicações complexas e $N.(N-1)$ adições complexas.

Em um computador digital o tempo computacional e a quantidade de memória requerida para o cálculo de dados numéricos são aproximadamente proporcionais ao número de operações aritméticas, e quanto maior for o valor de N , mais cálculos serão exigidos para obtermos a DFT. Portanto, procedimentos computacionais que reduzam o número de multiplicações e adições no cálculo da DFT são de grande interesse.

No ano de 1965 J.W. Cooley e J.W. Tukey publicaram um trabalho sobre o cálculo da DFT através de um algoritmo computacional, que reduzia consideravelmente o número de operações aritméticas. A publicação deste artigo produziu outros trabalhos que aplicavam a DFT em processamento de sinais e resultou em uma família de algoritmos conhecidos como “fast Fourier Transform” ou algoritmos FFT.

3.1.4. Transformada Rápida de Fourier

O papel das DFT's como ferramenta computacional é grandemente ampliado pela disponibilidade de algoritmos eficientes para avaliar a DFT direta e inversa. Esses algoritmos são chamados coletivamente como transformada rápida de Fourier ou algoritmos FFT.

A FFT é um método matemático para calcular a DFT, processando grande número de amostras de uma seqüência $x[n]$ em tempo mínimo.

O principio básico desse algoritmo é a decomposição da DFT de uma seqüência de comprimento N (2.12) em pequenas e sucessivas DFT's. A forma como este principio é implementado leva a uma variedade de diferentes algoritmos, que explorando as propriedades de simetria e periodicidade do fator W_n reduzem o número de operações aritméticas, sendo divididos em duas classes:

- Dizimação no tempo que decompõe a seqüência $x[n]$ em pequenas e sucessivas subseqüências para calcular a transformada.
- Dizimação na freqüência que se baseia na quebra da seqüência $x[n]$ e uma posterior quebra na seqüência $X[k]$ sucessivamente para obter a transformação.

Analisando o algoritmo de dizimação no tempo para o caso de N ser uma potência inteira de 2, tem-se N^{2^v} .

Como N é par, calcula-se $X[k]$ (equação 2.12), separando $x[n]$ em duas seqüência de $N/2$ amostras, consistindo uma seqüência de pontos pares e a outra de pontos ímpares de $x[n]$.

$$X[k] = \sum_{n \text{ par}} x[n] W_N^{nk} + \sum_{n \text{ ímpar}} x[n] W_N^{nk} \quad (2.14)$$

Substituindo $n=2r$ para n par e $n=2r+1$ pra n ímpar, obtém-se

$$X[k] = \sum_{r=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x[2r] W_N^{2rk} + \sum_{r=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x[2r+1] W_N^{(2r+1)k} \quad (2.15)$$

Como $W_N^2 = (e^{-j2\pi/N})^2 = W_{N/2}$, cada somatória da expressão acima se torna uma DFT de tamanho $N/2$, com a primeira soma de pontos pares e a segunda soma de pontos ímpares da seqüência original $x[n]$, ou seja:

$$X[k] = \sum_{r=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x[2r] W_{N/2}^{2rk} + \sum_{r=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x[2r+1] W_{N/2}^{(2r+1)k} \quad (2.16)$$

Se $N/2$ é ainda um número par, podemos continuar o processo de quebra da seqüência calculando a DFT de $N/4$ pontos. Esta quebra continua até termos a expressão da DFT de dois pontos.

Para uma seqüência de 8 pontos tem-se o cálculo completo da DFT, que pode ser representado pelo gráfico de fluxo mostrado na figura 1:

