

Eng^o Henrique Jorge de Jesus Ribeiro da Silva
Instituto Superior de Engenharia do Porto

Harmónicos em Instalações Eléctricas. Causas, efeitos e normalização.



1. Análise harmónica

Jean Baptiste Joseph, barão de Fourier, publicou em Paris no ano de 1822 a sua ópera magna “Théorie Analytique de la Chaleur”. Nesta obra Fourier demonstrava que a condução do calor nos corpos sólidos podia ser descrita através de uma série infinita de senos e co-senos. O trabalho estimulou investigações nos mais variados campos da ciência e da técnica, tendo ressaltado que o tipo de formulação matemática empregada por Fourier era um pré-requisito para a solução de fenómenos que exibiam natureza periódica.

O método de exprimir funções periódicas em termos de somas de senos e co-senos recebe o nome de Análise Harmónica.

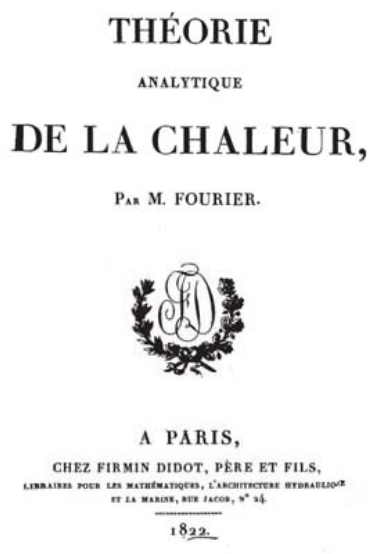


Fig. 1 Frontispício da Théorie Analytique de la Chaleur

O princípio de Fourier é basicamente o seguinte: sendo dado um sinal (função) periódico representá-lo como série de senos e co-senos. Obviamente que se o sinal já for um seno ou co-seno nada mais haverá para dizer (eventualmente, um termo médio não-nulo); mas o nosso intuito é o de extrair informação de onde a haja, i.e., de funções não-sinusoidais. Aos vários termos da série de Fourier, cada um deles de argumento múltiplo inteiro do período da função original, dá-se-lhes o nome de harmónicos, sendo a ordem destes precisamente o valor desse múltiplo.

2. Harmónicos em sistemas eléctricos

Um sistema é dito linear quando é possível descrevê-lo mediante um conjunto de equações diferenciais lineares de coeficientes constantes.

Isso significa que num sistema eléctrico linear, alimentado com tensões sinusoidais, as correntes dos diversos ramos serão igualmente sinusóides da mesma frequência (regime permanente).

Caso tal não suceda, as correntes virão distorcidas e, assim, também as tensões de alimentação se desviarão da forma sinusoidal desejada, uma vez que a rede sempre comportará uma impedância não desprezável.

De um modo geral estes harmónicos serão de ordem superior, múltiplos inteiros da frequência fundamental, mas, devido às características especiais dos sistemas não-lineares, em especial para cargas assimétricas e variáveis no tempo, poderão surgir outros harmónicos não-característicos, inter-harmónicos, sub-harmónicos e mesmo um espectro contínuo.

No início dos anos 70 sobrevieram dois acontecimentos que concorreram para a constante preocupação que desde então o conteúdo harmónico das redes eléctricas tem suscitado entre a comunidade electrotécnica - o embargo petrolífero, que teve como consequência a busca da eficiência energética, e o domínio da técnica de controle de velocidade de motores com dispositivos do estado sólido.

A proliferação de cargas não-lineares, que desde então se tem verificado, tem conduzido ao aumento do conteúdo harmónico existente e consequentemente ao agravamento das perturbações da rede eléctrica.

