

CAPÍTULO 2

MEDIÇÃO DE HARMÔNICAS

INTRODUÇÃO

Na prática, muitas vezes nos perguntamos: quais harmônicas devem ser medidas e reduzidas?



MEDIÇÃO E REDUÇÃO DE HARMÔNICAS

- Em redes trifásicas, as harmônicas que encontramos mais frequentemente e, portanto, as mais problemáticas, são as harmônicas de ordem ímpar.
- Acima da ordem 50, as intensidades harmônicas são reduzidas e a sua medida não é significativa.

MEDIÇÃO E REDUÇÃO DE HARMÔNICAS

- Uma precisão de medida aceitável obtém-se ao considerar as harmônicas até a ordem 30.
- Os distribuidores de energia medem, geralmente, as harmônicas de ordem 3, 5, 7, 11 e 13.
- A compensação das harmônicas até a classe 13 é imperativa e uma boa compensação levará em conta as harmônicas até a ordem 25.

INDICADORES ESSENCIAIS DA DISTORÇÃO HARMÔNICA

1. O fator de potência
2. O fator de crista
3. A potência de distorção
4. O espectro de frequência
5. A taxa de distorção harmônica



FATOR DE POTÊNCIA (FP)

O fator de potência define-se como a relação entre a potência ativa (P) e a potência aparente (S):

$$FP = \frac{P}{S}$$

O fator de potência é frequentemente confundido com o cosseno fi ($\cos\varphi$), cuja definição é:

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{S_1}$$

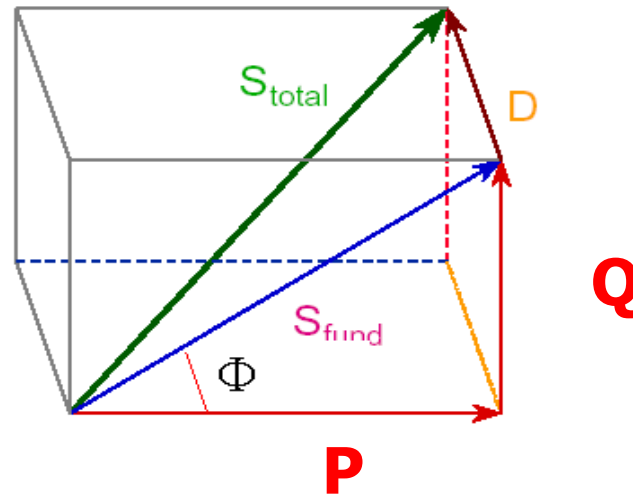
P1 = Potência ativa da onda fundamental.

S1 = Potência aparente da onda fundamental.

INTERPRETAÇÃO DO FP

Uma indicação da presença significativa de harmônicas é percebida quando o fator de potência medido é diferente do « $\cos\varphi$ » (o fator de potência será inferior a « $\cos\varphi$ »).

$$FP < \cos \varphi$$



FATOR DE CRISTA (FC)

É a relação entre o valor de pico de corrente ou de tensão (I_p o U_p) e o valor eficaz (rms).

$$f.c. = \frac{I_p}{I_{rms}} \quad \text{o} \quad f.c. = \frac{U_p}{U_{rms}}$$

Este fator é particularmente útil para detectar a presença de valores de crista excepcionais com relação ao valor eficaz.

INTERPRETAÇÃO DO VALOR DE CRISTA

- O fator de crista típico de correntes absorvidas por cargas não lineares é muito maior que $\sqrt{2}$; pode ter valores iguais a 1,5 ou 2, e chega inclusive ao valor 5 em casos críticos.
- Um fator de crista muito elevado implica superintensidades pontuais importantes.
- Estas superintensidades são detectadas pelos dispositivos de proteção de tempo instantâneo, como disjuntores, que podem ser a origem de desligamentos indesejados.

POTÊNCIA ATIVA (P)

- A potência ativa (P) de um sinal distorcido por harmônicas é a soma das potências ativas correspondentes às tensões e intensidades da mesma ordem.
- A decomposição da tensão e a intensidade nas suas componentes harmônicas pode ser escrita como segue:

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} U_h \cdot I_h \cdot \cos \varphi_h$$

φ_h : Defasagem entre a tensão e a intensidade da harmônica de ordem h.