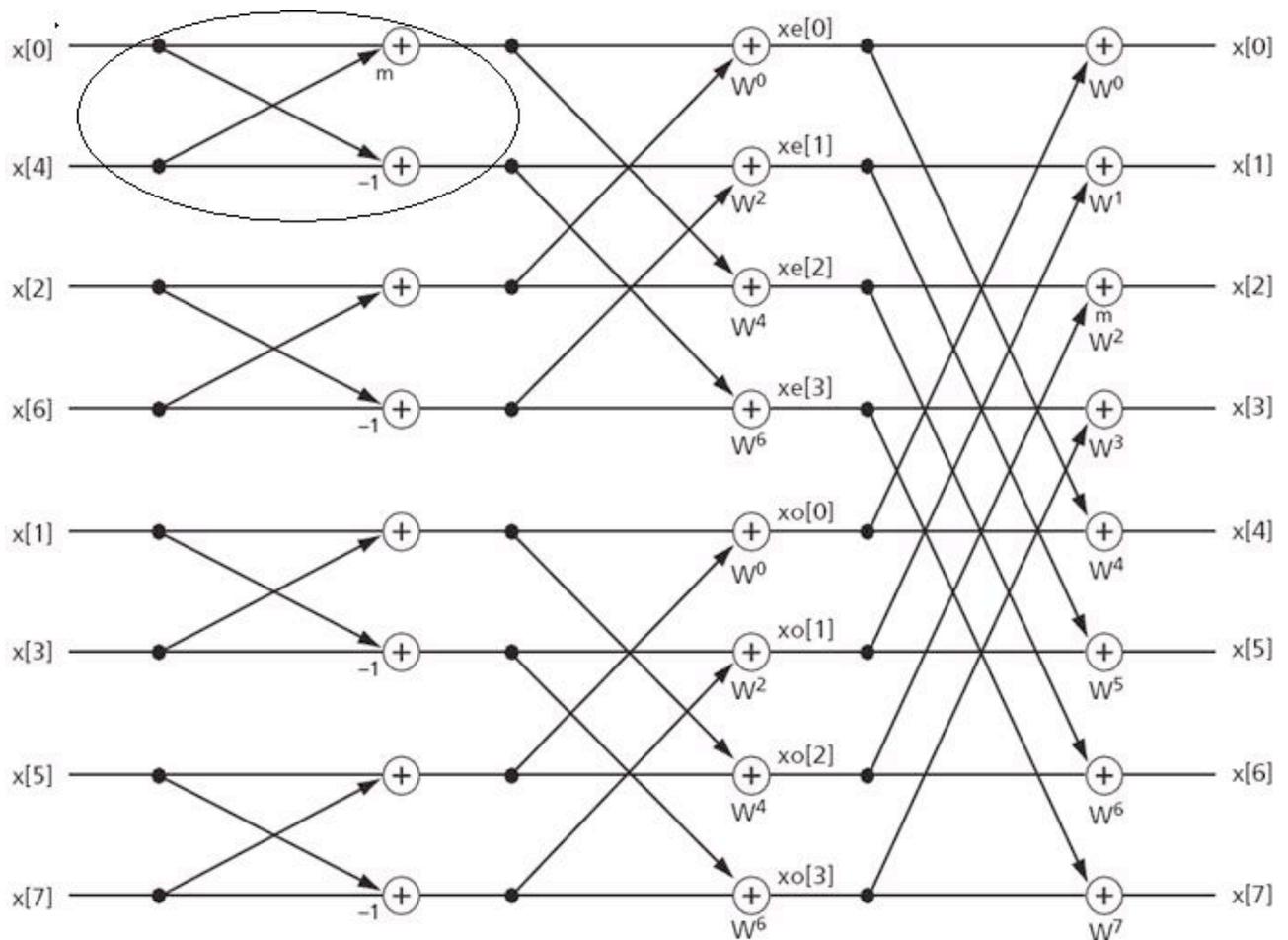


Figura 1. DFT de 8 pontos

A parte destacada deste gráfico é a DFT de dois pontos $[x(0)$ e $x(4)]$, denominada borboleta (“butterfly”), pois lembra o formato de uma borboleta conforme mostrado na figura2.

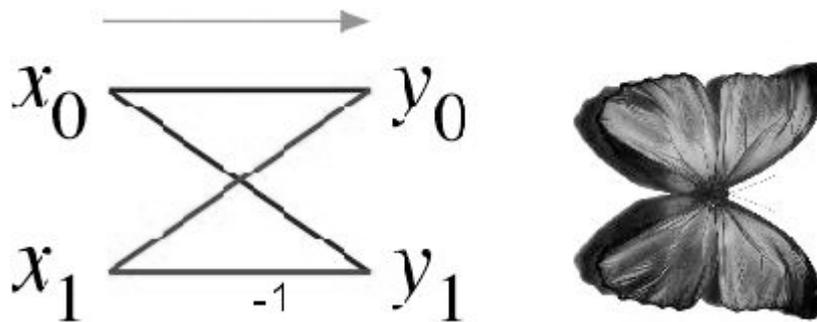


Figura 2. Diagrama da borboleta

A DFT de dois pontos pode ser representada pela seguinte equação:

$$X_{m+1}(p) = X_m(p) + W_N^r \cdot X_m(q) \quad (2.17)$$

$$X_{m+1}(q) = X_m(p) - W_N^r \cdot X_m(q) \quad (2.18)$$

Onde: m - Estágio da DFT – m=1, 2, ...v;

p, q- Numero da amostra;

r - Expoente que varia de acordo com o estágio a ser feito.

No caso da DFT de 8 pontos (2^3) tem-se 3 estágios até a obtenção dos valores de $X[K]$.

O algoritmo de dizimação na frequência é semelhante ao anterior, sendo que as operações quebram a seqüência $X[K]$ até a DFT de 2 pontos. Para qualquer dos dois métodos a redução no número de operações aritméticas, comparada com o método direto da DFT, é de N^2 para $N/2 \cdot \text{LOG}_2 N$ multiplicações complexas e $N(N-1)$ para $N \cdot \text{LOG}_2 N$ adições complexas. A diferença no número de operações aritméticas entre o método da DFT e o método direto é mostrado na figura3.

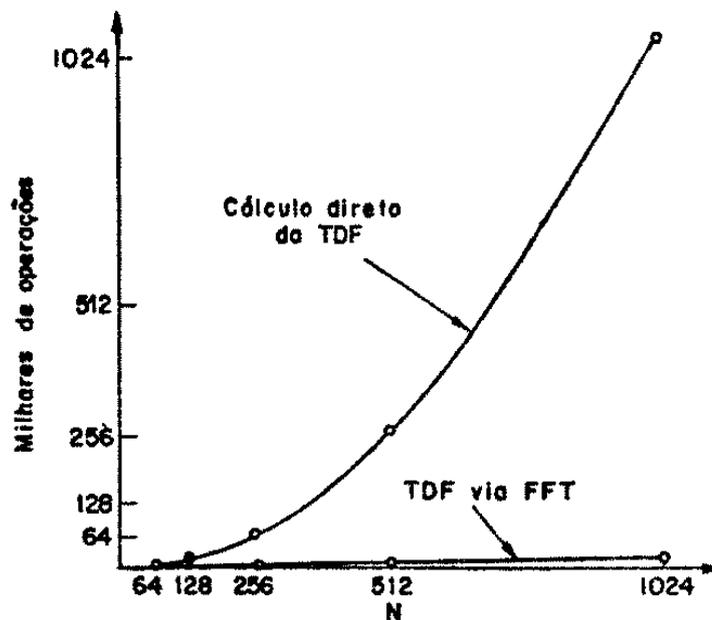


Figura 3- Comparação no número de operações entre DFT e FFT

A FFT pode ser realizada para qualquer número de amostras N , mas sua eficiência é maior quando N é uma potência inteira de 2, levando a algoritmos chamados de FFT radix 2.

3.2. HARMÔNICAS

3.2.1. Introdução

Nos últimos anos, vem crescendo de forma muito rápida o uso de equipamentos eletroeletrônicos cada vez mais sofisticados nas instalações elétricas prediais, comerciais e industriais em geral. Esses equipamentos podem afetar a qualidade da energia, tornando a sua própria operação e de outros componentes inadequada, resultando em perdas de informações, funcionamentos incorretos, disparos indesejados, entre outros problemas.

Dentre as perturbações elétricas que mais afetam um sinal, de tensão ou corrente, podemos destacar as perturbações na forma de onda dos sinais, que são conhecidas como perturbações harmônicas.

Esses tipos de perturbações cresceram muito na última década, graças ao aumento do uso de equipamentos eletrônicos e elétricos, como computadores, variadores de tensão, fontes de alimentação que tem seu funcionamento baseado em diodos, tiristores, transistores, triacs, dicas, etc. que funcionam no modo interrupção. Esses equipamentos que simplificam a vida das pessoas trazem junto o inconveniente problema de provocar alterações nas formas de onda presente nas instalações elétricas.

3.2.2. Definição

Um sinal senoidal cuja frequência é múltiplo inteiro da frequência fundamental do sinal de alimentação, no caso do Brasil essa frequência é igual a 60Hz, é chamado de harmônicas. Esse sinal pode ser tanto de corrente quanto de tensão e é sinônimo de um sinal deformado.

A figura 4 mostra uma onda senoidal normal, representando uma corrente de energia sem deformações, e outra menor, representando uma harmônica. A onda senoidal maior representa uma onda de 60Hz e a onda menor representa a harmônica de quinta ordem, o que significa que sua frequência é de $5 * 60\text{Hz}$, ou 300Hz.