3. Cargas responsáveis pela geração de harmónicos

Dentre as cargas geradoras de perturbação harmónica contam-se:

1. sistemas de rectificação na indústria, transportes, transporte de energia e equipamento electrodoméstico;
2. compensadores estáticos;
3. fornos a arco de CA e CC;
4. cicloconvertidores;
5. inversores;
6. iluminação com lâmpadas de descarga, por ex. fluorescentes, vapor de sódio, vapor de mercúrio, com halogéneos metálicos, etc;
7. variadores de velocidade em motores de CC e CA;
8. fontes comutadas (switch mode power supplies);
9. fontes ininterruptíveis (uninterruptible power supplies);
10. balastros electrónicos e de núcleo de ferro (saturados);
11. equipamento electrónico de controle de processos, controladores lógicos programáveis (PLCs), etc;
12. computadores pessoais, impressoras, etc;
13. variadores de luminosidade (dimmers);
14. equipamento de aquecimento por indução;
15. equipamento eléctrico de soldadura;
16. funcionamento de transformadores nos limites da saturação;
17. geradores;
18. motores de indução com rotor em gaiola; Etc.

De um modo geral os equipamentos geradores de harmónicos, quando considerados individualmente, provocam distorção em escala reduzida, exceptuando certas grandes cargas não-lineares como fornos a arco, cicloconvertidores, sistemas electrónicos de grande potência com regulação de fase, rectificadores não-controlados com condensadores de filtragem (smoothing): é a extensão do seu número que causa sérios problemas.

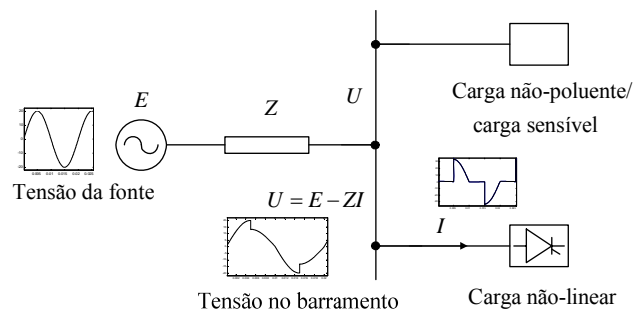


Fig. 2 Acção das cargas poluidoras sobre a qualidade da tensão

De um modo geral os equipamentos geradores de harmónicos, quando considerados individualmente, provocam distorção em escala reduzida, exceptuando certas grandes cargas não-lineares como fornos a arco, cicloconvertidores, sistemas electrónicos de grande potência com regulação de fase, rectificadores não-controlados com condensadores de filtragem (smoothing): é a extensão do seu número que causa sérios problemas.

Estas fontes de distorção, de acordo com o impacto dos seus efeitos, podem ser definidas como fontes identificadas, grandes cargas não-lineares, e fontes não-identificadas, pequenas cargas dispersas mas numerosas.

4. Efeitos dos harmónicos em redes eléctricas

Os efeitos negativos da ocorrência dos harmónicos podem ser integrados em duas categorias:

- Efeitos instantâneos
- Efeitos de longa duração

4.1. Efeitos instantâneos

Estes efeitos estão associados a falhas, mau funcionamento ou degradação do desempenho dos equipamentos ou dispositivos devido à perda de sincronismo por alteração da passagem por zero da onda de tensão. Os aparelhos de regulação, equipamento electrónico e computadores são-lhes particularmente sensíveis.

Elevadas amplitudes dos harmónicos com frequências próximas da frequência de controle podem perturbar o funcionamento de relés detectores de picos usados em grandes redes de energia para controle centralizado.

4.2. Efeitos de longa duração

Estes efeitos são sobretudo de natureza térmica e estão ligados, pelas perdas adicionais e sobreaquecimento, ao envelhecimento prematuro e mesmo avaria de condensadores, máquinas rotativas e transformadores.

Sir William Thomson, Lorde Kelvin, dizia que se começava a saber alguma coisa de um assunto quando se era capaz de descrevê-lo através de números. Observação muito judiciosa pois que sabendo-se dos problemas causados pelos harmónicos a sua quantificação encontra-se longe de estar feita. Daí que, para certos equipamentos, apenas se poderá dar uma informação qualitativa.

