

Qualidade de Energia

O Impacto dos Problemas de Qualidade de Energia em Instalações Eléctricas

- O Caso Particular das Perturbações Harmónicas

Não Copiar



Paulo J. F. Correia
Mestrado em Engenharia
Electrotécnica e de Computadores

Qualidade da Energia Eléctrica (QEE)?

- Continuidade de serviço – Fornecimento sem interrupções;
- Qualidade da onda de tensão;
- Qualidade comercial – Satisfação do cliente com as condições comerciais do fornecimento de EE.

QEE – Porquê dar tanta importância?

- Grande concorrência a nível mundial;
- Grande sensibilidade dos equipamentos;
- Margens de lucro marginais em alguns sectores de actividade;
- Grande proliferação de cargas não lineares nos últimos anos.

QEE ...

É um factor crucial para a competitividade das economias dos países.

QEE – Tipo de Perturbações Eléctricas

- Desequilíbrios de tensão ou corrente em sistemas trifásicos;
- Perturbações na forma de onda do sinal
- Perturbações na frequência do sinal;
- Perturbações na amplitude da tensão;

QEE – Tipo de Perturbações Eléctricas

PERTURBAÇÕES NAS FORMAS DE ONDAS

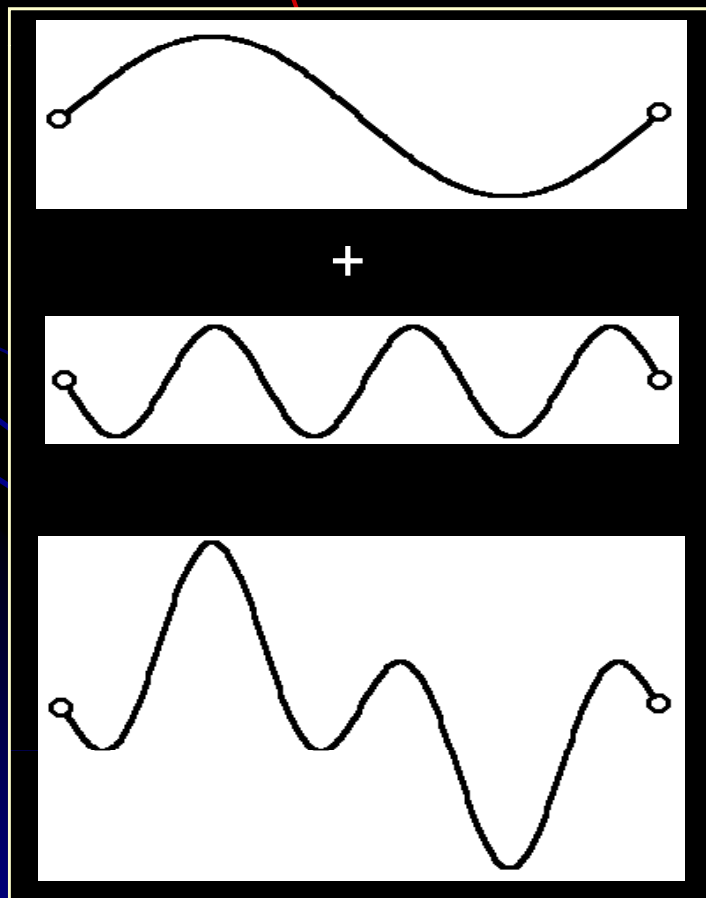
Devido á crescente utilização de equipamentos electrónicos alimentados pela rede eléctrica, tais como:

- Computadores;
- Balastros electrónicos para lâmpadas de descarga;
- Variadores electrónicos de velocidade;
- ...

Embora estes simplifiquem a execução de tarefas, e aumentem a produtividade, criam deformações nas formas de onda da tensão e da corrente (harmónicas).

QEE – Perturbações Harmônicas

Uma harmónica de tensão ou corrente, não é mais que um sinal sinusoidal, cuja frequência é múltipla inteira da frequência fundamental do sinal principal.



**Fundamental
(50 Hz)**

**3º harmónico
(150 Hz)**

**Forma de Onda
distorcida**

ORDEM, FREQUÊNCIA E SEQUÊNCIA DAS HARMÔNICAS

<u>Nome</u> (Ordem)	Fund	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
<u>Freq. (Hz)</u>	50	100	150	200	250	300	350	400	450
<u>Sequência</u>	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Diapositivo 7

p7

As harmónicas de ordem impar são frequentes nas instalações eléctricas em geral e as de ordem par existem nos casos de haver assimetrias do sinal devido à presença da componente contínua.

paulocorreia; 24-12-2006

QEE – Perturbações Harmônicas

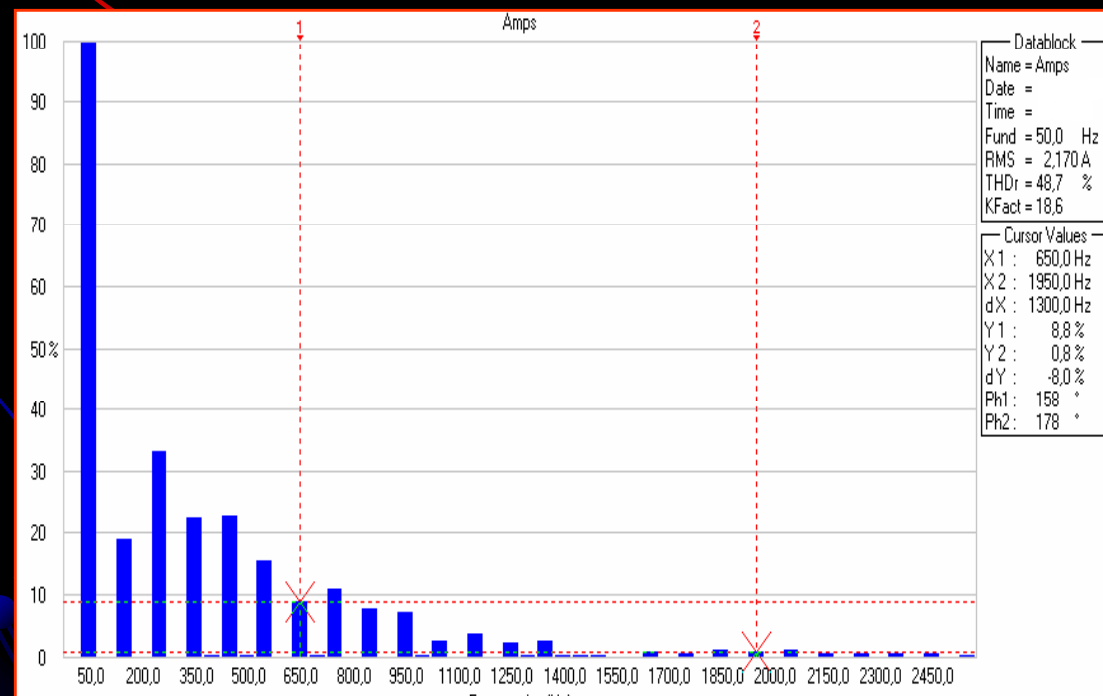
SEQUÊNCIA - EFEITO DAS HARMÔNICAS

Sequência	Efeitos
<u>Positiva</u>	Sobreaquecimentos
<u>Negativa</u>	Sobreaquecimentos e menor rendimento
<u>Nula</u>	Somam-se no condutor de neutro

QEE – Perturbações Harmónicas

ESPECTRO HARMÓNICO

O “espectro harmónico” não é mais que a decomposição de um sinal nas suas componentes harmónicas e a sua representação na forma de um gráfico de barras, no domínio da frequência.



