

# O EFEITO DAS DISTORÇÕES HARMÔNICAS NA CORRENTE DO NEUTRO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS B T

## RESUMO

*Atualmente , com o desenvolvimento da "Eletrônica de Potência", tem-se uma grande proliferação das cargas denominadas não-lineares, tais como: computadores , "no-breaks" etc. Estas cargas vêm causando problemas ao sistema elétrico, com o surgimento de distorções na corrente e tensão , e refletidos como altas correntes no neutro. Isto despertou avaliações que antes não eram relevantes na análise dos projetos das instalações elétricas prediais e industriais.*

## ABSTRACT

*Nowadays , with the development of "Power electronic", the proliferation of the so called nonlinear loads such as computers and no-breaks has been enourmous. These loads introduces adverse effects on the entire power system , distorting the voltage and current waveforms, leading to high neutral current in building wiring systems.*

## I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de potência (CA) e seus componentes foram, originalmente, projetados para produzir tensões e correntes senoidais para cargas lineares. Estas cargas são formadas por iluminação incandescente, motores convencionais usados em compressores, evaporadores, bombas d'água, ventiladores etc. Hoje, com o aparecimento de

cargas não-lineares, que são aquelas que usam componentes eletrônicos, no estado sólido, tais como conversores estáticos de potência empregados no controle de velocidade de motores de indução, fornos a arco, carregadores de baterias, lâmpadas a arco ou descarga, no-breaks, computadores etc., pode-se detectar uma mudança na forma da

**Swytz José Tavares**

---

*Engenheiro Eletricista  
pela UNIFOR;  
Especialista em Redes de  
Computadores UNIFOR.  
Atualmente, é aluno do  
mestrado na área de  
Eletrônica de Potência na  
UFC.*

onda da corrente de senoidal para uma onda não-senoidal, causando o aparecimento das "harmônicas". O problema com as harmônicas é que elas aumentam a fadiga ou stress mecânico, elétrico e térmico dos componentes elétricos do sistema e para o qual não foram dimensionados.

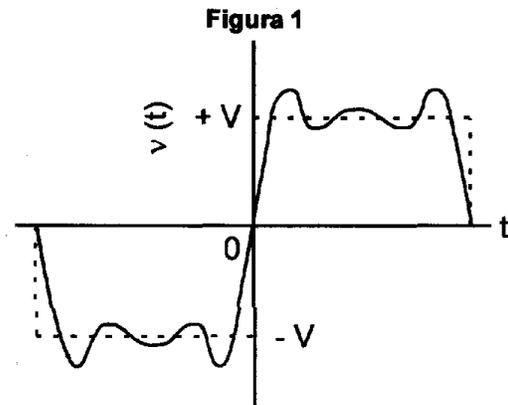
Outro efeito é que pode aparecer ruído audível, quando as harmônicas alcançam a faixa de frequência do ouvido humano. Existe, também, o aumento das perdas por aquecimento (efeito Joule) nos condutores pela decorrência do efeito pelicular que aumenta a resistência CA com o aumento da frequência. E por último, produzem excessivas correntes no neutro do sistema em estrela.

## 2. HARMÔNICAS

No início do século passado, Jean Baptiste Fourier, demonstrou que qualquer função matemática ( forma de onda) periódica contínua ou descontínua podia ser representada pela soma de várias componentes senoidais e/ou cossenoidais de frequências diferentes, onde os termos senos e cossenos de mesma frequência podiam ser combinados em um único termo seno ou cosseno com o ângulo deslocado.

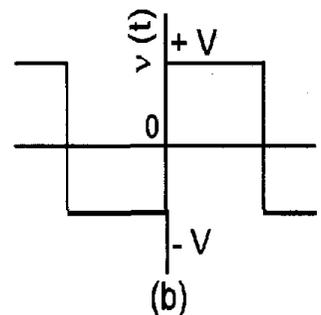
A componente senoidal distinta que possui a mesma frequência da forma de onda analisada é denominada de primeira harmônica ou "fundamental". As outras componentes que possuem frequências distintas, contêm frequências que são múltiplos inteiros da fundamental e são chamadas de "harmônicas". Então, emprega-se um termo representativo de acordo com a frequência, onde, se for o dobro da fundamental é chamada de segunda harmônica e se for "n" vezes a frequência fundamental, chama-se enésima harmônica, para n=1,2,3,...