Assim:

1. Variadores de velocidade

Estes equipamentos são sempre geradores de harmónicos mas igualmente sujeitos aos seus efeitos: múltipla detecção de cruzamento por zero, elevados valores de dv/dt , etc.

2. Condensadores

Estes aparelhos não são geradores de harmónicos mas podem constituir malhas para circuitos de ressonância o que pode ser um problema grave para a integridade da rede. A sua inserção deve pois merecer atenção e estudo cuidados. Os condensadores por possuírem impedância inversamente proporcional à frequência são amplificadores de distorção

harmónica de corrente. Os harmónicos provocam aumento da dissipação térmica e podem levar à deterioração do dieléctrico. De um modo geral, os condensadores estão habilitados para suportar sobretensões de exploração de longa duração de 10%, sobretensões de curta duração de 20% e sobreintensidades devidas aos harmónicos de 30%. As normas internacionais da CEI/IEC e da ANSI/IEEE especificam as características destes dispositivos, medidas de instalação, filtragem anti-ressonante e outras acções a tomar para o seu uso correcto.

3. Disjuntores e fusíveis

Os harmónicos podem prejudicar a capacidade de interrupção para o caso dos disjuntores mercê de elevados di/dt no cruzamento por zero. A produção suplementar de calor nos solenoides dos relés magnéticos em disjuntores magnetotérmicos, devida às frequências elevadas, podem reduzir até 20% o limiar de disparo destes aparelhos. Relativamente aos fusíveis, pela razão térmica do seu princípio de funcionamento, parecem não ser afectados pela distorção harmónica.

4. Condutores

Os harmónicos de corrente provocam sobreaquecimento além do esperado pelo valor eficaz da corrente essencialmente por duas ordens de razão: uma devido ao efeito pelicular e ao efeito de proximidade, por um lado e, por outro, em redes com neutro distribuído a produção de harmónicos múltiplos de três, por se encontrarem em fase - são de sequência homopolar (sequência zero), somam-se em vez de se anularem dando origem a correntes elevadas no condutor neutro. Valores estes que podem atingir até 1,7 vezes, mesmo mais, dependendo do valor dos harmónicos, a corrente eficaz das fases. Geralmente estas instalações têm o neutro reduzido o que implica uma dupla preocupação: o sobreaquecimento do condutor e a elevada queda de tensão nele produzida, questão preocupante se o sistema de protecção de pessoas escolhido for o TN-C, terra pelo neutro, condutores neutro e protecção comuns. Nesta situação, o sistema TN-C é altamente desaconselhável. A duplicação da sua secção relativamente à das fases,

pressupondo o mesmo modo de instalação, é uma medida para obstar o problema do aquecimento excessivo

5. Equipamentos e instrumentos electrónicos

A detecção múltipla de passagem por zero, para sistemas que usam a passagem por zero como medida do tempo, pode provocar funcionamento desajustado dos sistemas. Em particular, todos os dispositivos que sincronizam com a passagem por zero são considerados vulneráveis à distorção harmónica. Semicondutores comutados à passagem por zero da tensão, para reduzir a interferência electromagnética, são também sensíveis à múltipla detecção e sujeitos a mau funcionamento. Equipamento electrónico, como fontes de tensão, que usam o pico da tensão de entrada para carregar condensadores e estabilizar o seu valor de saída, dependendo do conteúdo harmónico da mesma, podem encontrar-se a operar acima ou abaixo do valor de entrada embora possa manter-se o valor eficaz nominal da tensão na mesma. Certos fabricantes especificam valores máximos para o factor de crista (entendido como o quociente entre o valor de pico do sinal e o seu valor eficaz, o que para sinusóides vale $\sqrt{2}$) de, por exemplo, $\sqrt{2} \pm 0,1$.