QEE – Perturbações Harmônicas

TAXA DE DISTORÇÃO HARMÓNICA

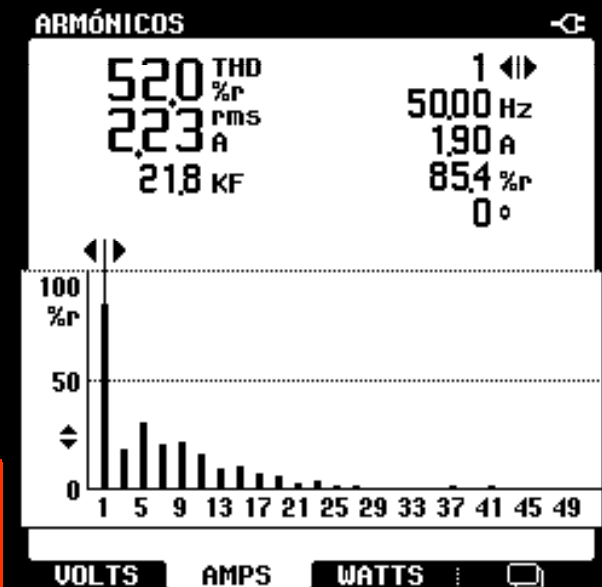
A THD é definida em consequência da necessidade de se determinar numericamente as harmónicas presentes num dado ponto da instalação.

$$THD(\%) = 100 \times \frac{\sqrt{I_{2(RMS)}^2 + I_{3(RMS)}^2 + \dots + I_{n(RMS)}^2}}{I_{total(RMS)}}$$

Em que:

$I_{total(RMS)}$ – Valor eficaz da soma de todas as correntes incluindo a fundamental;

I_n – Corrente harmónica de ordem n.



QEE – Perturbações Harmónicas

FACTOR DE POTÊNCIA E $\cos\phi$

$$PF = \frac{\text{Potência Activa (kW)}}{\text{Potência Aparente (kVA)}} \quad \text{INCLUÍNDO HARMÓNICAS}$$

→ Relação entre a potência activa e a potência aparente consumidas por um ou mais dispositivos/equipamentos de uma instalação eléctrica, independentemente das formas que as ondas de tensão e corrente apresentem.

$$\cos\phi = \frac{\text{Potência Activa (kW)}_{\text{hn}}}{\text{Potência Aparente (kVA)}_{\text{hn}}}$$

→ Relação entre a potência activa e a potência aparente definido para cada uma das componentes harmónicas:

QEE – Perturbações Harmónicas

FACTOR DE POTÊNCIA E $\cos\phi$

- Sem a presença de harmónicas (Sinais sinusoidais sem deformação):

$$\text{Factor de potência} = \cos\phi$$

- Na presença de harmónicas quanto maior a diferença entre o Factor de potência e o $\cos\phi$, maior será a distorção harmónica da instalação.

QEE – Perturbações Harmônicas

TIPO DE CARGAS

- Cargas lineares;

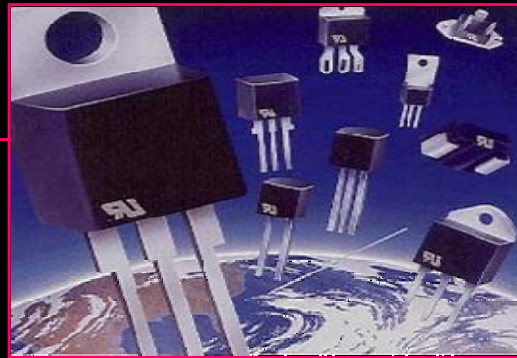


Resistências, indutâncias, condensadores, motores, onde as suas formas de onda de tensão e corrente são sempre sinusoidais (não deformadas), quando alimentadas por um sinal também ele sinusoidal.

QEE – Perturbações Harmónicas

TIPO DE CARGAS

- Cargas não lineares;



A electrónica de potência está nos dias de hoje integrada em quase todos os equipamentos domésticos e industriais.

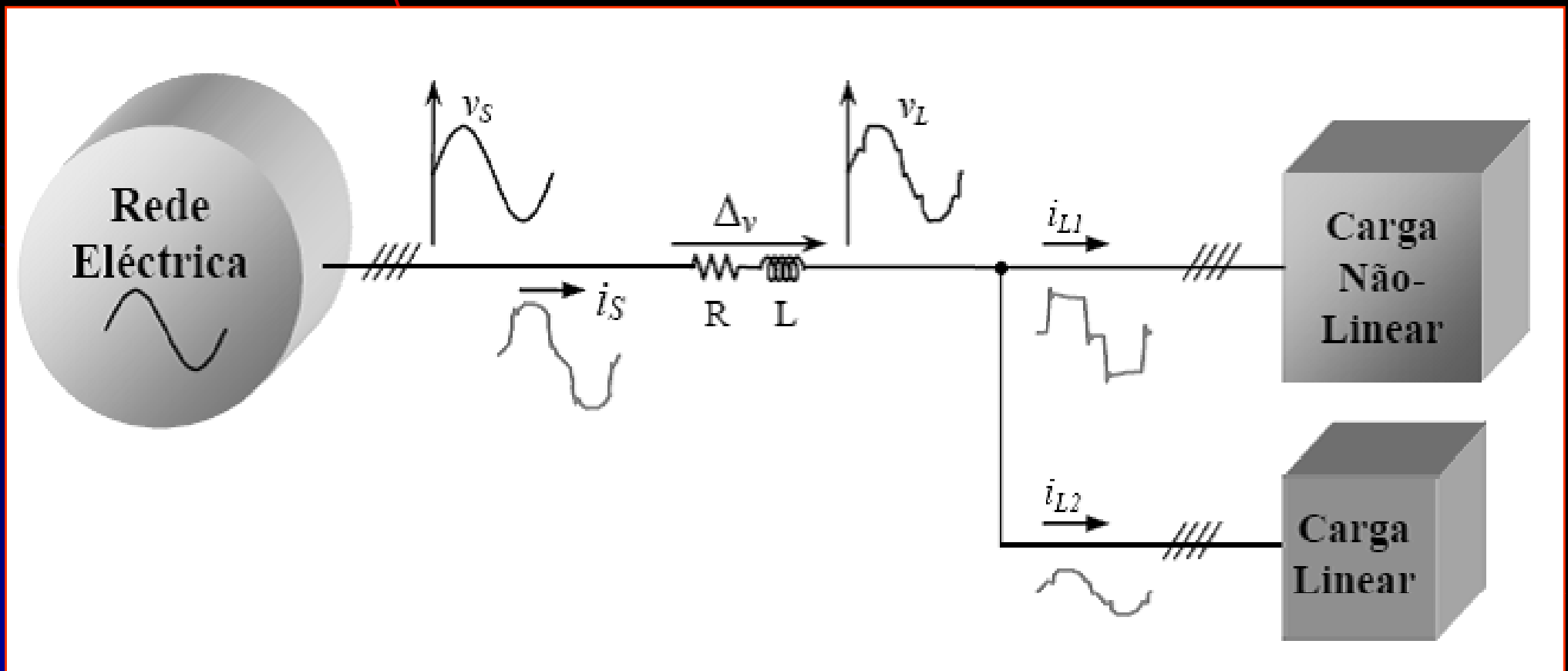
Os dispositivos de electrónica de potência têm dois modos de funcionamento:

- Condução
- Bloqueio

QEE – Perturbações Harmónicas

TIPO DE CARGAS

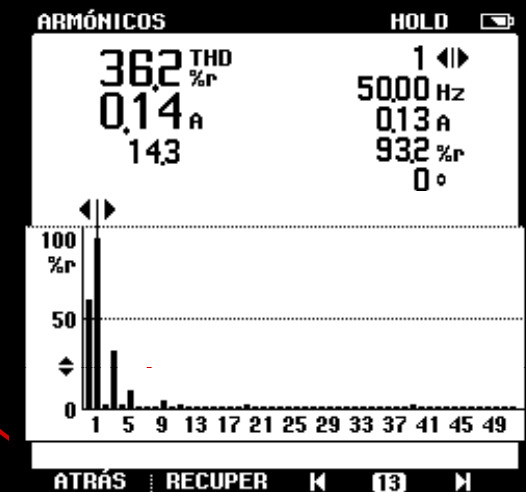
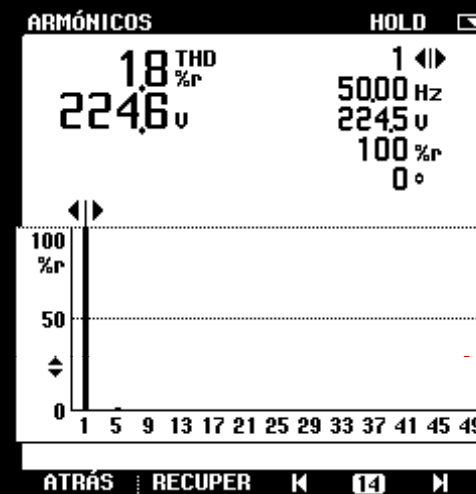
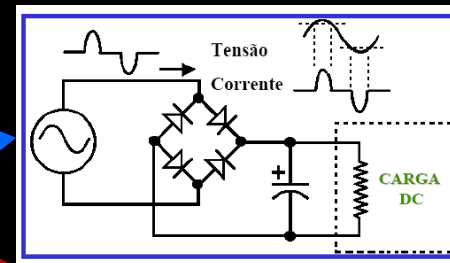
- Cargas não lineares (continuação);