O nosso sistema de energia elétrica produz onda senoidal de corrente e tensão em 60 Hz, que ao alimentar cargas não-lineares geram ondas distorcidas que possuem periodicidade com frequência de 60 Hz para a fundamental e mais a soma de harmônicas de frequências múltiplas; tais como a de segunda ordem ou 120 Hz, a de terceira ordem ou 180 Hz e assim por diante. Como exemplo, podemos



Fonte: BARTKOWIAK

Figura 2



Fonte: BARTKOWIAK

ver na figura 1 a soma das harmônicas de ordem 3 e 5 com a sua fundamental para formar uma onda quase quadrada.

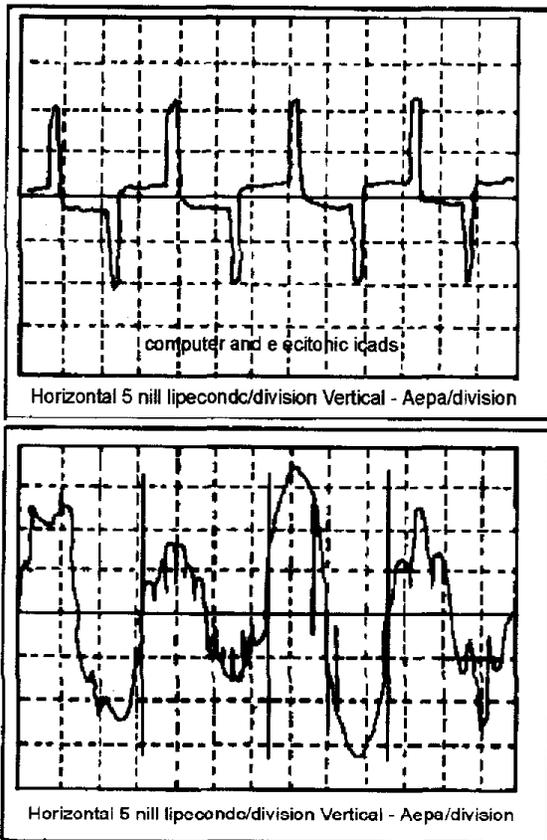
Na figura 2 temos exemplos de gráficos de corrente para cargas não-lineares, ou seja, possuidoras de harmônicas. Então, pode-se avaliar pelo método da "Análise de Fourier", a quantidade e grandeza das harmônicas na corrente e na tensão de um sistema elétrico, como mostrado na figura 3 onde uma onda quadrada pode ser representada por uma série infinita de senóides.

## 3. FATOR DE POTÊNCIA

Para cargas lineares, o conceito de fator de potência se restringe ao cálculo do quociente da potência ativa pela potência aparente dada pela equação (1), ou seja:

$$\text{fator de potência} = \text{f.p.} = \frac{KW}{KVA} = \cos \theta \quad (1)$$

Figura 3

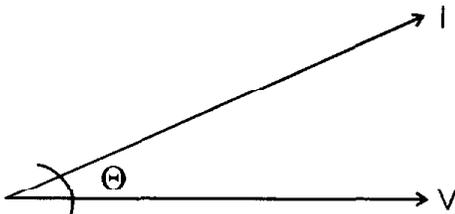


Fonte: HIBBARD

Que representa a quantidade de energia dissipada pela carga em relação à energia total requerida do gerador do sistema elétrico de potência. Isto, se deve ao fato de que as cargas lineares podem ser do tipo resistivas, indutivas ou capacitivas, fazendo com que a corrente do sistema se defase angularmente em relação à tensão, ou seja, o  $\cos \theta$ , visto na figura 4.