Outro problema é a quebra de tensão (*voltage notch*) produzida pela comutação de semicondutores em conversores (quebra de comutação). Estas quedas são expressas através da taxa dv/dt . Podem produzir mau funcionamento dos equipamentos e se cruzarem o zero interferem com os sistemas de detecção de zero como explicado antes. Harmónicos fraccionários, isto é, harmónicos cuja ordem não é um número inteiro, e sub-harmónicos podem afectar televisores e monitores de vídeo. Tão-somente 0,5% de um harmónico fraccionário, amplitude referida à fundamental, produz modulação de amplitude do sinal fundamental responsável pelo alargamento e contracção periódicos da imagem num TRC (tubo de raios catódicos).

6. Iluminação

Redução da vida útil das lâmpadas incandescentes uma vez que são sensíveis à sobretensão aplicada. Estudos referem que uma sobretensão, devida a harmónicos, de valor eficaz 5%

continuamente aplicada reduz o tempo médio de vida das lâmpadas de 47%. Relativamente às lâmpadas de descarga referem-se o ruído audível e possíveis ressonâncias envolvendo as lâmpadas, balastos e condensadores usados na rectificação do factor de potência.

7. Aparelhagem de medida e contadores

Amperímetros e voltímetros que baseiam o seu funcionamento nos valores eficazes das grandezas a medir são relativamente imunes à distorção da forma de onda dos sinais. Pelo contrário, os medidores sensíveis ao valor médio absoluto ou ao valor de pico e calibrados para indicar valores eficazes não devem ser empregados na presença de distorção harmónica. Erros podem atingir valores de 13% e mais. Os contadores de energia de indução, os mais frequentes, sob condições de tensão e corrente distorcidas podem apresentar erros de até -20%, subcontagem, e com tensão sinusoidal e corrente distorcida de até +5%, sobrecontagem. Este tipo de contadores não são apropriados para instalações com forte distorção de tensão e corrente devido quer aos erros de contagem quer às possíveis ressonâncias mecânicas na gama dos 400 a 1000 Hz. Os contadores electrónicos têm normalmente desempenho excelente em redes poluídas.

8. Relés de protecção

As distorções nas formas de onda afectam o desempenho dos relés, podem causar mau funcionamento ou impedi-los de funcionar quando devido. Variando o ângulo de fase entre as componentes fundamental e harmónicas da tensão ou corrente pode significativamente alterar a característica de resposta dos relés.

9. Máquinas rotativas

Os harmónicos aplicados a máquinas rotativas podem causar aquecimento, vibrações, binários pulsantes ou ruído. O sobreaquecimento rotórico é o principal problema associado à distorção da tensão. As perdas nas máquinas eléctricas dependem do espectro da tensão de alimentação. As perdas no núcleo podem tornar-se significativas para motores de indução alimentados por inversores que produzem

harmónicos de frequências elevadas. O aumento da temperatura de funcionamento dos motores reduzirá o tempo de vida médio dos mesmos. Neste âmbito, os motores monofásicos são os mais afectados. A interacção entre o fluxo principal do entreferro, maioritariamente de componente fundamental, com os fluxos produzidos pelas correntes harmónicas darão lugar ao aparecimento de binários pulsantes. No caso de motores com controle de velocidade deverá ser feita uma análise de possíveis ocorrências de fenómenos de ressonância mecânica, no sentido de precaver avarias, por efeito de amplificação dos binários pulsantes. Os harmónicos também contribuem para a geração de ruído audível.

10. Telecomunicações

A proximidade de linhas de energia e de telecomunicações cria condições para interferências com estes sistemas, interferências motivadas pela irradiação de campos electromagnéticos gerados pelos harmónicos das redes de potência. A frequência fundamental, para redes telefónicas, normalmente não é causadora de problemas, como resultado da resposta em frequência do ouvido humano. A indução pelos harmónicos de ruído nos canais de dados pode adulterar a informação transmitida. Existem vários mecanismos pelos quais se pode gerar acoplamento entre as redes de energia e de telecomunicações. Medidas para atenuar os seus efeitos consistem na transposição das linhas de energia (para redes aéreas), escolha de cabos com blindagens electromagnéticas, de pares trançados, realização de terras adequadas para os sistemas de energia, evitando assim a propagação de potenciais, e, naturalmente, a utilização de filtros adequados.