POTÊNCIA REATIVA (Q)

- A potência reativa define-se somente para a fundamental e é dada pela equação:

$$Q = U_1 \cdot I_1 \cdot \text{Sen } \varphi_1$$

- Consideramos a potência aparente (S):

$$S = U_{rms} \cdot I_{rms}$$

- Na presença de harmônicas pode-se reescrever a equação como:

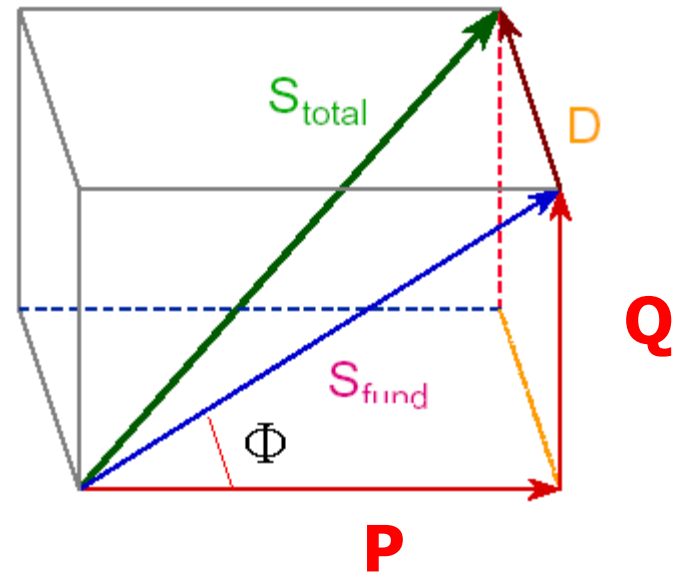
$$S^2 = \left(\sum_{n=1}^{\infty} U_h^2 \right) \cdot \left(\sum_{n=1}^{\infty} I_h^2 \right)$$

POTÊNCIA DE DISTORÇÃO (D)

Consequentemente, na presença de harmônicas, a relação $S^2 = P^2 + Q^2$ não é válida. Define-se a potência de distorção D de tal modo que:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2:$$

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

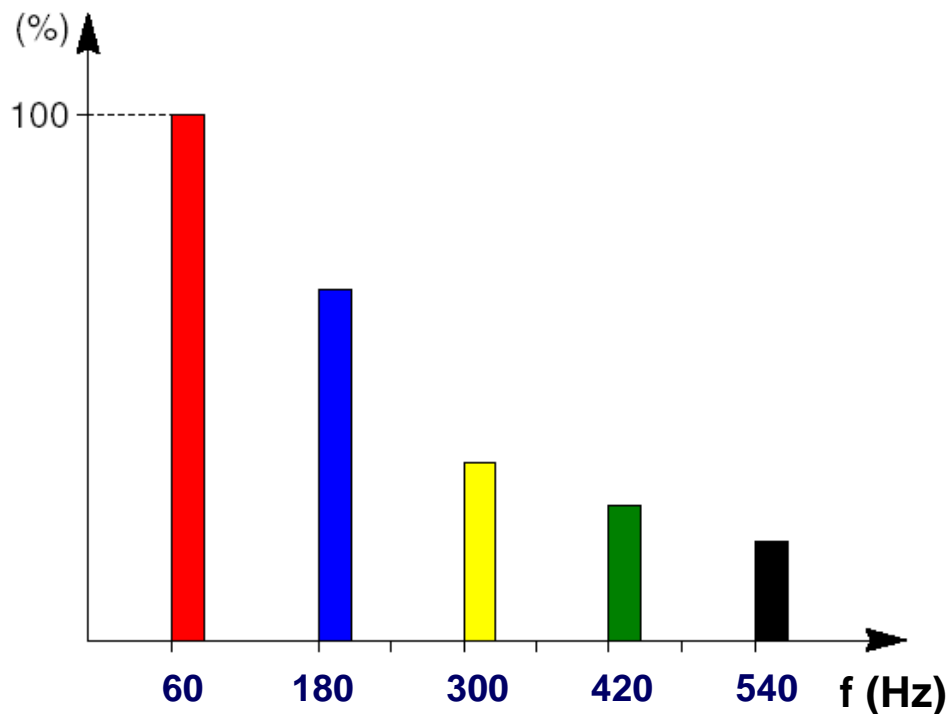


O ESPECTRO DE FREQUÊNCIA

- O espectro é um histograma que indica a amplitude de cada harmônica em função da sua ordem.
- Este tipo de representação também é denominado análise espectral.
- O espectro em frequência indica quais harmônicas estão presentes e a sua importância relativa.