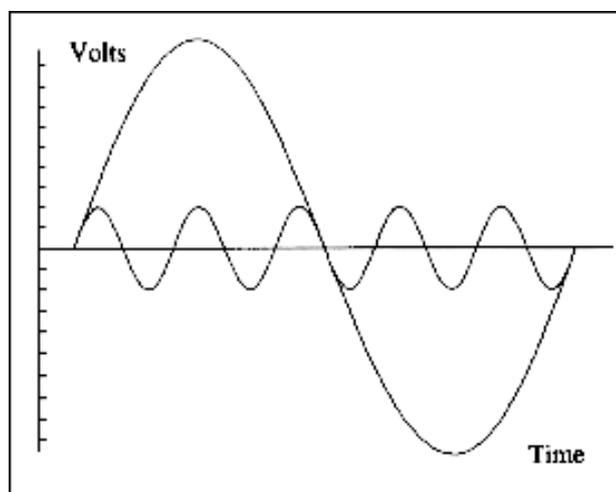


Figura 4 – Ondas senoidais de 60Hz (maior) e 300Hz (menor)

A figura 5 mostra como ficaria a soma das duas curvas, mostrado na figura 4. Esta curva resultante mostra bem a distorção harmônica da curva de tensão, que deixa de ser perfeitamente senoidal na presença de harmônicas.

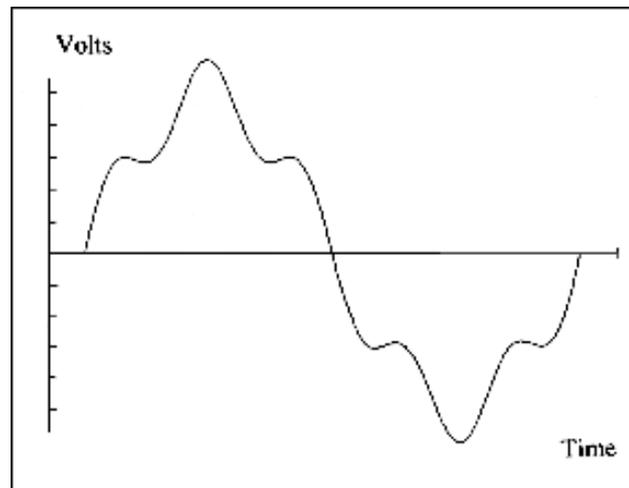


Figura 5- Soma das ondas senoidais de 60 e 300HZ (Figura4)

As harmônicas podem apresentar seqüência de fase positivas, negativas ou nulas (zero). Em um motor assíncrono trifásico, ligado por quatro condutores (3 fases e neutro) a seqüência positiva tende a fazer o motor girar no mesmo sentido que o da componente fundamental, provocando assim, uma sobrecorrente nos seus enrolamentos, que provocará um aumento de temperatura, reduzindo a vida útil e permitindo a ocorrência de danos ao motor. Essas harmônicas de seqüência positiva provocam geralmente aquecimento indesejados em condutores, motores, transformadores, etc.

As harmônicas de seqüência negativa fazem o motor girar no sentido contrário ao giro produzido pela fundamental, freando assim o motor e também causando aquecimentos indesejados. Por sua vez, as harmônicas de seqüência nula, zero ou também conhecidas como homopolares, não provocam efeitos no sentido de rotação do motor, porém soma algebricamente no condutor neutro. Isso implica que podem ocorrer situações em que pelo condutor neutro pode circular uma corrente de terceira ordem que é três vezes maior do que a corrente de terceira ordem que percorre cada condutor e por isso os condutores aquecem muito rápido. A tabela 1 mostra a ordem, a freqüência e a seqüência de um sinal com harmônicas.

Ordem	Frequência (Hz)	Seqüência
1	60	+
2	120	-
3	180	0
4	240	+
5	300	-
6	360	0
7	420	+
n	n * 60	-

Tabela1- Ordem, frequência e seqüência das harmônicas

3.2.3. Espectro harmônico

Um sinal decomposto em suas componentes harmônicas e representado na forma de gráfico de barras é chamado espectro harmônico onde cada barra representa uma harmônica com sua frequência, valor eficaz e defasagem.

O espectro harmônico é uma representação de forma de onda no domínio da frequência. Teoricamente, o espectro harmônico de um sinal deformado chegaria ao infinito, por isso limita-se o número de harmônicas a serem medidas e analisadas por volta da ordem número 50, visto que dificilmente, os sinais acima dessa ordem são significativos a ponto de poderem perturbar o funcionamento de uma instalação. A figura 6 mostra um espectro de um sinal distorcido.

Em instalações elétricas onde haja a presença predominante de sinais em corrente alternada, o espectro apresenta apenas harmônicas de ordem ímpar, enquanto que as harmônicas de ordem par são encontradas nas instalações com sinais deformados em corrente contínua.

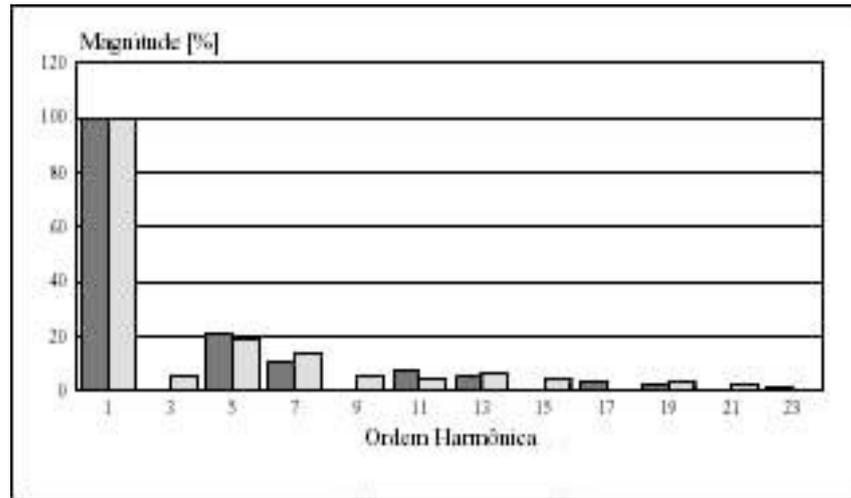


Figura 6 - Espectro de um sinal distorcido

3.2.4. Taxa de Distorção Harmônica Total (THD)

A THD é definida em consequência da necessidade de se determinar numericamente os harmônicos presentes em um dado ponto da instalação e traduz através de uma só grandeza a deformação da onda em tensão ou em corrente. São definidos dois valores para THD, sendo uma para distorção de tensão (THDU) que é produzida pela fonte geradora como consequência da circulação de correntes distorcidas pela instalação, calculado pela equação (2.19), e uma que indica o grau de distorção de corrente (THDI) que é provocada pela carga, calculado pela equação (2.20). Com isso é provocado uma espécie de bola de neve, uma vez que, se a tensão é deformada, as correntes nas cargas também se deformam e se, as correntes se deformam, as tensões se deformam mais ainda e assim por diante.