QEE – Perturbações Harmónicas

TIPO DE CARGAS

- Cargas não lineares (continuação);
 - Rectificador com ponte de Graetz;

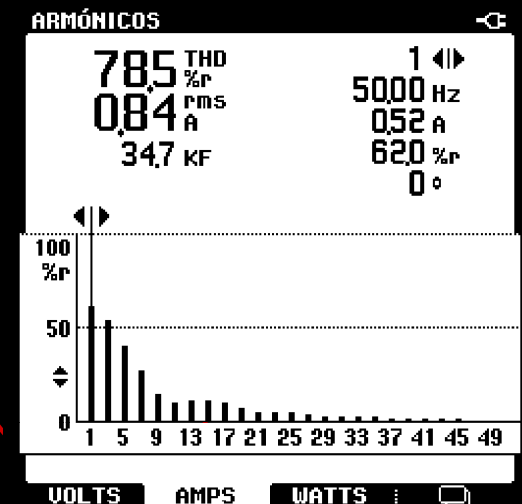
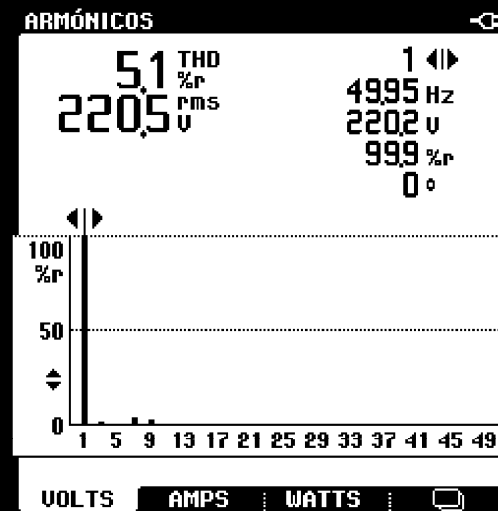


QEE – Perturbações Harmónicas

TIPO DE CARGAS

- Cargas não lineares (continuação);

- Computador;

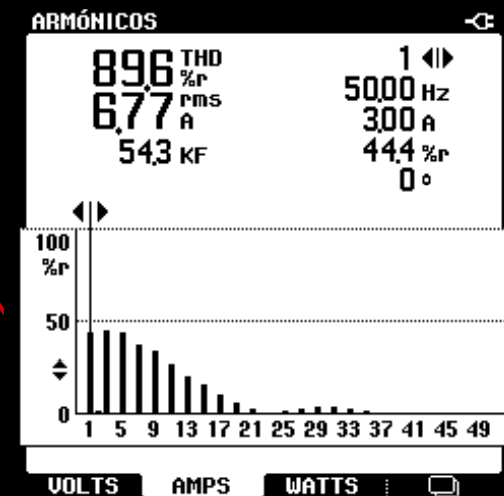
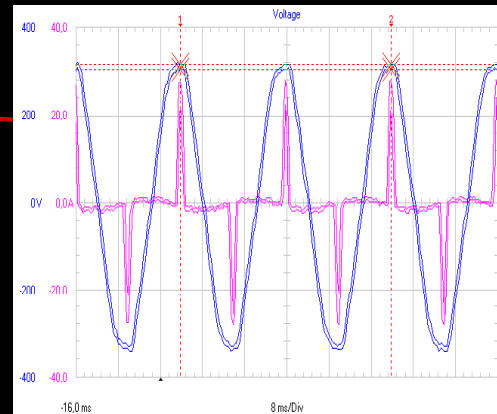


QEE – Perturbações Harmónicas

TIPO DE CARGAS

- Cargas não lineares (continuação);

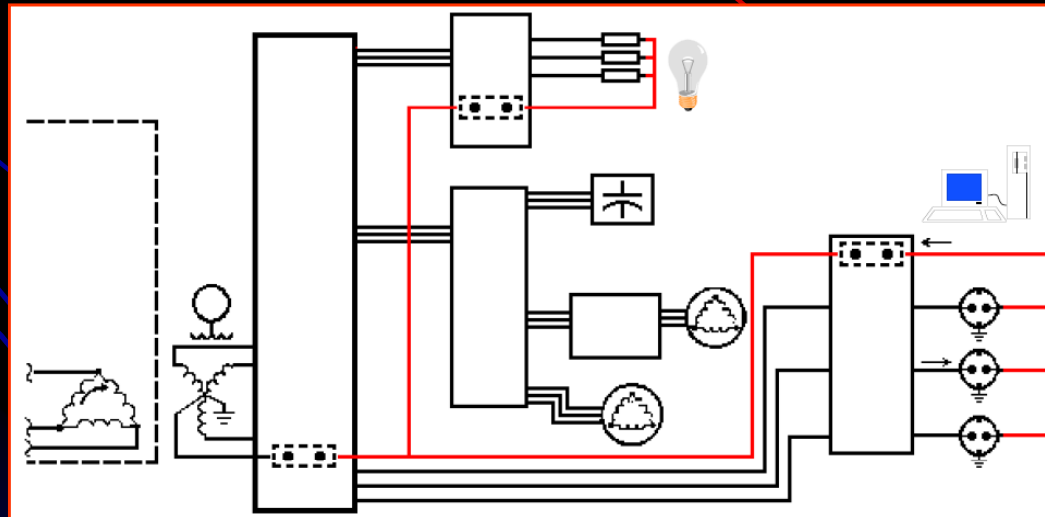
- VEV (Variador Electrónico de Velocidade);



EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS DAS HARMÔNICAS

A poluição harmónica provoca efeitos indesejáveis quer ao nível das redes de distribuição de energia eléctrica, quer ao nível do funcionamento de instalações e equipamentos a ela ligados.

1. AQUECIMENTOS EXCESSIVOS

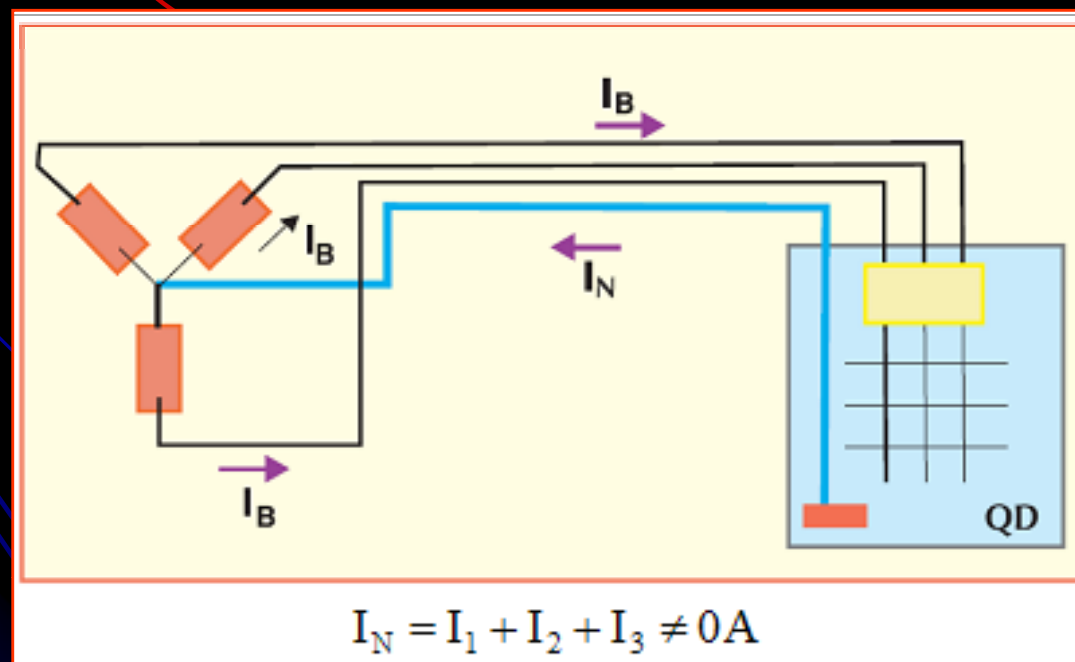


Sobre-aquecimento dos Condutores de Neutro

QEE – Perturbações Harmônicas

EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS DAS HARMÔNICAS

Na presença de harmônicas homopolares (3ª ordem e suas múltiplas), a corrente que passa no condutor neutro, mediante certas condições (em fase nas três fases R,S,T), poderá ser muito elevada.