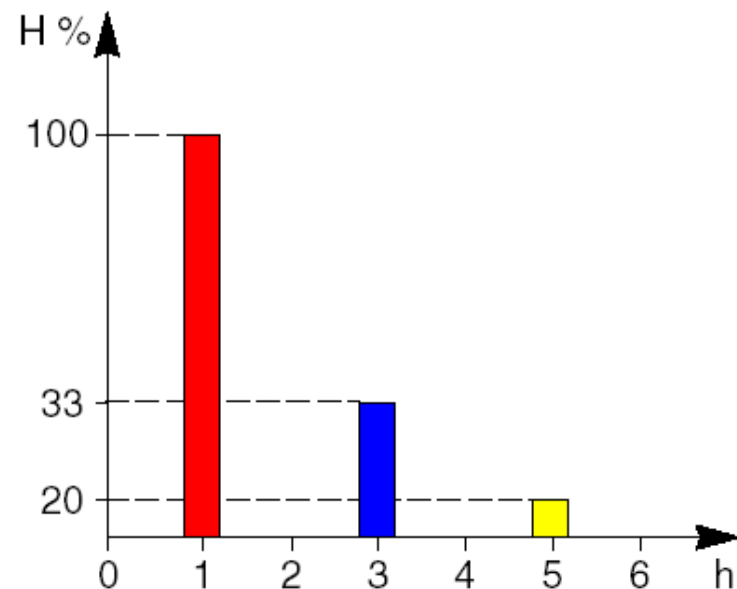
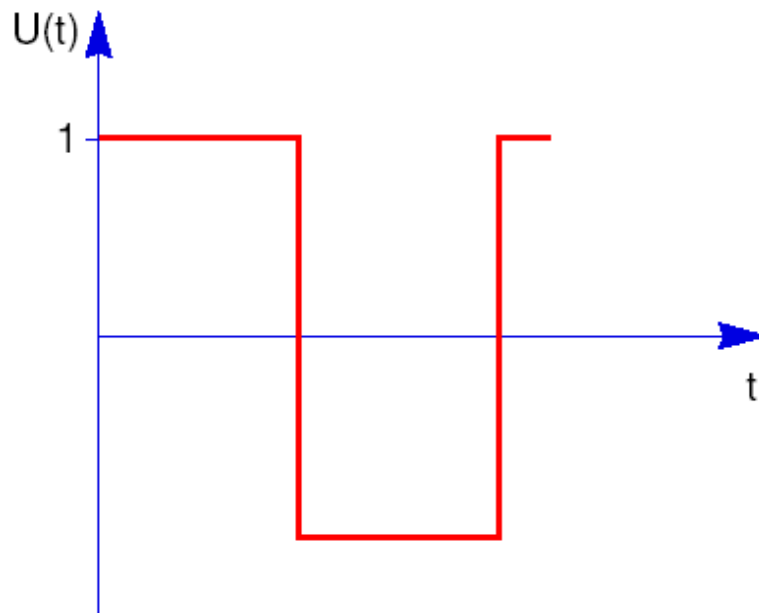
FORMA DE REPRESENTAÇÃO

O espectro em frequência é um método gráfico muito prático que permite a representação das harmônicas que compõem um sinal periódico.



ANÁLISE ESPECTRAL

Representando a amplitude de cada ordem harmônica em um gráfico obtém-se uma representação gráfica do espectro em frequência.