$$THD = \frac{1}{V_1} \sum_{n=2}^{50} V_n^2 \quad (2.19)$$

Onde: V_n - Valor rms da tensão fase-neutro da harmônica n
 V_1 - Valor rms da tensão fundamental fase-neutro.
n - Ordem da harmônica

$$THD = \frac{1}{I_1} \sum_{n=2}^{50} I_n^2 \quad (2.20)$$

Onde: I_n - Valor rms da corrente de fase da harmônica n.
 I_1 - Valor rms da corrente de fase da fundamental.
n - Ordem da harmônica.

Um valor de THDU inferior a 5% é considerado como normal.

Um valor de THDU entre 5 e 8% revela uma poluição harmônica significativa.

Um valor de THDU superior a 8% revela uma poluição harmônica considerável. Uma análise aprofundada e a colocação de dispositivos de atenuação é necessária.

Um valor de THDI inferior a 10% é considerado como normal.

Um valor de THDI entre 10 e 50% revela uma poluição harmônica significativa. Existe o risco de aquecimento e por isso implica em aumento das bitolas dos cabos.

Um valor de THDI superior a 50% revela uma poluição harmônica considerável. Necessário uma análise aprofundado e a colocação de dispositivos de atenuação.

3.2.5. Fator de Potência e $\cos \varphi$

O fator de potencia e o $\cos \varphi$ podem ser sinônimos no caso de serem usado em instalações que não existam harmônicas, ou seja, no caso dos sinais serem senoidais puras.

O fator de potencia (fp) é a relação entre a potência ativa e a potencia aparente definido para um sinal periódico não senoidal e é calculado pela equação (2.21).

$$fp = \frac{P (w)}{S(VA)} \quad (2.21)$$

O $\cos \varphi$ é a reação entre a potencia ativa e a potencia aparente definido para cada uma das componentes harmônicas (senoidal) e é calculado pela equação (2.22).

$$\cos \varphi_n = \frac{Ph_n (w)}{Sh_n (VA)} \quad (2.22)$$

Onde:

H_n = harmônica de ordem n

Geralmente, mede-se o $\cos \varphi$ da componente fundamental e o fator de potência do sinal deformado (total). Neste caso, em circuitos que apresentam valores de fator de potencia e $\cos \varphi$ muito diferentes entre si possuem forte quantidade de harmônicas tanto de corrente quanto de tensão. Isso pode causar aquecimentos excessivos generalizados na instalação e, sobretudo, serias avarias em bancos de capacitores. Ao contrario, valores muito próximos de fator de potencia e $\cos \varphi$ indicam a pequena presença de harmônicas nos circuitos.

3.2.6. Normas existentes

Estima-se que em países industrializados cerca de 50 a 60% de toda a potência elétrica que flui através de um equipamento de eletrônica de potencia, originando com isso eventuais problemas de qualidade de energia, entre eles harmônicas.

Para combater o aumento desses problemas, organização como a CEI – Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC –International Electrotechnical Commission) e o IEEE- Instituto dos Engenheiros Eletrotécnicos e Eletrônicos, tem elaborado normas visando limitar os conteúdos harmônicos nos sistemas de potência.

No Brasil, para uma operação satisfatória do sistema elétrico, é recomendado conhecer o conteúdo harmônico da tensão e corrente até a ordem 50.

3.2.6.1. Norma IEC 61000-3-2

Esta norma refere-se às limitações das harmônicas de corrente injetadas na rede pública de alimentação. Aplica-se a equipamentos elétricos e eletrônicos que tenham uma corrente de entrada de até 16 A por fase, conectado a uma rede pública de baixa tensão alternada, de 50 ou 60 Hz, com tensão fase-neutro entre 220 e 240 V.

Os equipamentos são classificados em 4 classes:

- *Classe A*: Equipamentos com alimentação trifásica equilibrada e todos os demais não incluídos nas classes seguintes.
- *Classe B*: Ferramentas portáteis.
- *Classe C*: Dispositivos de iluminação, incluindo reguladores de intensidade (dimmer).
- *Classe D*: A potência ativa de entrada deve ser inferior a 600W, medida esta feita obedecendo às condições de ensaio estabelecidas na norma (que variam de acordo com o tipo de equipamento). Um equipamento é incluído nesta classe se a corrente de entrada, em cada semi-período, se encontra dentro de um envelope, num intervalo de pelo menos 95% da duração do semi-período. Isto significa que formas de onda com pequenos picos de corrente fora do envelope são consideradas dentro desta classe.

Independentemente da forma da corrente de entrada, se um equipamento for enquadrado nas classes B ou C, ele não será considerado como de classe D. Isto também vale para aparelhos que contenham motor CA nos quais se faça ajuste de velocidade por controle de fase (SCR ou Triac). Estes limites não se aplicam a equipamentos de potência maior do que 1kW, utilizados profissionalmente.

Para as harmônicas de ordem superior a 19, observa-se globalmente o espectro. Se este estiver dentro de um envelope com decaimento monotônico, ou seja, se suas componentes diminuïrem com o aumento da freqüência, as medições podem ser restritas até a 19a harmônica. As correntes harmônicas com valor inferior a 0,6% da corrente de entrada (medida dentro das condições de ensaio), ou inferiores a 5 mA não são consideradas.

A Tabela 2 indica os valores máximos para as harmônicas de corrente de ordem ímpar e para valores de ordem par, com o equipamento operando em regime permanente. Para o regime

transitório, as correntes harmônicas que surgem na partida de um aparelho e que tenham duração inferior a 10 s não devem ser consideradas.

Já para as harmônicas pares entre a 2a e a 10a e as ímpares entre a 3a e a 19a, valores até 1,5 vezes os dados pela tabela são admissíveis para cada harmônica, desde que apareçam em um intervalo máximo de 15 segundos (acumulado), em um período de observação de 2 minutos e meio.

Os valores limites para a classe B são os mesmos da classe A, acrescidos de 50%.