11. Transformadores

O primeiro efeito dos harmónicos nos transformadores é o aquecimento adicional gerado por efeito das correntes de Foucault induzidas no núcleo destas máquinas. Outros problemas incluem eventual ressonância entre a indutância do transformador e capacidades do sistema, tensões mecânicas nos isolamento dos enrolamentos e do núcleo por efeito das variações de temperatura e eventuais pequenas vibrações do núcleo laminado. O sobreaquecimento causado pela presença dos harmónicos, correntes de remoinho ou de Foucault, sendo proporcionais ao quadrado da frequência, obrigam à redução da potência estipulada (potência nominal) dos transformadores. A norma IEEE/ANSI Standard C57.110, "IEEE Recommended Practice for Establishing Transformer Capability when Supplying Nonsinusoidal Load Currents", estipula como máxima distorção à plena carga o valor de 5%. Contempla ainda formas para determinar o abaixamento da potência por efeito da presença dos harmónicos. Para tal é definido um factor K dependendo da ordem do harmónico e do valor da corrente harmónica. As normas contemplam ainda a máxima sobretensão (valor eficaz) permitida sendo de 5% à plena carga e de 10% para funcionamento em vazio (de referir que as correntes de Foucault são proporcionais ao quadrado da indução máxima e, como tal, proporcionais ao quadrado do valor máximo da tensão aplicada). Por outro lado para transformadores com secundários ligados em triângulo, as correntes de frequência múltipla de três, por serem de natureza homopolar, podendo circular nestes enrolamentos, não se transmitem para o primário o que pode dar indicação errónea da carga do transformador para medições efectuadas nos condutores destes enrolamentos.



5. Características das grandezas não-sinusoidais

De acordo com a decomposição de Fourier qualquer grandeza periódica não-sinusoidal pode ser representada por uma série infinita de termos composta de:

1. uma sinusóide de frequência fundamental
2. sinusóides cujas frequências são múltiplas da frequência fundamental - harmónicos
3. eventualmente de um termo constante - componente contínua

A expressão que discrimina a série de Fourier de uma grandeza $y(t)$ vem dada por:

$$y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} Y_n \text{sen}(n\omega t - \varphi_n) \quad \text{eq. 1}$$

em que:

Y_0 - é o valor da componente contínua, normalmente nula

Y_n - o valor eficaz do harmónico de ordem n

ω - a velocidade angular da frequência fundamental

φ_n - o esfasamento inicial do harmónico de ordem n

5.1 Valor eficaz de uma grandeza não-sinusoidal

O valor eficaz (valor médio quadrático) de uma grandeza de forma de onda qualquer é obtido a partir da expressão geral de definição

$$Y_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2(t) dt} \quad \text{eq. 2}$$

Em função dos valores eficazes dos harmónicos, a expressão virá dada por:

$$Y_{ef} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} Y_n^2} \quad \text{eq. 3}$$

5.2 Taxa de distorção

De acordo com a definição da CEI, a taxa total de harmónicos, ou factor de distorção, representa a razão entre o valor eficaz dos harmónicos, $n \geq 2$, e o valor eficaz da grandeza alternada.

$$THD\% = 100 \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} Y_n^2}}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} Y_n^2}} \quad \text{eq. 4}$$

ou como

$$THD\% = 100 \frac{\sqrt{Y^2 - Y_1^2}}{Y} \quad \text{eq. 5}$$

A CIGRÉ, por outro lado, define a taxa global de distorção como sendo:

$$D\% = 100 \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} Y_n^2}}{Y_1} \quad \text{eq. 6}$$