Para cargas não-lineares este conceito é válido somente em parte, pois é preciso

Figura 4



acrescentar-se a parcela da distorção harmônica. Este novo conceito se deve ao fato de a existência destas mesmas cargas, presentes no sistema, estabelecerem um fator que representa a quantidade de harmônicas, denominadas de "fator de distorção", que multiplicadas ao fator de potência teremos o fator de potência total (não-linear). Observe que o fator de potência linear é calculado somente pela fundamental.

Considerando-se que as cargas não-lineares distorcem basicamente a corrente da rede elétrica, calculamos o f.p. pela grandeza das correntes.

$$\text{fator de distorção} = f. d. = \frac{I_F}{I} \quad (2)$$

$$\text{Ou} \quad \frac{1}{\sqrt{I_F^2 + \sum_{H=2}^{\infty} I_H^2}} \quad (3)$$

Onde, "THD" é a Distorção Harmônica Total e dada pela equação:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{H=2}^{\infty} I_H^2}}{I_F} \quad (4)$$

$$\text{fator de potência total} = f. p. = \frac{f. p.}{\sqrt{1 + THD^2}} \quad (5)$$

$$\text{Ou seja ; } f.p. = \frac{\cos \theta}{\sqrt{1 + THD^2}} \quad (6)$$

Então, podemos concluir que existe um agravante para o cálculo do fator de potência quando uma carga elétrica é não-linear. Pois, para uma mesma potência ela apresenta um fator de potência menor do que se fosse linear, isto se deve pela presença das harmônicas.

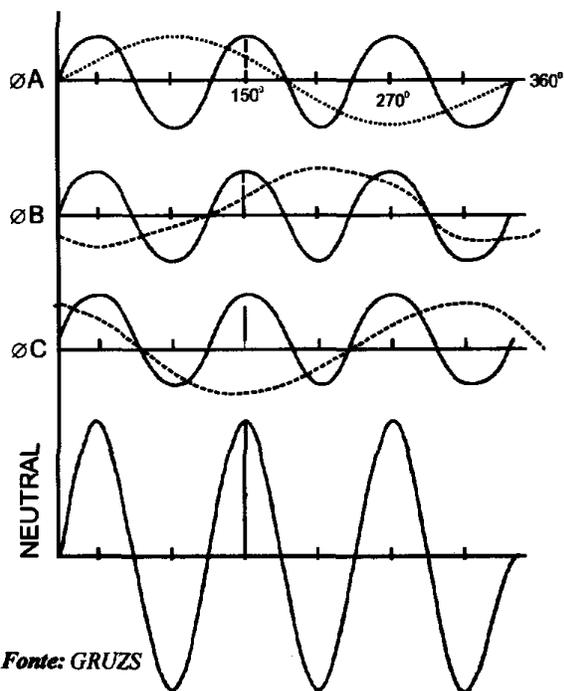
#### 4. CORRENTE DO NEUTRO

Como sabemos, o sistema trifásico equilibrado apresenta corrente nula ou zero no neutro, quando as quantidades de cargas colocadas por fase forem iguais para sistemas com configuração estrela. Mas, quando

colocamos equipamentos estáticos neste sistema, cargas não-lineares, mesmo que seja de forma balanceada por fase, nota-se uma grande quantidade de corrente no neutro do sistema, apesar de não haver aumento exagerado na corrente de linha na mesma proporção. Então, estudos feitos no sentido de se identificar a causa descobriu que tudo se deve às harmônicas, porque no sistema trifásico a corrente do neutro é uma soma dos vetores correntes de cada fase. Com isso, verificou-se que as harmônicas de ordem tripla (terceira, sexta, nona etc) de cada fase estão em fase umas com as outras e se somam no neutro. Como exemplo, podemos ver na figura 5 a corrente harmônica de ordem tripla, ou seja, a frequência é de 180 Hz e defasados entre si de 120 graus elétricos, nota-se que elas se somam originando no neutro do sistema uma corrente harmônica de amplitude três vezes maior que por fase. Dependendo da quantidade de harmônica gerada no sistema, podemos ter no neutro, uma corrente três vezes maior que a corrente fase e mesmo em um sistema totalmente balanceado.