Ordem da Harmônica n	Classe A Máxima corrente [A]	Classe B Máxima corrente [A]	Classe C (>25W) % da fundamental	Classe D (>10W, <300W) [mA/W]	Classe D [A]
Harmônicas Ímpares					
3	2,30	3,45	30. FP	3,4	2,3
5	1,14	1,71	10	1,9	1,14
7	0,77	1,155	7	1,0	0,77
9	0,40	0,60	5	0,5	0,40
11	0,33	0,495	3	0,35	0,33
13	0,21	0,315	3	0,296	0,21
$15 \leq n \leq 39$	$0,15 \cdot \frac{15}{n}$	$0,225 \cdot \frac{15}{n}$	3	3,85/n	2,25/n
Harmônicas Pares					
	Classe A Máxima corrente [A]	Classe B Máxima corrente [A]	Classe C (>25W) % da fundamental	Classe D (>10W, <300W) [mA/W]	Classe D [A]
2	1,08	1,62	2		
4	0,43	0,645			
6	0,3	0,45			
$8 \leq n \leq 40$	$0,23 \cdot \frac{8}{n}$	$0,35 \cdot \frac{8}{n}$			

Tabela 2 – Limites para harmônicas de corrente de ordem ímpar e par.

3.2.6.2. Norma IEEE - 519

Esta recomendação (não é uma norma) produzida pelo IEEE, descreve os principais fenômenos causadores de distorção harmônica, indica métodos de medição e limites de distorção. Seu enfoque é diverso daquele da IEC, uma vez que os limites estabelecidos referem-se aos valores medidos no Ponto de Acoplamento Comum (PAC), e não em cada equipamento individual.

Os limites diferem de acordo com o nível de tensão e com o nível de curto-circuito do PAC. Obviamente, quanto maior forem a corrente de curto-circuito (I_{cc}) em relação à corrente de carga, maiores são as distorções de corrente admissíveis, uma vez que elas distorcerão em menor intensidade a tensão no PAC. À medida que se eleva o nível de tensão, menores são os limites aceitáveis.

A grandeza TDD é definida como a distorção harmônica da corrente, em % da máxima demanda da corrente de carga demanda de 15 ou 30 minutos. Isto significa que a medição da TDD deve ser feita no pico de consumo.

Harmônicas pares são limitadas a 25% dos valores acima. Distorções de corrente que resultem em nível cc não são admissíveis.

Máxima corrente harmônica em % da corrente de carga (I_o - valor da componente fundamental)						
Harmônicas ímpares:						
I_{cc}/I_o	<11	11<n<17	17<n<23	23<n<35	35<n	TDD (%)
<20	4	2	1,5	0,6	0,3	5
20<50	7	3,5	2,5	1	0,5	8
50<100	10	4,5	4	1,5	0,7	12
100<1000	12	5,5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2,5	1,4	20

Tabela 3- Limites de Distorção da Corrente para Sistemas de Distribuição (120V a 69kV)

<u>Limites para harmônicas de corrente de cargas não-lineares no PAC com outras cargas</u>						
<u>Harmônicas ímpares:</u>						
<u>I_{cc}/I_o</u>	<u><11</u>	<u>11<n<17</u>	<u>17<n<23</u>	<u>23<n<35</u>	<u>35<n</u>	<u>TDD(%)</u>
<u><20</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>0,75</u>	<u>0,3</u>	<u>0,15</u>	<u>2,5</u>
<u>20<50</u>	<u>3,5</u>	<u>1,75</u>	<u>1,25</u>	<u>0,5</u>	<u>0,25</u>	<u>4</u>
<u>50<100</u>	<u>5</u>	<u>2,25</u>	<u>2</u>	<u>0,75</u>	<u>0,35</u>	<u>6</u>
<u>100<1000</u>	<u>6</u>	<u>2,75</u>	<u>2,5</u>	<u>1</u>	<u>0,5</u>	<u>7,5</u>
<u>>1000</u>	<u>7,5</u>	<u>3,5</u>	<u>3</u>	<u>1,25</u>	<u>0,7</u>	<u>10</u>

Tabel 4 - Limites de Distorção da Corrente para Sistemas de Sub-distribuição (69001V a 161kV)

<u>Harmônicas ímpares:</u>						
<u>I_{cc}/I_o</u>	<u><11</u>	<u>11<n<17</u>	<u>17<n<23</u>	<u>23<n<35</u>	<u>35<n</u>	<u>THD(%)</u>
<u><50</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>0,75</u>	<u>0,3</u>	<u>0,15</u>	<u>2,5</u>
<u>>50</u>	<u>3</u>	<u>1,5</u>	<u>1,15</u>	<u>0,45</u>	<u>0,22</u>	<u>3,75</u>

Tabela 5 - Limites de distorção de corrente para sistemas de alta tensão (>161kV) e sistemas de geração e co-geração isolados.

Para os limites de tensão, os valores mais severos são para as tensões menores (nível de distribuição). Estabelece-se um limite individual por componente e um limite para a distorção harmônica total.

	<u>Distorção individual</u>	<u>THD</u>
<u>69kv e abaixo</u>	<u>3%</u>	<u>5%</u>
<u>69001V até 161kV</u>	<u>1,5%</u>	<u>2,5%</u>
<u>Acima de 161KV</u>	<u>1%</u>	<u>1,5%</u>

Tabela 6 - Limites de distorção de tensão

3.3. INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL

3.3.1. Definição

A instrumentação virtual consiste em implementar uma ferramenta de programação adequada, um equipamento de aquisição, que junto a um computador pessoal, executam as tarefas de instrumentos tradicionais que é usado no dia a dia. Muitos instrumentos analógicos ou digitais podem ser concentrados de maneira virtual em um único instrumento virtual, e com isso reduzindo custos e espaço. Com a rápida evolução dos computadores, os instrumentos virtuais se tornam cada vez mais rápidos e mais tecnológicos e ainda possuem a vantagem de serem, no caso de uso com

um computador portátil, levados a qualquer lugar sem muitos esforços. Ela é composta por computador pessoal, um software de programação e dispositivos de aquisição e controle.

Um instrumento real é um aparelho dotado de uma forma geral de: sensores, que convertem grandezas de diversos tipos em sinais elétricos; transdutores, que alteram uma variável física; painel de controle que contem os botões, as chaves, os indicadores, os mostradores; painel de conexão que contém os terminais aos quais se conecta os sensores, os atuadores através de cabos ou fios.

A transdução da grandeza física genérica para a forma elétrica é requerida em instrumentos cujo funcionamento é eletrônico. Em geral o painel de controle opera eletronicamente, bem como o processamento do sinal. Esses instrumentos são usados fazendo as conexões dos cabos de ligação com os demais dispositivos através do painel de conexões e opera o instrumento através do painel frontal. Por isso, podemos dizer que o conjunto desses painéis constitui a interface conceitual entre o instrumento (real) e o usuário.