5.3 Taxa individual harmónica

Este parâmetro representa a razão entre o valor eficaz de um harmónico de ordem n e o valor eficaz da grandeza alternada, segundo a CEI

$$Hn\% = 100 \frac{Y_n}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} Y_n^2}} \quad \text{eq. 7}$$

ou entre o valor eficaz do termo fundamental, segundo a CIGRÉ

$$Hn\% = 100 \frac{Y_n}{Y_1} \quad \text{eq. 8}$$

6. Recomendações e normalização

Os problemas potenciais levantados pela existência de harmónicos nas redes eléctricas levaram as organizações de normalização a estudar meios de prover especificações que servissem os utilizadores e engenheiros aquando da instalação de equipamentos de conversão, rectificação e outros em redes que continham condensadores.

No âmbito da Comunidade Europeia, no sentido da harmonização da legislação, sem a qual ficaria afectada a livre troca de bens e serviços, várias directivas foram publicadas tendentes a eliminar as diferenças na legislação desses Estados.

Uma dessas directivas é a nº 85/374 sobre responsabilidade por produtos defeituosos.

O seu Artº 2º define electricidade como produto e como tal tornou-se necessário definir as suas características. Daqui resultou a norma europeia NE/EN 50 160 - Características da Tensão Fornecida pelas Redes Públicas de Distribuição.

A EN 50 160 CÉNÉLEC (NP EN 50 160) - define, no ponto de fornecimento ao consumidor, as características principais da tensão para as redes públicas de abastecimento de energia

em Baixa Tensão e Média Tensão tais como:

- frequência
- amplitude
- forma de onda
- cavas de tensão
- sobretensões
- tensões harmónicas
- tensões inter-harmónicas
- simetria das tensões trifásicas
- transmissão de sinais de informação pelas redes de energia

O âmbito desta norma não é a compatibilidade electromagnética mas sim a definição de um produto - as características da tensão, especificando os seus valores máximos ou variações que, sob condições normais de exploração, os consumidores esperarão encontrar em qualquer ponto da rede.

Para as redes de Baixa Tensão, relativamente às tensões harmónicas, nas condições normais de exploração, durante cada período de uma semana, 95% dos valores eficazes de cada tensão harmónica, valores médios em cada 10 minutos, não devem ultrapassar os valores indicados na tabela abaixo.

Harmónicos ímpares				Harmónicos pares	
Não múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Ordem n	Tensão relativa %	Ordem n	Tensão relativa %	Ordem n	Tensão relativa %
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,5	6 - 24	0,5
13	3,0	21	0,5		
17	2,0				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Nota: Os valores correspondentes aos harmónicos de ordem superior a 25 por serem geralmente fracos e muito imprevisíveis pelo facto dos efeitos da ressonância, não são indicados nesta tabela

Tab. 1 Valores das tensões harmónicas nos pontos de fornecimento até à ordem 25 expressas em percentagem da tensão nominal U_N

Além disso, a taxa total de distorção harmónica da tensão fornecida (até à ordem 40) não deverá ultrapassar 8%.

O limite à ordem 40 considerado na norma é convencional.

Para as redes de Média Tensão aplica-se a mesma tabela, com os valores relativos referidos à tensão nominal UC e com a observação de que o valor do harmónico de ordem 3, dependendo da concepção da rede, pode ser muito mais baixo. Tensões mais elevadas para uma dada ordem poderão dever-se a efeitos de ressonância.

De igual modo, a taxa total de distorção harmónica, até à ordem 40, está limitada a 8%.