Diapositivo 20

p1

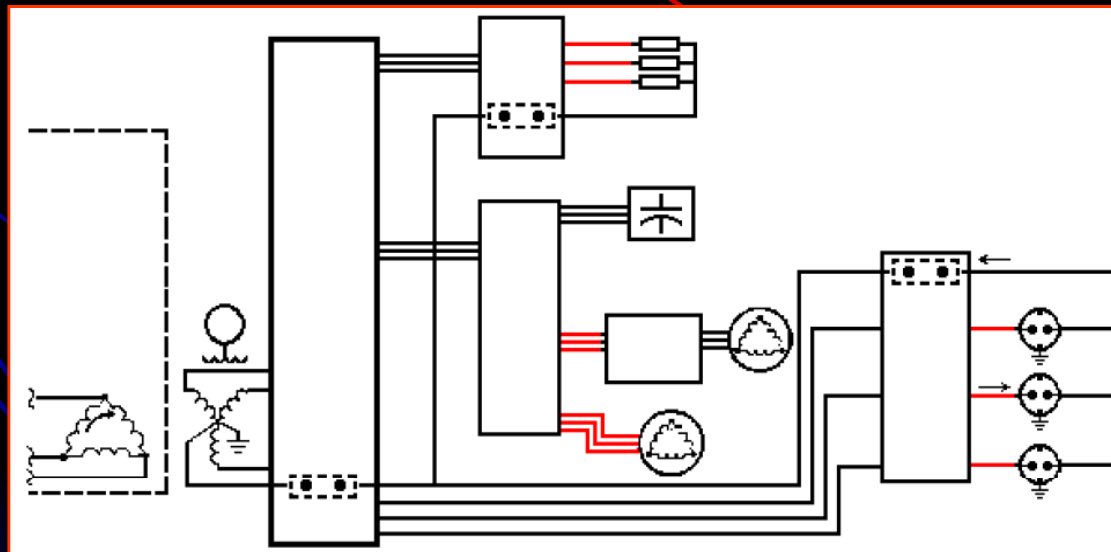
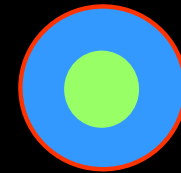
Em sistemas TN o problema pode levar à circulação em regime permanente de correntes elevadas nos condutores de protecção, destruindo as equipotencialidades e provocando aquecimentos não esperados

paulocorreia; 24-12-2006

EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS DAS HARMÔNICAS

À medida que a frequência do sinal de corrente aumenta, devido às harmónicas, ela tende a circular pela periferia do condutor.

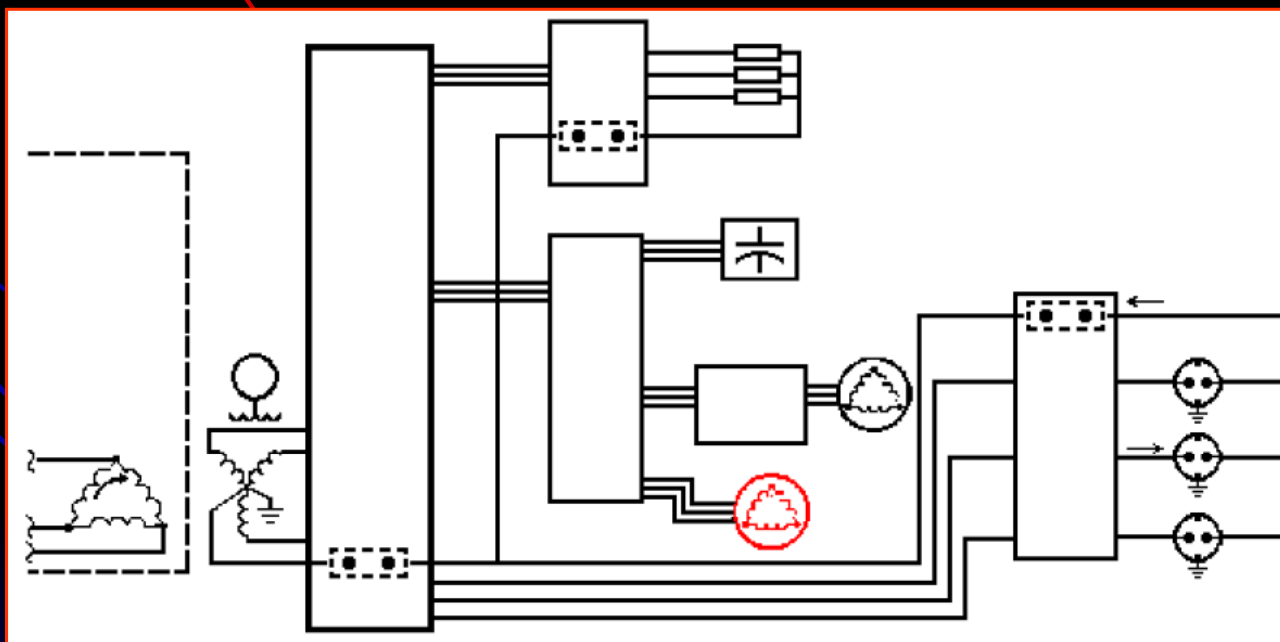
- Aumento da sua resistência eléctrica;
- Aumento das perdas por efeito Joule.



Sobre-aquecimentos nos condutores por correntes de alta-frequência

EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS DAS HARMÔNICAS

Devido às alta-frequências e às correntes parasitas vão surgir nos transformadores e motores sobreaquecimentos nos enrolamentos e no núcleo.



Sobre-aquecimento dos enrolamentos devido às altas-frequências/correntes parasitas

Diapositivo 22

p16

as harmônicas de seqüência positiva tenderiam a fazer o motor girar no mesmo sentido que o da componente fundamental, provocando, assim, uma sobrecorrente nos seus enrolamentos, que provocaria um aumento de temperatura, reduzindo a vida útil e permitindo a ocorrência de danos ao motor.

paulocorreia; 26-12-2006

p17

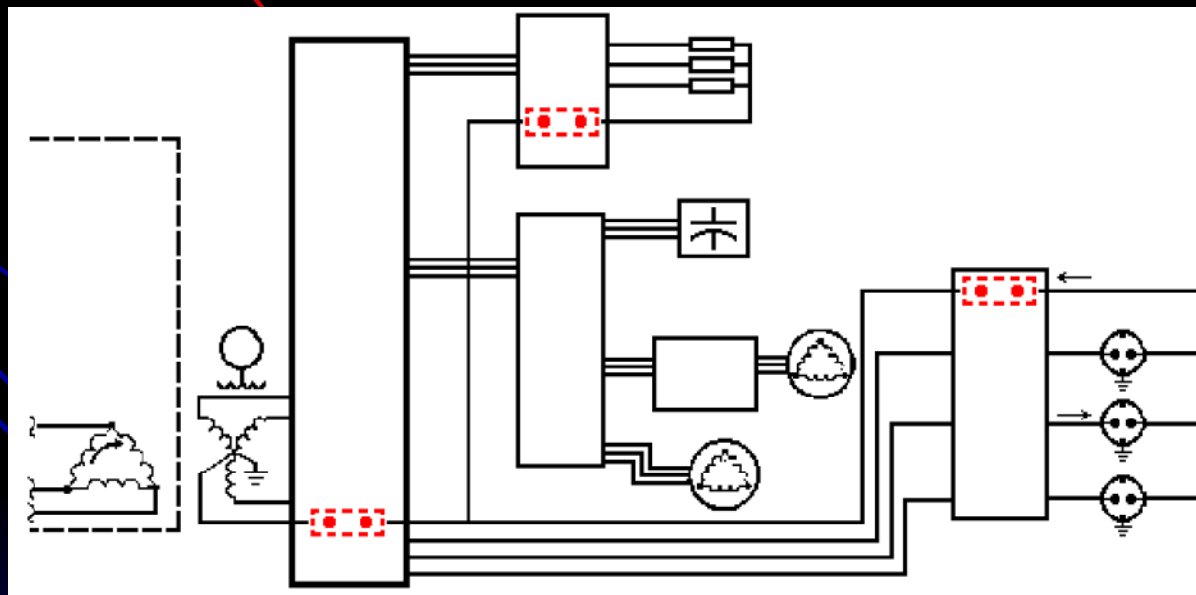
As harmônicas de seqüência negativa fariam o motor girar em sentido contrário ao giro produzido pela fundamental, freando assim o motor e também causando aquecimento indesejado