Já o instrumento virtual pode ser definido como um sistema que é formado por um computador equipado com placas de medidas e um software de desenvolvimento.

Um programa executado no computador torna o instrumento ou o controlador acessível ao operador por meio de uma interface gráfica. Essa interface contém botões, chaves, mostradores, indicadores, painéis de exibição de gráficos, etc, apresentados como objetos interativos, animados sob ação do operador através de cursor do mouse. O instrumento conectado ao computador pode ser desde um equipamento completo, como um osciloscópio, por exemplo, ou mesmo um simples sensor como um termopar usado para medir temperatura.

Se acoplarmos, por exemplo, ao computador um osciloscópio digital que não tenha a função de análise espectral, podemos obter os dados do sinal adquiridos pelo osciloscópio, processá-los no computador usando-se um algoritmo de FFT (Transformada Rápida de Fourier) e assim realizar uma análise espectral do sinal.

3.3.2. Dispositivos de aquisição e controle: hardware

O hardware associado ao computador pessoal para se ter um instrumento virtual pode ser dividido em duas categorias: dispositivos de aquisição de dados e dispositivos de controle de instrumentos.

Os dispositivos de aquisição de dados agem entre o computador e o mundo exterior. Estes dispositivos de aquisição de dados agem entre o computador e o mundo exterior. Estes dispositivos funcionam primeiramente como um conversor dos sinais analógicos em sinais digitais, fazendo com que o computador possa interpretá-los. Sendo estes sinais obtidos pelos sensores ou transdutores dos fenômenos da natureza envolvidos em cada experiência laboratorial.

O controle de instrumentos pelo computador é realizado, quando o computador é responsável por monitorar e controlar os instrumentos utilizados nas experiências laboratoriais via comunicação digital de dados, onde se requer o uso de interfaceamento e transmissão de sinais digitais.

3.3.3. Aquisição de dados

Existem uma variedade de hardware disponível que você pode acoplar no computador ou acessar através de uma rede. Estes dispositivos oferecem uma enorme gama de possibilidades de aquisição de dados a um custo muito baixo do que utilizar dispositivos dedicados.

Para se obter um sinal desejado, podem-se usar sensores ou transdutores que são responsáveis por transformar grandezas físicas em uma grandeza que possa ser adquirida por uma placa de aquisição.

Mas no momento do uso de sensores e transdutores deve-se tomar cuidado, pois esses sinais podem ser de alto valor, com ruídos, muitos baixos e por isso torna-se necessário condicionar os sinais para uma aquisição de dados. O condicionamento de sinais maximiza a exatidão do sistema, permitindo que os sensores operem corretamente e garantindo segurança no sistema. Esses dispositivos podem amplificar os sinais baixos, atenuarem sinais altos, amostrar sinais elétricos simultaneamente, alimentar transdutores ou sensores ativos entre outras funções.

Além disso, os dispositivos incluem entradas ou saídas analógicas, entradas ou saídas digitais, contadores, temporizadores e filtros. A grande diversidade de placas e de dispositivos pode incluir qualquer uma destas características ou uma combinação delas.

Hoje o mercado possui varias plataformas para aquisição de dados: Plataforma distribuída, o próprio PC, plataformas portáteis, módulos PXI/CompacPCI.] A plataforma de aquisição de dados

distribuídos é baseada em módulos de entrada e saída de dados Ethernet. A plataforma portátil possui comunicação via porta USB. Já os módulos PCI/Compac/PCI são plataformas mais robustas, que possui um computador dedicado especificamente para controlar os dispositivos de aquisição.

3.3.4. LabView (Laboratory Virtual Instrument Enginnering Workbench)

Como as linguagens tradicionais não podem estabelecer facilmente a comunicação entre computador e as conexões dos dispositivos de medições, foram criadas linguagens de programação como, por exemplo, o Lab View que trabalha utilizando instrumentação virtual. O labVIEW possibilita um ambiente de programação gráfica que combina a programação flexível.

Nessa linguagem os diagramas de blocos demonstram a lógica estabelecida para resolver um determinado problema, por meio da conexão de ícones utilizados para programar uma determinada rotina.

Quando se trata de uma tarefa maior, o programador geralmente divide em tarefas menores e mais fáceis de resolver. Estas tarefas menores são mais manejáveis e fáceis de testar, já que as dependências que podem causar comportamentos inesperados estão reduzidas. Assim, pode-se desenvolver um instrumento virtual que resolve cada uma das tarefas menores, juntando-as então em um sistema completo para resolver a tarefa maior.

O LabVIEW trabalha com subVI (sub virtual instrument), possibilitando diversos tipos de argumentos como entrada e obtendo como saída um ou vários argumentos processados. Estes argumentos podem ser variáveis, string, matrizes, gráficos e diversos outros parâmetros disponíveis na linguagem de programação, portanto a possibilidade de reuso destes VI's torna o desenvolvimento de um novo VI mais fácil. Nele o ambiente gráfico de desenvolvimento oferece uma linguagem de programação flexível e com funcionalidades e configurações especificamente projetadas para aplicações de medidas e automação. Ele foi criado pela National Instrument, para ser um ambiente de programação voltado ao desenvolvimento de aplicações, utilizando o conceito de instrumentação virtual. A linguagem de programação visual é chamada de linguagem G (de Graphics, numa referencia à linguagem C). O LabVIEW é então, uma linguagem de programação gráfica, que usa ícones em vez das linhas de comandos para criar as suas aplicações. Contrasta com as linguagens de programação, baseadas em linhas de comando, em que as instruções determinam a ordem de execução do programa e usa fluxo de dados dentro do programa, em que o fluxo de dados por meio dos nós no diagrama de blocos determina a ordem de execução dos VI's e das funções.

O LabVIEW é uma linguagem muito apropriada para o desenvolvimento de interfaces com o usuário, interagindo com o programador por meio de duas telas separadas: o painel frontal (figura7) e o diagrama de blocos (figura 8). No painel frontal, os botões, os indicadores e os gráficos podem ser alcançados para o controle direto do usuário. Já no diagrama de blocos, o fluxo de dados e as funções de controle podem ser desenvolvidos através do código fonte gráfico que define a funcionalidade do VI.