A CEI/IEC 61 000 – a série 61 000 de normas CEI diz respeito à compatibilidade electromagnética e compreende as seguintes partes:

1. Generalidades. Considerações gerais, definições, terminologia, etc: 61000-1-x
2. Ambiente. Descrição do ambiente. Características do ambiente onde vai ser instalado o equipamento. Níveis de compatibilidade: 61 000-2-x
3. Limites. Limites de emissão definindo os níveis de perturbação permitidos pelos equipamentos ligados à rede de energia eléctrica. Limites de imunidade: 61000-3-x
4. Ensaio e medidas. Técnicas de medida e técnicas de ensaio de modo a assegurar a conformidade com as outras partes da norma: 61000-4-x
5. Guias de instalação e de atenuação. Provê guias na aplicação de equipamento tal como filtros, equipamento de compensação, descarregadores de sobretensões, etc., para resolver problemas de qualidade da energia: 61000-5-x
6. Normas gerais e de produto. Definem os níveis de imunidade requeridos pelo equipamento em geral ou para tipos específicos de equipamento: 61000-6-x

Os níveis de compatibilidade electromagnética são definidos como segue de acordo o vocabulário electrotécnico

internacional CEI/IEC 60050(161) VEI, quando aplicável:

- Nível de Emissão - máximo nível permitido para um consumidor de uma rede pública ou para um aparelho (equipamento)
- Nível de Compatibilidade - nível máximo especificado de perturbação que se pode esperar num dado ambiente
- Nível de Imunidade - nível de perturbação suportado por um aparelho ou sistema
- Nível de Susceptibilidade - nível a partir do qual um aparelho ou sistema começa a funcionar deficientemente.

Nível de perturbação (não definido no VEI)



Fig. 3 Os vários níveis de perturbação para compatibilidade cargas não-lineares/equipamento sensível

A norma CEI 61000-2-2 define os níveis de compatibilidade para as tensões harmónicas em BT de acordo com a tabela 2.

Por sua vez a norma CEI 61000-2-4 estabelece os níveis de compatibilidade para redes industriais. Em termos dos ambientes electromagnéticos possíveis são definidas três classes com exigências de compatibilidade diferentes.

Classe 1

Aplica-se a redes protegidas e tem níveis de compatibilidade mais baixos que os das redes públicas. Diz respeito à utilização de aparelhos muito sensíveis às perturbações da rede eléctrica, por ex. instrumentação de laboratórios tecnológicos, certos equipamentos de automatização e de protecção, certos computadores, etc.

Classe 2

Esta classe aplica-se aos PAC, ponto de acoplamento comum

(à rede pública), VEI 161-07-15, e aos pontos de ligação interna no ambiente industrial em geral. Os níveis de compatibilidade desta classe são idênticos aos das redes públicas, pelo que os equipamentos destinados à utilização nestas redes podem ser usados nesta classe de ambiente industrial.

Classe 3

Esta classe aplica-se somente aos pontos de ligação interna dos ambientes industriais. Os níveis de compatibilidade são superiores aos da classe 2 para certas perturbações. Por ex., esta classe deve ser considerada quando uma das seguintes condições é satisfeita:

- a maior parte das cargas são alimentadas através de conversores
- existem máquinas de soldar
- frequentes arranques de motores de grande potência
- as cargas variam rapidamente

Harmónicos ímpares não múltiplos de 3		Harmónicos ímpares múltiplos de 3		Harmónicos pares	
Ordem do harmónico n	Tensão harmónica %	Ordem do harmónico n	Tensão harmónica %	Ordem do harmónico n	Tensão harmónica %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,3	6	0,5
13	3	21	0,2	8	0,5
17	2	>21	0,2	10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			>12	0,2
25	1,5				
>25	$0,2 + 0,5 \times 25/n$				

Tab. 2 Níveis de compatibilidade para as tensões harmónicas individuais em redes públicas de BT

	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Distorção harmónica total	5%	8%	10%

Tab. 3 Níveis de compatibilidade para harmónicos

Ordem n	Classe 1 Tensão harmónica %	Classe 2 Tensão harmónica %	Classe 3 Tensão harmónica %
5	3	6	8
7	3	5	7
11	3	3,5	5
13	3	3	4,5
17	2	2	4
19	1,5	1,5	4
23	1,5	1,5	3,5
25	1,5	1,5	3,5
>25	$0,2 + 12,5/n$	$0,2 + 12,5/n$	5x