paulocorreia; 26-12-2006

EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS DAS HARMÔNICAS

2. DISPAROS DE DISPOSITIVOS DE PROTECÇÃO

As correntes harmónicas provocam um aquecimento ou um campo magnético mais elevado do que aquele que haveria sem a sua presença.



Disparos intempestivos dos disjuntores

Diapositivo 23

p8

paulocorreia 24-12-2006

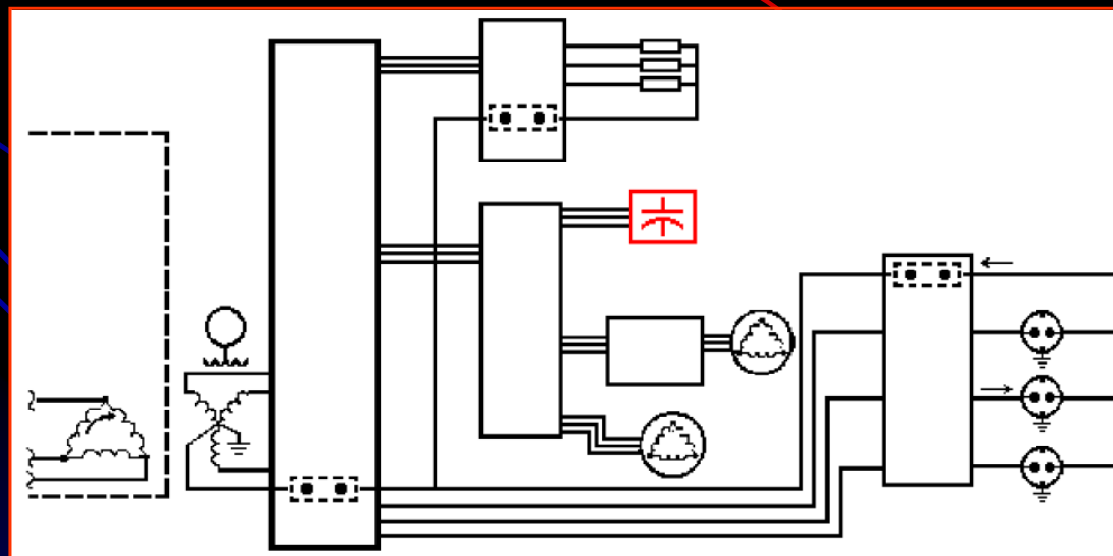
Devido à elevada taxa de distorção harmónica presente na corrente, o seu corte torna-se mais difícil. Isto deve-se ao facto das componentes de alta-frequência terem uma variação mais rápida na passagem por zero da corrente dificultando assim o seu corte. Por outro lado, devido aos elevados valores de pico (embora com valores eficazes pequenos), pode fazer com que alguns dispositivos de protecção termomagnéticos e diferenciais disparem, mesmo se não que exista qualquer defeito. Isso ocorre, pois tal como relatado anteriormente, as correntes harmónicas provocam um aquecimento ou um campo magnético mais elevado do que aquele que haveria sem a sua presença.

paulocorreia; 25-12-2006

EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS DAS HARMÔNICAS

3. RESSONÂNCIA

Na instalação de um banco de condensadores poderá formar-se um circuito ressonante com a impedância da rede.

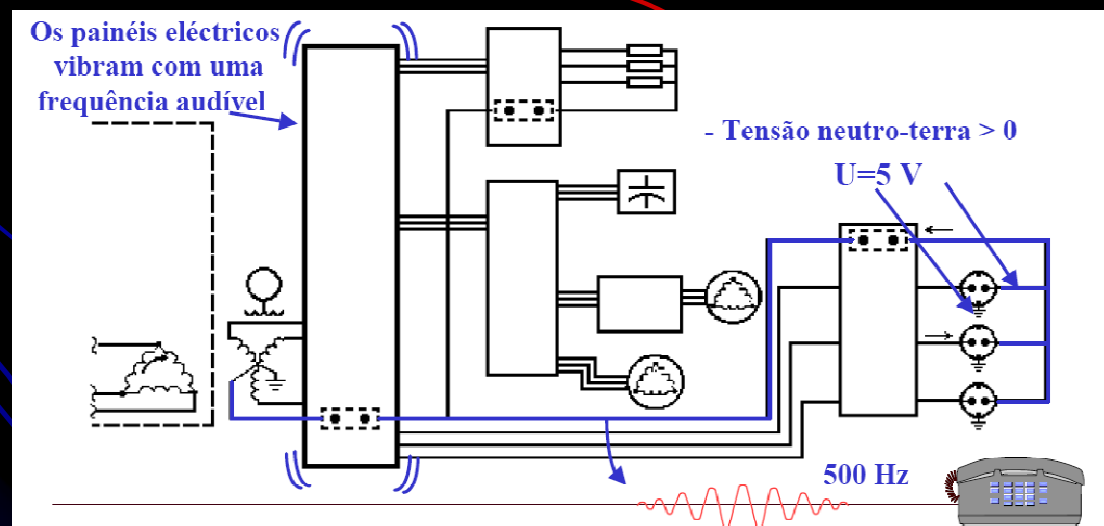


Circuitos Ressonantes (LC)

EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS DAS HARMÔNICAS

4. VIBRAÇÕES E ACOPLAMENTOS

Com as altas frequências das harmónicas poderão acontecer interferências electromagnéticas que provocam vibrações (binários pulsantes) no veio dos alternadores/motores , em quadros eléctricos, em transformadores e em acoplamentos em redes de comunicações.



EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS DAS HARMÓNICAS

5. AUMENTO DA QUEDA DE TENSÃO E REDUÇÃO DO FACTOR DE POTÊNCIA

Na presença de harmónicas numa instalação o factor de potência baixa.

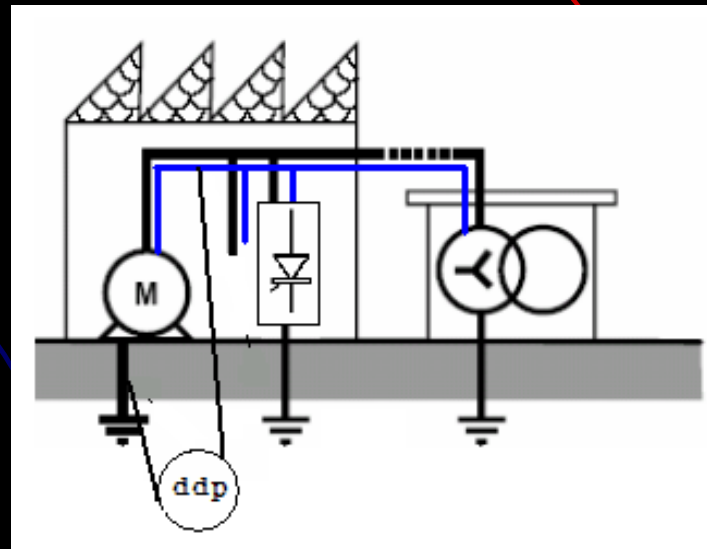
- Aumento das perdas na instalação e rede eléctrica;
- Diminuição do seu rendimento;
- Aumento das quedas de tensão na rede.

EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS DAS HARMÔNICAS

6. TENSÃO ELEVADA ENTRE NEUTRO E TERRA

Com correntes elevadas no neutro, surge uma d.d.p. entre o neutro e o condutor de terra, uma vez que o cabo tem uma certa impedância.

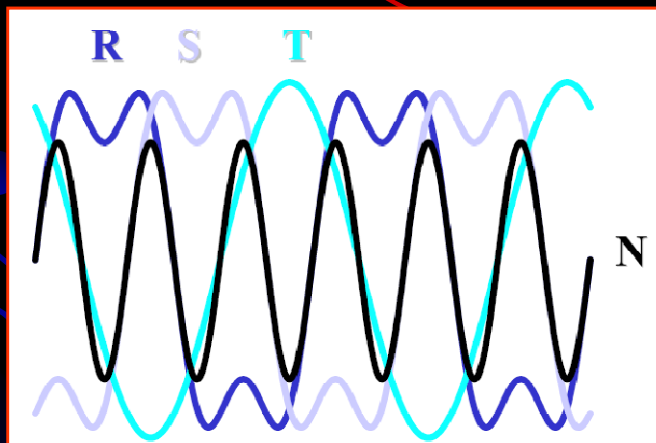
→ Provoca maus funcionamentos em equipamentos.



QEE – Perturbações Harmónicas

COMO LIDAR COM A PRESENÇA DAS HARMÓNICAS

1. Dimensionamento dos condutores de fase e neutro na presença de harmónicos (Harmónicas Homopolares)

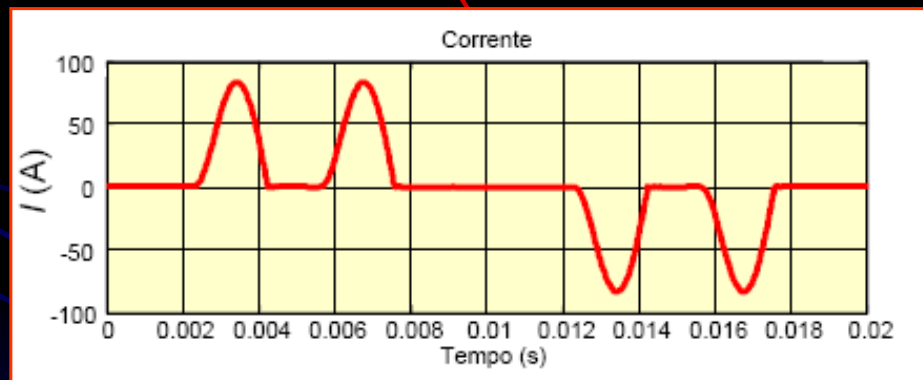


Secção do Neutro
=
Secção das Fases

QEE – Perturbações Harmónicas

COMO LIDAR COM A PRESENÇA DAS HARMÓNICAS

2. Dimensionamento de transformadores

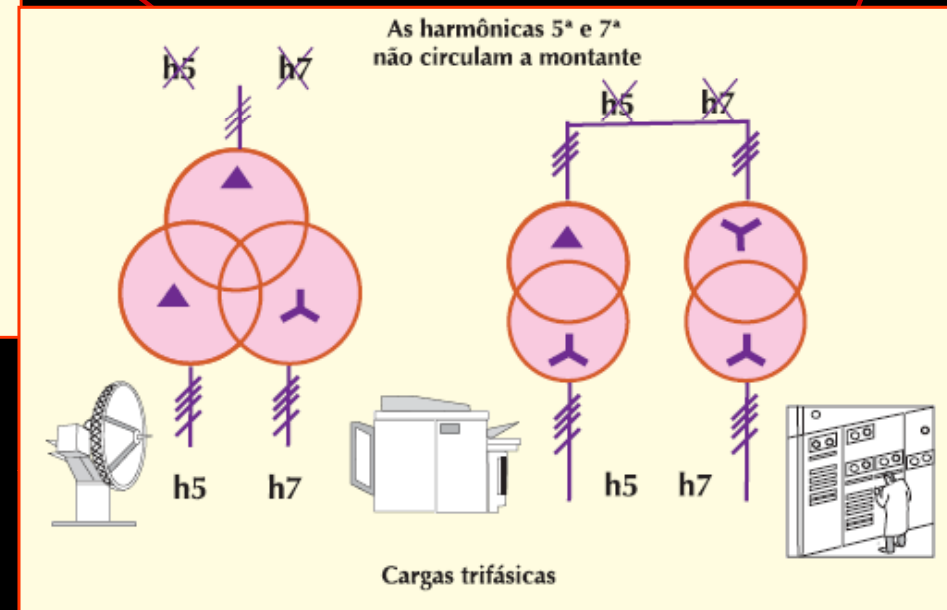
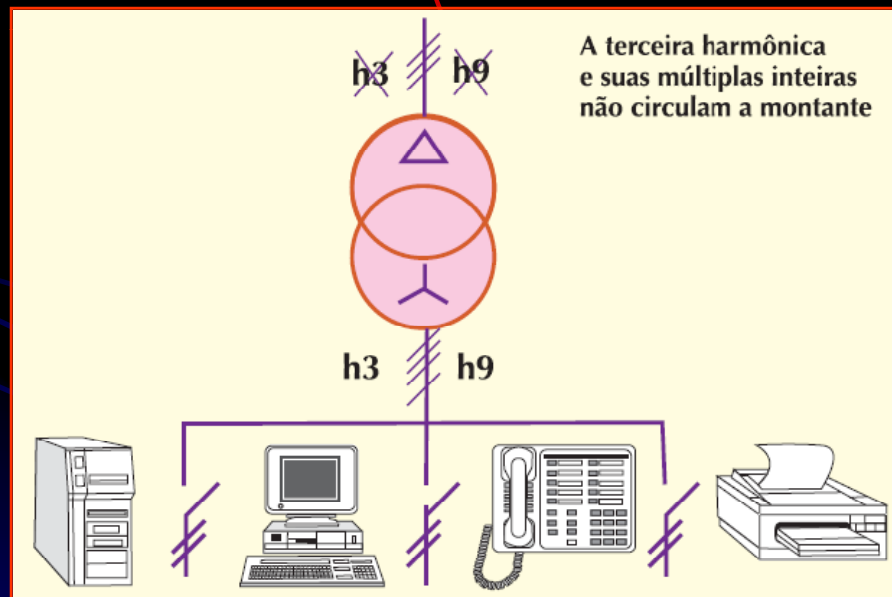


Desclassificação do Transformador

$$\downarrow S_{\max} = \frac{S_{\text{nom}}}{K} \uparrow$$

COMO LIDAR COM A PRESENÇA DAS HARMÔNICAS \$

2. Dimensionamento de transformadores (Continuação)



Diapositivo 30

p10

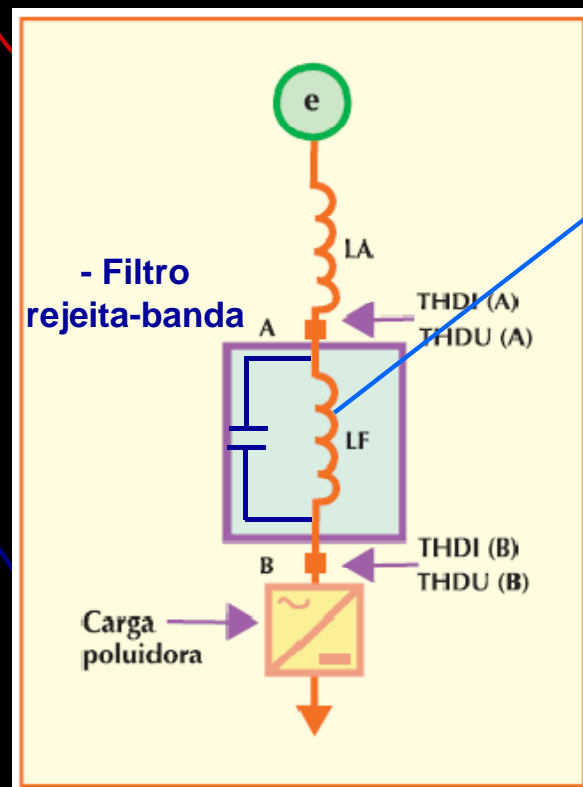
Em ambientes industriais com grandes cargas trifásicas, recomenda-se para a mitigação das harmónicas (sobretudo das de 5ª e 7ª ordem), o emprego de um transformador com duplo secundário, onde se realiza um desfasamento angular de 30° entre os enrolamentos ou na utilização de dois transformadores com diferentes ligações (de forma a se obter o referido desfasamento de 30° entre as tensões). Com o desfasamento de 30° , as harmónicas ficam em oposição de fase entre os dois enrolamentos do secundário (assumindo que existem cargas trifásicas em ambos os enrolamentos), anulando-se desta forma.

paulocorreia; 25-12-2006

COMO LIDAR COM A PRESENÇA DAS HARMÓNICAS

3. Filtros de harmónicos

3.1 Filtro passivo série - Utilização de uma indutância/condensador:



$$\text{Factor de Atenuação} = \frac{LS}{(LS + LF)}$$

Desvantagens:

- Peso da bobina;
- Ocupa muito espaço;
- Introduz uma queda de tensão na linha.