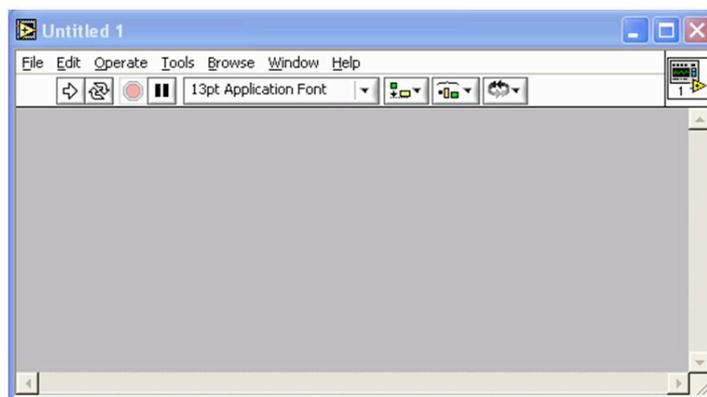


Figura 7- Painel frontal

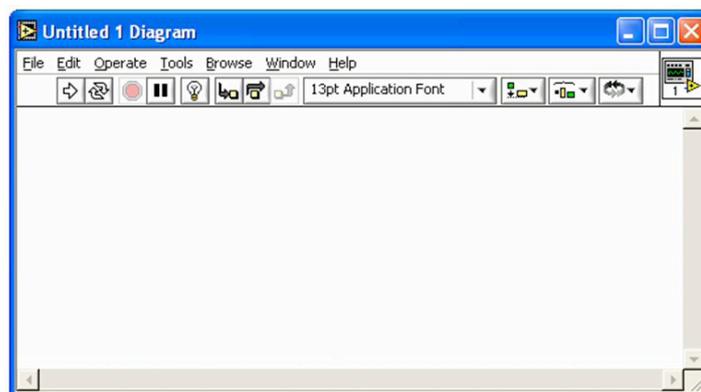


Figura 8– Diagrama de blocos

O painel frontal é a parte do VI, que define a relação de usuário. Esta interface com o usuário é desenvolvida por meio de controles e indicadores, que são os terminais interativos de

entrada e de saída do VI, respectivamente. Os controles são botões, chaves seletoras, e outros mecanismos de entrada que simulam mecanismos de entrada no instrumento virtual, fornecendo dados ao diagrama de blocos. Os indicadores são gráficos, leds, e outros tipos de saída que simulam mecanismos da saída no instrumento virtual, apresentando os dados que o diagrama de blocos adquiriu ou gerou.

O diagrama de blocos é desenvolvido através de representações gráficas de funções para controlar os objetos do painel frontal. As representações gráficas de funções para controlar os objetos do painel frontal. As representações gráficas de funções para controlar os objetos do painel podem ser operações matemáticas, lógicas ou estruturas de programação (while loop, for loop, case structure, etc.) e os objetos do painel frontal são os terminais presentes no diagrama de blocos dos respectivos controles e indicadores.

4. PROJETO

Para desenvolvimento do projeto proposto será usado a versão 5.1 do LabVIEW por ser o software disponível no momento. Neste projeto será criado um medidor de harmônicas e usado um gerador virtual que simula algumas ondas no próprio LabVIEW. Este gerador gera vários tipos de ondas com frequências e amplitudes diferentes sendo, portanto muito útil para que se possam fazer os testes pelo próprio sistema, sem a necessidade do uso de laboratórios nesse primeiro momento.

4.1. MEDIDOR DE HARMÔNICAS

Como o LabVIEW tem a vantagem de trabalhar com Sub-VI's já existentes, no projeto do medidor de harmônicas foram usados os Sub-VI's mostrados na figura 09. O Sub-VI Signal Generator by Duration.vi gera um sinal de diferentes tipos de onda como por exemplo seno, cosseno, quadrada, triangular. Além disso, você pode controlar a frequência, amplitude, número de amostras desejadas. O Sub-VI Scaled Time Domain Window.vi aplica um tipo de janela no sinal no domínio de tempo na sua entrada. O Sub-VI Auto Power Spectrum.vi calcula a FFT e o VI Harmonic Analyser.vi, o principal nesse projeto, acha a frequência fundamental e as harmônicas existentes em um sinal, e calcula a porcentagem DHT.

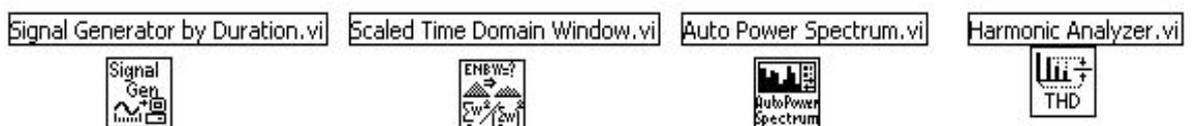


Figura 09. Sub-VI's usadas no Medidor de harmônicas

O projeto completo é mostrado pela figura 10, que representa o diagrama de blocos do medidor de harmônicas. Já a figura 11 representa o painel frontal onde é possível visualizar e mudar os dados da medição.

Diagrama de Blocos

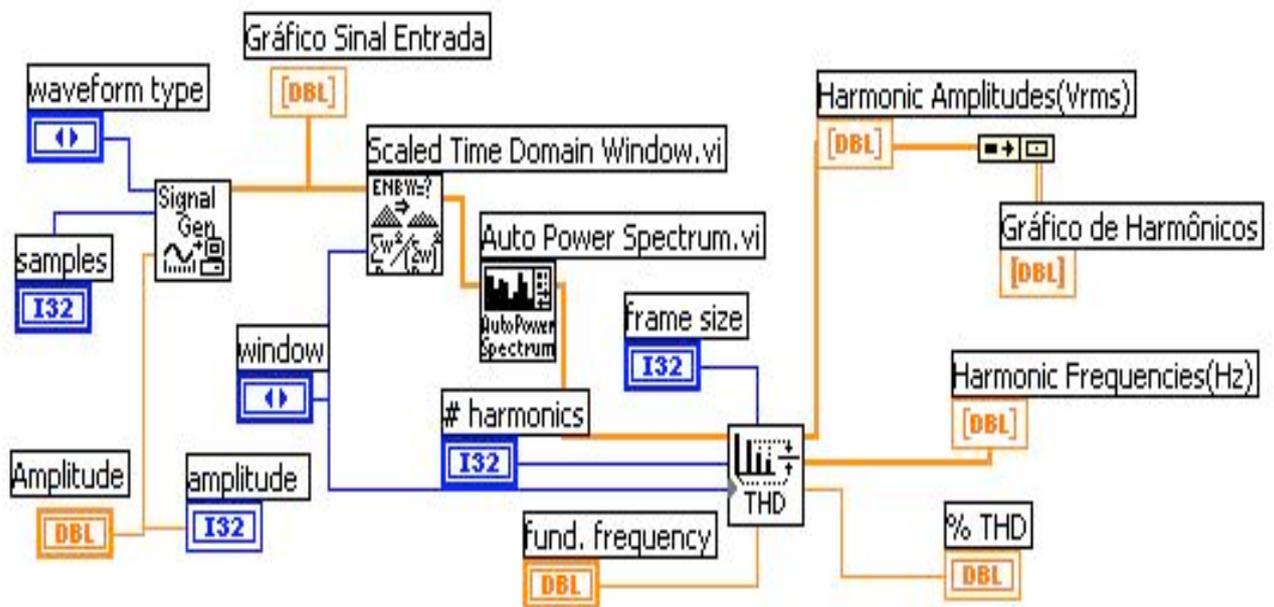


Figura 10. Diagrama de Blocos do Medidor de Harmônicas.