Tab. 4 Componentes da tensão harmónica, ímpares, não múltiplos de três

Ordem n	Classe 1 Tensão harmónica %	Classe 2 Tensão harmónica %	Classe 3 Tensão harmónica %
3	3	5	6
9	1,5	1,5	2,5
15	0,3	0,3	2
21	0,2	0,2	1,75
>21	0,2	0,2	1

Tab. 5 Componentes da tensão harmónica, ímpares, múltiplos de três

Ordem n	Classe 1 Tensão harmónica %	Classe 2 Tensão harmónica %	Classe 3 Tensão harmónica %
2	2	2	3
4	1	1	1,5
6	0,5	0,5	1
8	0,5	0,5	1
10	0,5	0,5	1
>10	0,2	0,2	1

Tab. 6 Componentes da tensão harmónica, ordem par

Ordem n	Classe 1 Tensão inter-harmónica %	Classe 2 Tensão inter-harmónica %	Classe 3 Tensão inter-harmónica %
<11	0,2	0,2	2,5
11 a 13 inclusive	0,2	0,2	2,25
13 a 17 inclusive	0,2	0,2	2
17 a 19 inclusive	0,2	0,2	2
19 a 23 inclusive	0,2	0,2	1,75
23 a 25 inclusive	0,2	0,2	1,5
> 25	0,2	0,2	1

Tab. 7 Componentes da tensão inter-harmónica

7. Observações finais

Como se pode verificar pela análise dos valores das tensões harmónicas dados pelas tabelas, os limites máximos individuais e taxa total de distorção impostos pela norma europeia NE/EN 50 160 coincidem com os valores das normas CEI/IEC 61000-2-2 e 61000-2-4, classe 2 de ambientes industriais.

De modo a assegurar que estes níveis de distorção não sejam atingidos, têm de ser fixados limites para as perturbações

emitidas (níveis de emissão) pelos aparelhos e equipamentos considerados quer individualmente quer como conjunto de cargas ligadas à rede no ponto de acoplamento comum.

Assim a norma CEI/IEC 61000-3-2 especifica os limites para as emissões de corrente harmónica para aparelhos com corrente estipulada (corrente nominal) por fase até 16A e a norma 61000-3-4 fixa os limites para emissão de correntes harmónicas para aparelhos com corrente estipulada (corrente nominal) por fase superior a 16A, em baixa tensão.



FORMAÇÃO TET/BT

Destinatários: Electricistas de Redes BT, com 6.º ano escolaridade completo e idade superior a 18 anos

Horário: Laboral

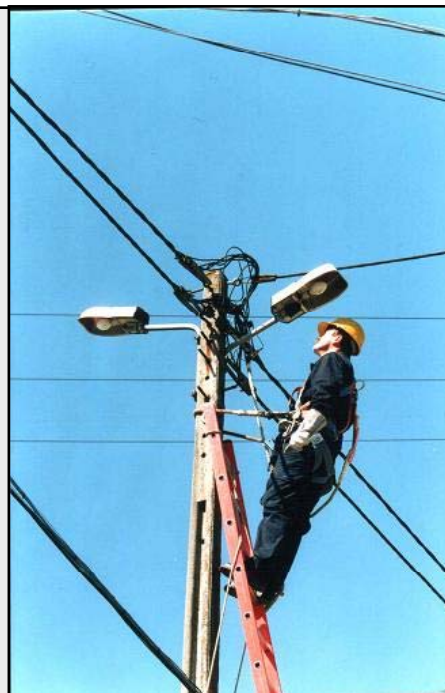
Duração: 90 horas

Programa: Redes Eléctricas—18h
Regulamentação TET/BT—12h
Socorrismo—3h
Trabalhos Práticos—57h

Os trabalhos práticos são desenvolvidos em parque de treinos

Possibilidade de Estágio em empresas do sector eléctrico

Para mais informações contacte-nos através do email:
geral@inovus.com.pt



www.inovus.com.pt