Diapositivo 31

p18

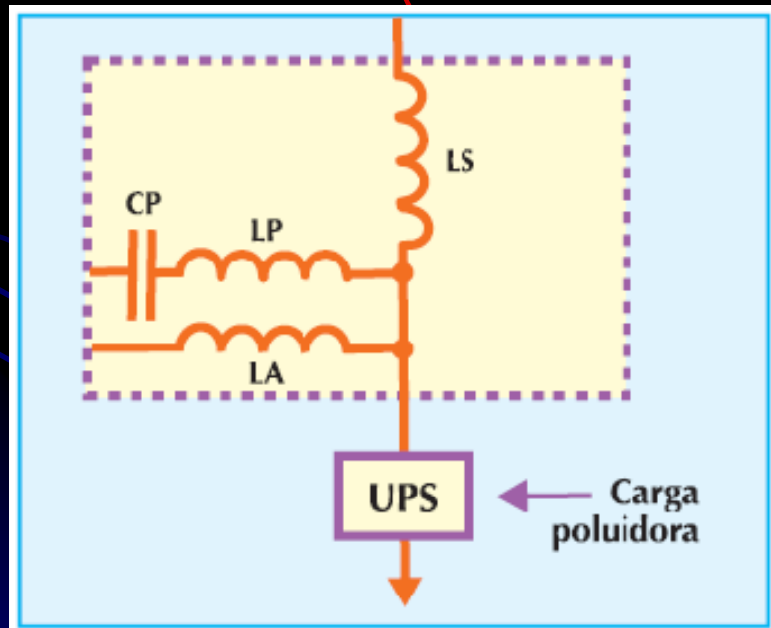
Em paralelo com a indutância LF, poderá colocar-se um condensador, constituindo assim um filtro rejeita-banda.
paulocorreia; 25-12-2006

COMO LIDAR COM A PRESENÇA DAS HARMÓNICAS

3. Filtros de harmónicos (Continuação)

p14

3.1 Filtro passivo LC (paralelo)



Proporciona um caminho alternativo para a circulação das correntes harmónicas.

Diapositivo 32

p14

Estes filtros são simples, têm um bom desempenho e ainda fazem o aumento do factor de potência da instalação, por intermédio do condensador (CP).
paulocorreia; 25-12-2006

QEE – Perturbações Harmónicas

COMO LIDAR COM A PRESENÇA DAS HARMÓNICAS

3. Filtros de harmónicos (Continuação)

3.1 Filtros passivos

Desvantagens:

- Apenas eliminam/reduzem as harmónicas para qual foram concebidos, não permitindo desta forma a alteração da carga, uma vez que alteraria o espectro harmónico a filtrar.

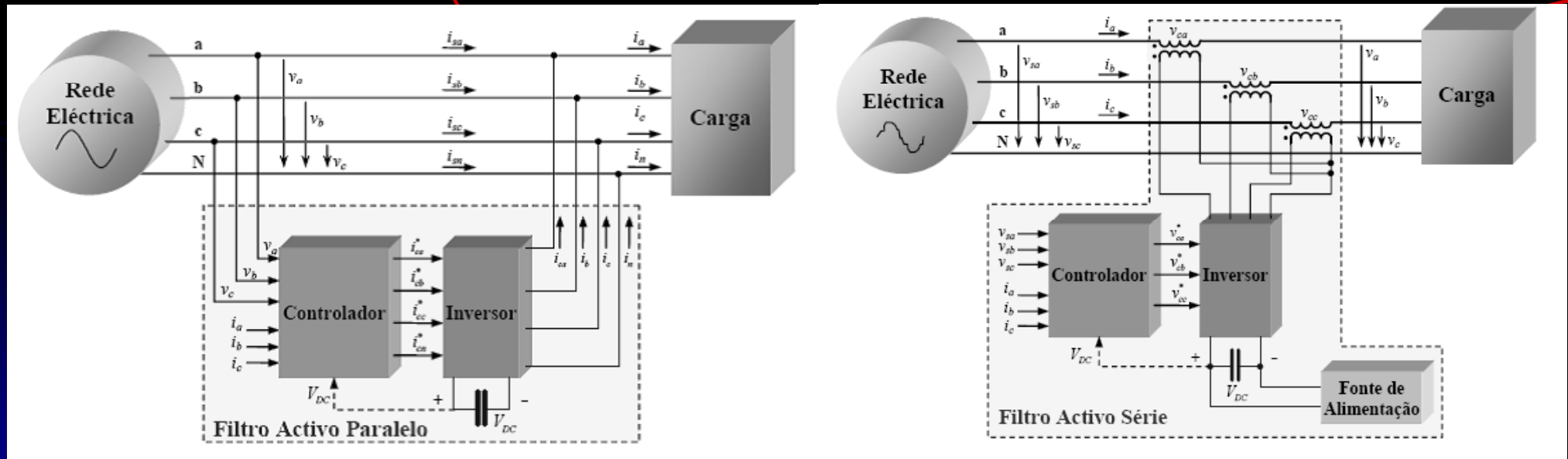
Podem ocorrer situações de ressonância entre o filtro passivo e as outras cargas ligadas à instalação

QEE – Perturbações Harmónicas

COMO LIDAR COM A PRESENÇA DAS HARMÓNICAS

3. Filtros de harmónicos (Continuação)

3.1 Filtros activos (Paralelo e Série)



QEE – Perturbações Harmónicas

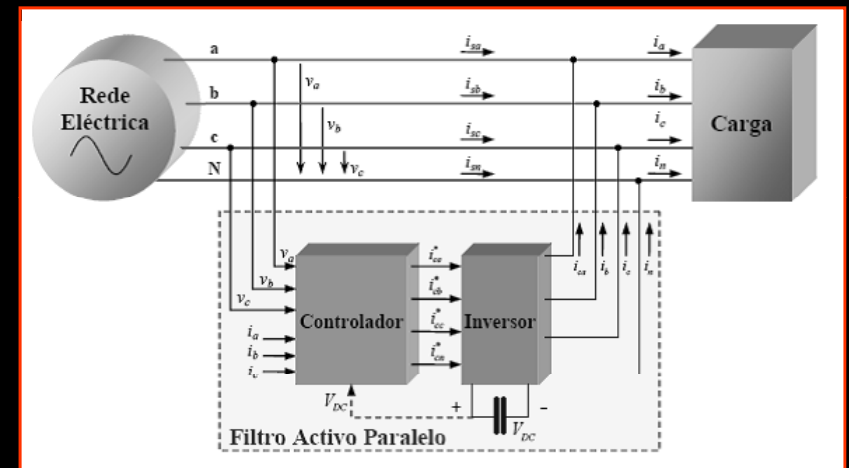
COMO LIDAR COM A PRESENÇA DAS HARMÓNICAS

3. Filtros de harmónicos (Continuação)

3.1 Filtros activos (Paralelo)

Função:

- Compensar os harmónicos das correntes nas cargas;
- Compensar a potência reactiva;
- Equilibrar as correntes nas três fases, eliminando a corrente no neutro.