Note que este problema tanto é das

Figura 5



Fonte: GRUZS

instalações elétricas industriais e prediais, onde existem cargas não-lineares, como também, ela é refletida no sistema elétrico de potência como um todo. Uma recente pesquisa, publicada pela IEEE IAS Conference Paper 89CH2792-0/89/0000-1852, outubro de 1989, revelou que a corrente no (neutro) indicou que pelo menos 23% destas instalações apresentavam corrente excessiva no neutro, mesmo dimensionando-se corretamente pela norma em vigor, que não considerava o efeito das cargas não-lineares (fonte de harmônicas).

Hoje, avaliando-se o problema das harmônicas, vários grupos relacionados com normas para instalações elétricas já estabeleceram limites desta distorção no sistema elétrico de potência. Como exemplos podemos mencionar a IEEE Standard 519 e a IEC 555-2.

Estes grupos estabeleceram regras para as instalações elétricas em geral no sentido de se dimensionar circuitos ou sistemas alimentadores de cargas não-lineares, tais como, computadores etc.:

1 - Evitar-se o uso de um neutro comum para circuitos multifásicos, ou seja, um neutro para cada circuito e por fase;

2 - Dimensionar o neutro como o condutor fase;

3 - Sobredimensionar os componentes do neutro, tais como, fios, cabos, terminais e etc pelo fator de 1.73 vezes a capacidade por fase;

4 - Sobredimensionar os transformadores de acordo com as normas da ANSI e da IEEE-C 57.110 para compensar as perdas adicionais provocadas por harmônicas;

5 - Prover proteção suplementar de sobrecorrente nos transformadores de potência;

6 - Usar equipamentos supressores de harmônicas como: filtros passivos, filtros ativos etc.;

7- Uso de transformadores em delta ( $\Delta$ )

## 5 - CONCLUSÃO

É com crescente preocupação que os engenheiros especialistas em sistemas elétricos de potência vêem o aumento das cargas chamadas "não-lineares" ligadas à rede elétrica. Estima-se que no fim do século teremos, de todas as cargas conectadas ao sistema, cerca

de 30% não - lineares. E este aumento é inevitável na medida que mais equipamentos eletrônicos são inventados e utilizados, se não bastasse o número crescente de computadores a cada ano.

As companhias de energia elétrica devem ficar mais atentas na questão do novo conceito de fator de potência , onde se revela que as perdas estimadas pelo conceito antigo não estão corretas totalmente .

E, além disto, a presença das harmônicas é um perigo constante para a operação dos equipamentos elétricos; tais como, disjuntores, relés de proteção etc. . Sem falar a diminuição da vida útil dos transformadores e bancos de capacitores .

Na área de baixa tensão , as instalações elétricas prediais e industriais com cargas não lineares , já são comuns . Pois , existem redes de computadores em todas as empresas ; além de conversores estáticos para controle da rotação de motores de indução e retificadores para diversas utilidades em aplicações industriais .

Tudo isto vem causar uma grande confusão para os profissionais que não conhecem a complexidade das harmônicas, presentes em qualquer tipo de instalação elétrica.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- BARTKOWIAK, Roberta. **Circuitos elétricos, respostas a tensões não-senoidais**, Makron books, São Paulo, 1994, p. 427 - 449 .
- 2 - GRUZS, THOMAS M.: **Harmonic distortion in electric power systems**, Power Quality /ASD, october 1990, proceedings, p. 137 - 145 .
- 3 - HIBBARD, John F. : **Understanding and correcting harmonics distortion**, Power Quality /ASD, september 1992, proceedings, p. 291- 301.
- 4 - LOPEZ, Richard.: **Understanding and solving harmonics distortion problems within electrical facilities**, Power Quality /ASD, september 1992, proceedings, p. 27- 33.
- 5 - PAICE , Derek A.: **Harmonics issues and clean power converters**, Power Quality / ASD, october 1990, proceedings, p. 292 - 303.
- 6 - PISKUNOV, N. **Differential and Integral Calculus, Fourier series**, MIR Publishers, Moscow, pgs 776 - 812.
- 7 - CREDER, Hélio. **Instalações elétricas, correção do fator de potência**, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1986, p. 265-281.