VALOR EFICAZ

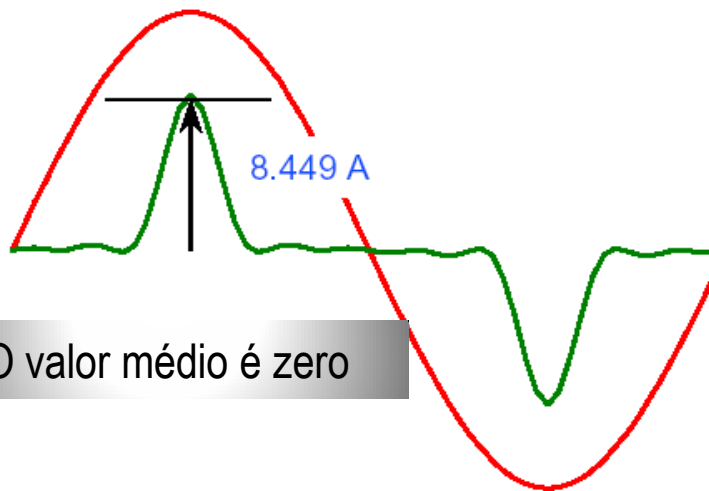
O valor eficaz de corrente ou de tensão calcula-se em função dos valores eficazes das diferentes ordens de harmônicas:

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} \quad U_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} U_h^2}$$

EXEMPLO

h	1	3	5	7	9
I pico, h	2,88	2,31	1,75	1,07	0,45
I rms, h	2,036	1,633	1,237	0,757	0,318
(I rms, h) ²	4, 147 2	2,668 05	1,531 25	0,572 45	0,101 25

$$I_{rms} = \sqrt{4.1472 + 2.66805 + 1.53125 + 0.57245 + 0.10125} = 3.00 \text{ A rms}$$



$$f.c. = \frac{\text{valor pico}}{\text{valor rms}} = \frac{8.449}{3} = 2.816$$

TAXA DE DISTORÇÃO HARMÔNICA

- Cada aparelho que causa harmônicas tem as suas próprias correntes harmônicas com amplitudes e defasagens diferentes, valores muito importantes na análise da distorção harmônica.
- A distorção harmônica individual define-se como o nível de distorção, em porcentagem, de ordem h, com relação à fundamental.

$$U_{h(\%)} = \frac{U_h}{U_1} \cdot 100 \quad I_{h(\%)} = \frac{I_h}{I_1} \cdot 100$$

TAXA DE DISTORÇÃO HARMÔNICA (THD)

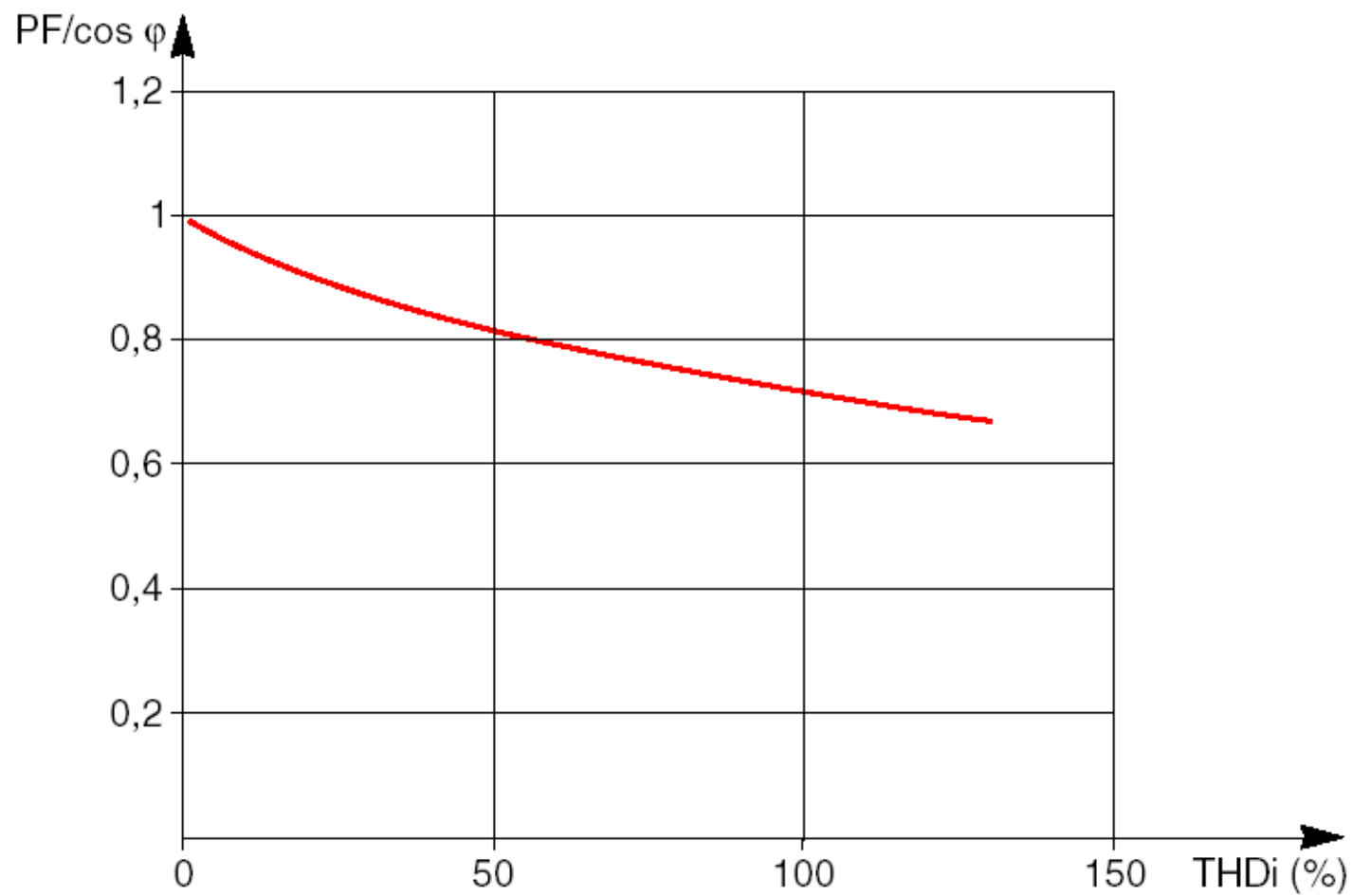
A taxa de distorção harmônica é frequentemente utilizada para definir a importância do conteúdo harmônico de um sinal deformado:

$$THD = \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} \left(\frac{V_i^2}{V_N^2} \right)} \times 100\%$$

Onde:

- V_i = é o valor eficaz (rms) da tensão harmônica "i".
- V_N = é a tensão nominal do ponto de medição.

RELAÇÃO ENTRE O **FP** E A THD



UTILIDADE DOS INDICADORES

- O indicador essencial é a THD, um valor que reflete o nível de distorção nas ondas de tensão e corrente.
- O espectro dá uma imagem do sinal deformada.

ANÁLISE DE RESULTADOS

O resultado da análise será o seguinte:

- A reclassificação eventual do equipamento já instalado.
- A quantificação da proteção e das soluções de filtragem harmônica que devem ser instaladas.
- A comparação dos valores medidos com os de referência da rede pública.

THD DE TENSÃO (THDu)

A THDu medida fornece informação sobre fenômenos observados em uma instalação:

- Um valor THDu inferior a 5% é considerado normal. Não há risco de mau funcionamento nos equipamentos.
- Um valor THDu entre 5% e 8% indica distorção harmônica significativa. Podem ocorrer funcionamentos anômalos nos equipamentos.
- Um valor THDu superior a 8% revela uma distorção harmônica importante. Os funcionamentos anômalos nos equipamentos são prováveis.

A THD DE CORRENTE (THDi)

Para identificar a carga que causa a distorção, a THD de corrente deve ser medida na entrada e em cada uma das saídas dos diferentes circuitos.

A THDi medida fornece informação sobre fenômenos observados em uma instalação:

- Um valor THDi inferior a 10% considera-se normal. Praticamente não há risco de funcionamento anômalo nos equipamentos.

A THD DE CORRENTE (THDi)

- Um valor THDi compreendido entre 10% e 50% revela uma distorsão harmônica significativa. Existe o risco de que aumente a temperatura; os cabos e as fontes precisam ser superdimensionados.
- Um valor THDi superior a 50% revela uma distorção harmônica importante. O funcionamento anômalo dos equipamentos é provável. Uma análise profunda e um sistema de atenuação são necessários.

OUTROS INDICADORES

- *O fator de potência (FP)* permite avaliar o superdimensionamento que deve ser aplicado à alimentação de uma instalação.
- *O espectro* (decomposição em frequência do sinal) dá uma representação diferente dos sinais elétricos e permite avaliar a distorção.

OUTROS INDICADORES

O fator de crista é utilizado para caracterizar a potência de um gerador a fim de proporcionar intensidades instantâneas de valor elevado. O equipamento informático, por exemplo, absovre intensidades muito distorcidas, onde o fator de crista pode ser 3 ou, inclusive, 5.