QEE – Perturbações Harmónicas

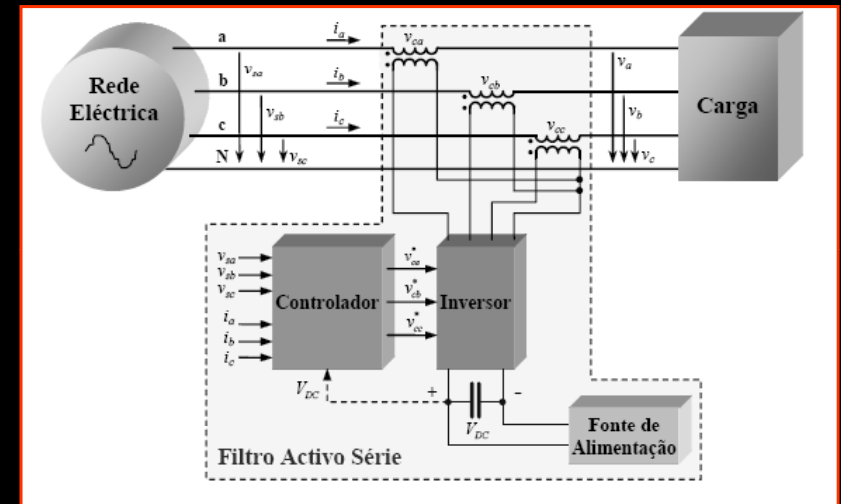
COMO LIDAR COM A PRESENÇA DAS HARMÓNICAS

3. Filtros de harmónicos (Continuação)

3.1 Filtros activos (Série)

Função:

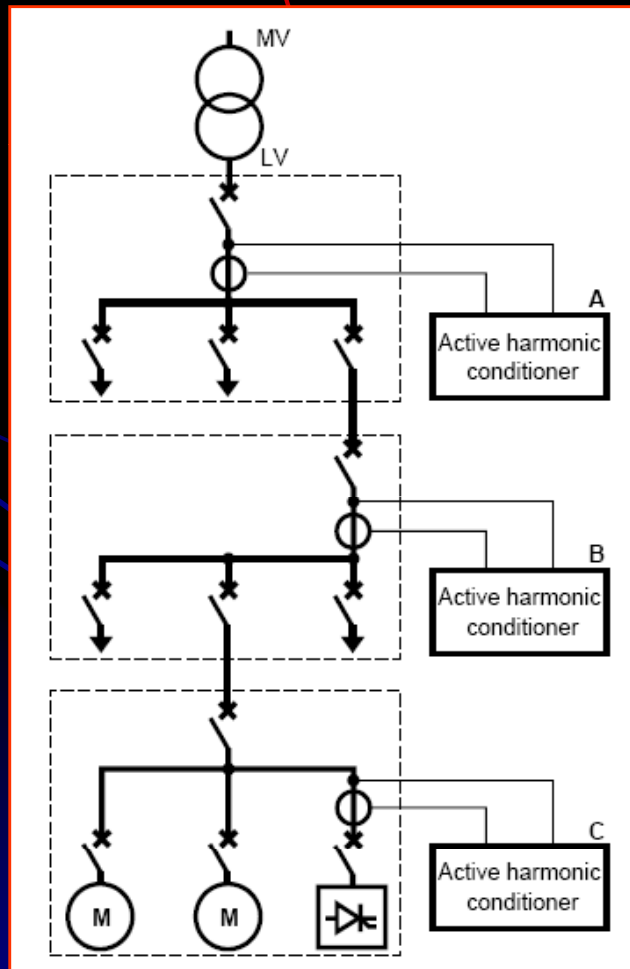
- Compensar as tensões da rede eléctrica quando estas têm presentes harmónicas (causadas por cargas vizinhas, por exemplo);
- Reduzir as harmónicas causadas dentro da própria instalação;
- Compensar sobretensões, subtensões ou mesmo interrupções momentâneas.



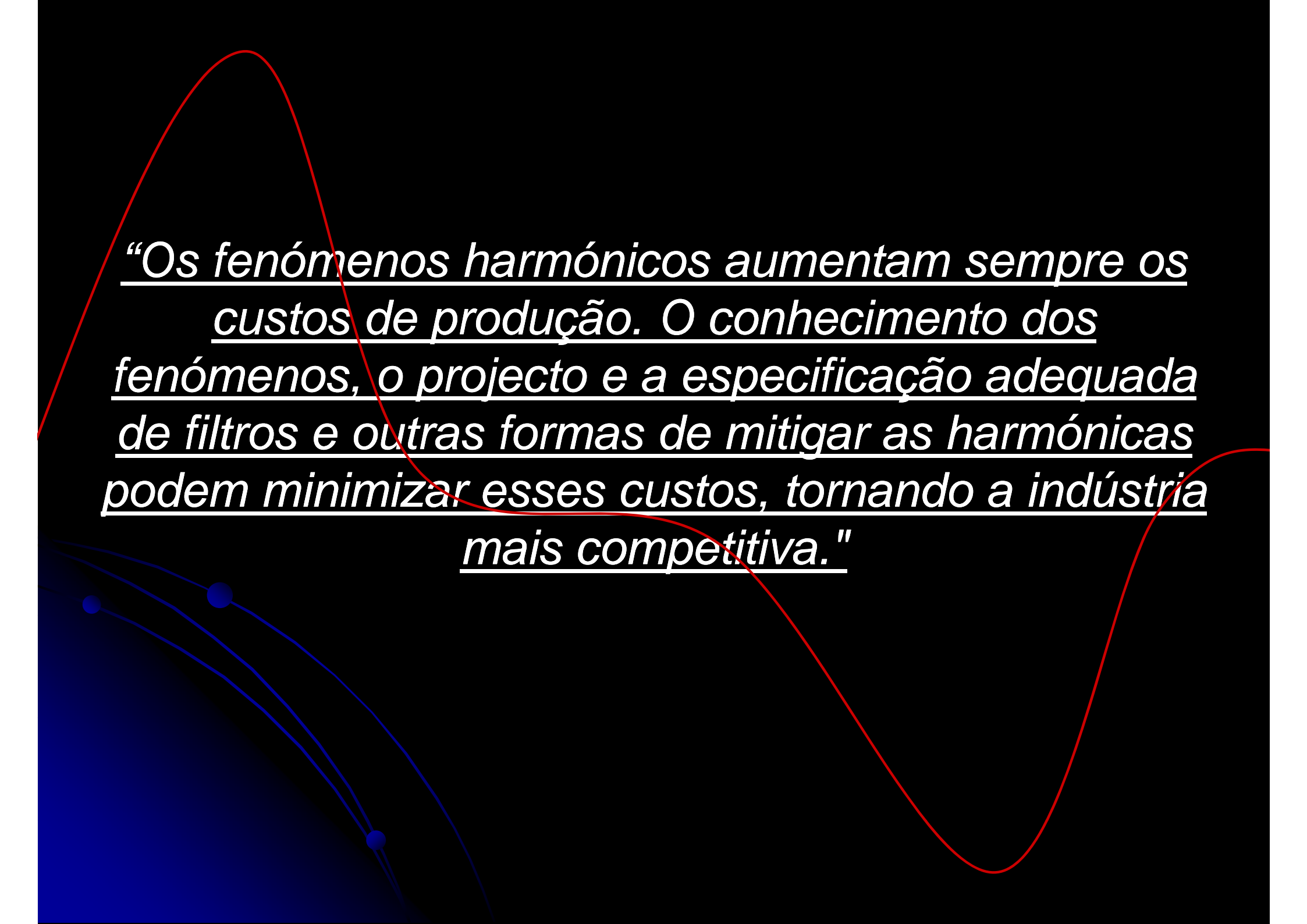
QEE – Perturbações Harmónicas

COMO LIDAR COM A PRESENÇA DAS HARMÓNICAS

3. Filtros de harmónicos (Continuação)



- Filtro junto às cargas que geram grande quantidade de harmónicas;
- Filtro junto aos quadros de distribuição;
- Filtro junto do quadro geral da instalação;



“Os fenómenos harmónicos aumentam sempre os custos de produção. O conhecimento dos fenómenos, o projecto e a especificação adequada de filtros e outras formas de mitigar as harmónicas podem minimizar esses custos, tornando a indústria mais competitiva.”