Um ponto importante a observar é em relação ao critério de Nyquist, que especifica que um sinal precisa ser amostrado pelo menos duas vezes em cada ciclo de variação, isto é, a frequência de amostragem (frequência de Nyquist) precisa ser o dobro da maior frequência presente no sinal. Se não for observado esse critério, os sinais de mais alta frequência serão erroneamente registrados como de baixa frequência.

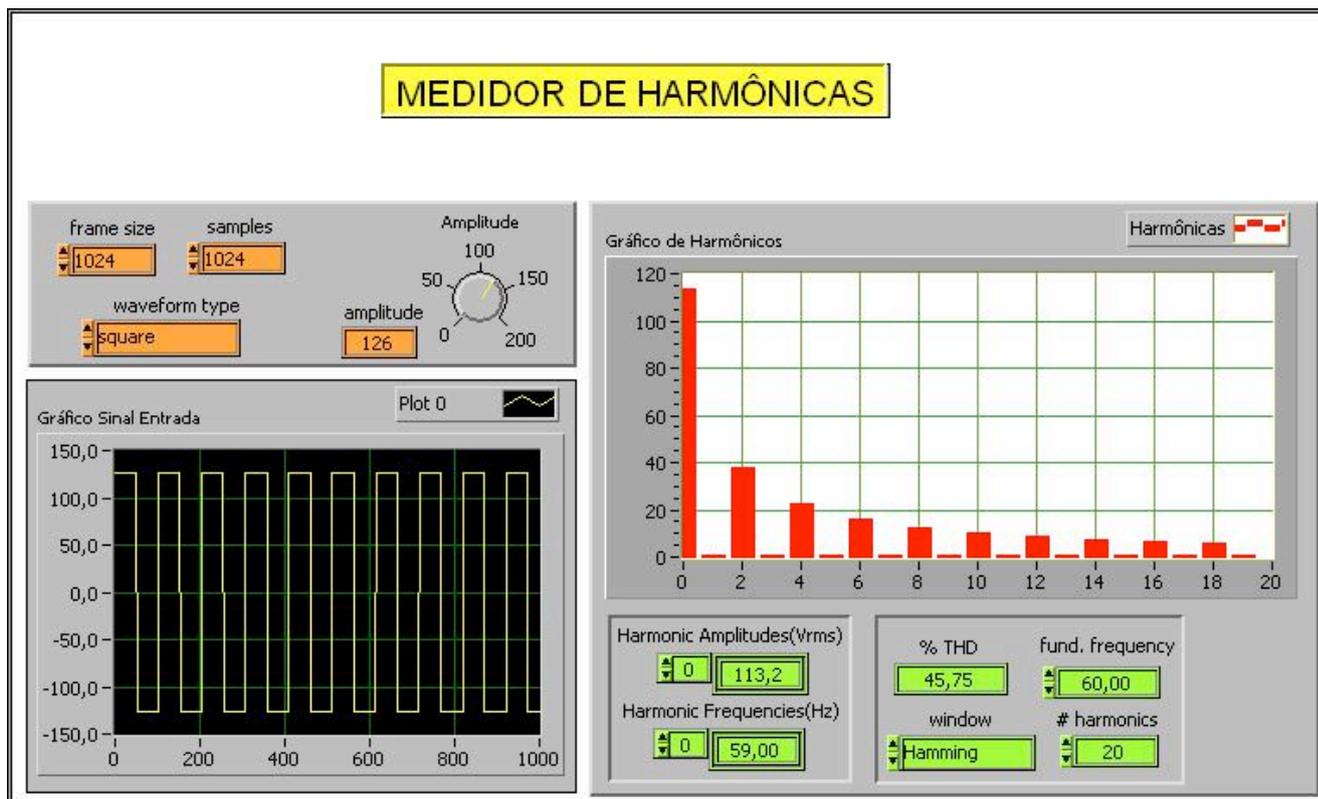


Figura 11. Painel Frontal do Medidor de Harmônicas

Através do Painel Frontal o usuário terá condições de escolher o tipo de filtro que será usado no sinal, a amplitude e a forma de onda do sinal de entrada, além de selecionar a quantidade de harmônicas que deseja medir. Ainda poderá ter informações da THD do sinal medido e o número de amostras através de gráficos e mostradores numéricos.

4.1.1. Resultados

O Medidor de Harmônicas montado no LabVIEW mostrou ser uma ferramenta funcional na parte teórica, pois simulado diferentes tipos de onda, frequências e amplitudes, plotou vários tipos de gráficos com DHT distintos.

O LabVIEW mostrou ser uma ferramenta de programação fácil e rápido de manusear, pois utiliza blocos já existentes que com poucos movimentos pode ser montado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentado a opção de medição de harmônicas usando o software LabVIEW. A versão 5.1 usada, por ser uma versão um pouco antiga, mostrou-se um pouco restrita ao propósito, mas funcional, tendo em vista que atendeu todas as necessidades propostas neste momento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System. Project IEEE-519. Outubro 1991.
- [2] IEEE STANDARD 519-1992: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, 1992.
- [3] HWEI, P. Hsu – “ Sinais e Sistemas” – 1ºed., Editora Bookmam, 2004
- [4] HAYKIN, Simon, Haykin; VEEN, Barry Van – “Sinais e Sistemas” – 1ºed., Editora Bookam, 1999. Tradução José Carlos Barbosa dos Santos
- [5] Proakis, John G.; Manolakis, Dimitris G. - Digital Signal Processing – Third edition, Editora Prentice Hall
- [6] Apostila Harmônicas nas Instalações Elétricas – PROCOBRE- Instituto Brasileiro do Cobre
- [7] Apostila LabVIEW – www.ni.com