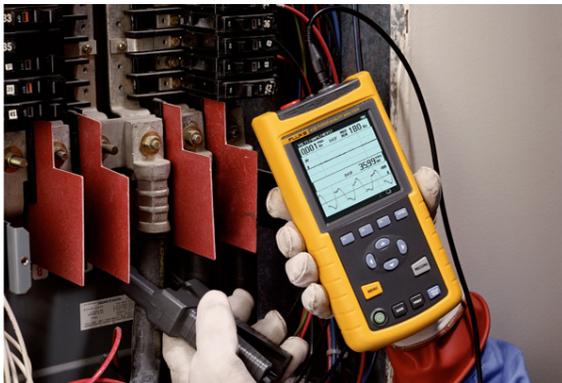


# Aula 13 – Mitigação de Harmônicos



Prof. Heverton Augusto Pereira

Prof. Mauro de Oliveira Prates

Universidade Federal de Viçosa - UFV

Departamento de Engenharia Elétrica - DEL

Gerência de Especialistas em Sistemas Elétricos de Potência – Gesep

[heverton.pereira@ufv.br](mailto:heverton.pereira@ufv.br)

[www.gesep.ufv.br](http://www.gesep.ufv.br)

TEL: +55 (31) 3899-3266

# Introdução

---

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Em geral, os harmônicos de tensão e corrente devem ser mitigados somente quando ultrapassam os limites normatizados e se tornam um problema.

Um momento ideal para analisar estratégias de mitigação de harmônicos é durante o projeto de novas instalações ou na ocasião de compra de equipamentos.

Cada planta industrial ou rede elétrica é única, e necessita de solução customizada.

# Introdução

---

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Opções mais comuns para controlar harmônicos:

- Mitigar nos conversores de potência, transformadores, geradores e capacitores;
- modificar resposta em frequência do sistema; e
- adicionar filtros para drenar correntes harmônicas, retirando-as do sistema, bloqueando-as ou impedindo-as de entrar no sistema, ou suprimindo as correntes harmônicas localmente.

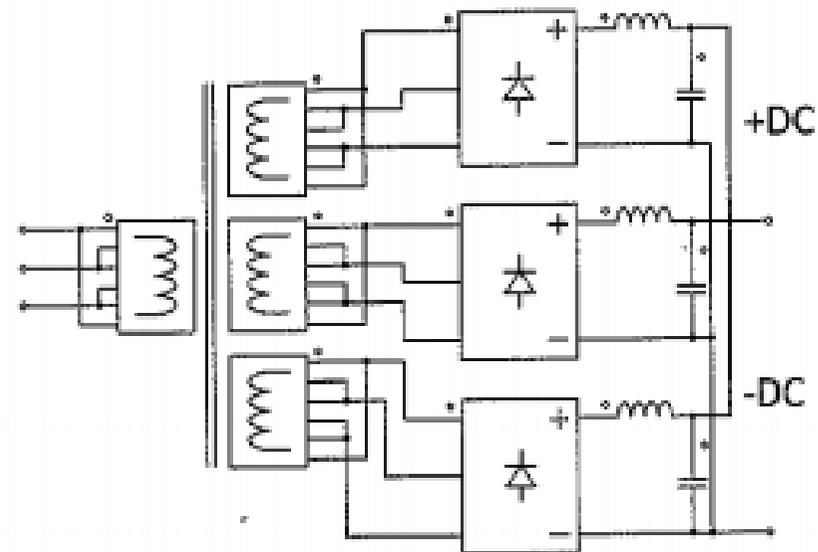
# Redução de Correntes Harmônicas

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

## Associação de conversores estáticos de potência:

Harmônicos presentes:

- Retificador trifásico de 6 pulsos:  $6k \pm 1$  (5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25 etc);
- Retificador trifásico de 12 pulsos:  $12k \pm 1$  (11, 13, 23, 25, etc);
- Retificador trifásico de 18 pulsos:  $18k \pm 1$  (17, 19, 35, 37, etc);



## Conexão de Transformadores

Opção mais utilizada é ligação em delta-estrela aterrada, pois as componentes de sequência zero podem circular no neutro do secundário e na linha, mas permanecem confinadas no delta do primário.

Outras opções são D-d; Dy não aterrado

# Redução de Correntes Harmônicas

## Capacitores

A frequência ressonante depende da reatância equivalente do sistema, vista do ponto de locação do capacitor e da potência do banco de capacitores.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{tot}C}} \quad f_r = \frac{\omega_1}{2\pi\sqrt{\omega_1^2 L_{tot}C}} = f_1 \cdot \sqrt{\frac{X_{c,1}}{X_{tot,1}}} = \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q_c}}$$

- realocar capacitores altera  $X_{tot}$ , podendo evitar ressonância;
- variar a potência reativa do banco de capacitores pode alterar  $f_r$ .

# Características da Resposta em Frequência

---

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Em SEP, conhecer a resposta em frequência é tão importante quanto conhecer a fonte de harmônicos.

Na ressonância, a tensão e corrente assumem valores muito elevados. Essa é a raiz da maior parte dos problemas com distorção harmônica em SEP.

Principais elementos que afetam a resposta em frequência:

- Impedância equivalente do sistema;
- banco de capacitores;
- características de linhas, cabos e carga.

# Características da Resposta em Frequência

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

## Impedância do SEP:

Em 60Hz, o SEP é essencialmente indutivo, e a impedância equivalente é chamada de “impedância de curto-circuito  $Z_c$ ”. Pode ser calculada por estudos de curto circuito, que fornece  $S_{cc}$  ou  $I_{cc}$ .

$$Z_{cc} = R_{cc} + jX_{cc}$$

$X_{cc}$  é frequentemente dominada pela impedância do transformador.

$$X_{cc} = X_{tr}$$

$X_{tr}$  é cerca de 90% da impedância total.

$$f_r = \frac{\omega_1}{2\pi\sqrt{\omega_1^2 L_{tot} C}} = f_1 \cdot \sqrt{\frac{X_{c,1}}{X_{tot,1}}} = \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q_c}}$$

# Características da Resposta em Frequência

---

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

## **Método do lugar geométrico (LG):**

Para estudos do desempenho harmônico, o ONS recomenda a aplicação do método do LG.

Consiste em representar num plano complexo ( $X$  vs.  $R$ ), o conjunto de impedâncias harmônicas equivalentes, considerando diferentes cenários de operação da rede, formando nuvens de pontos no plano complexo:

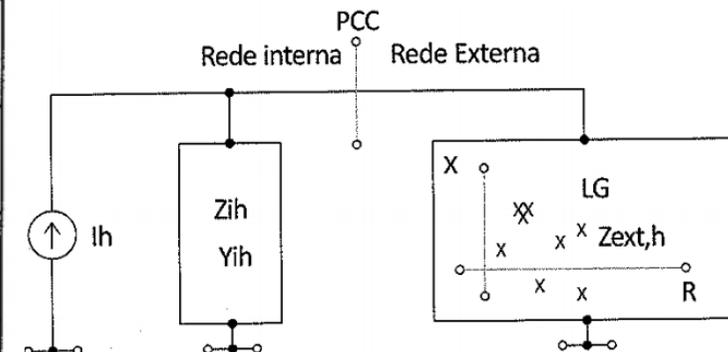
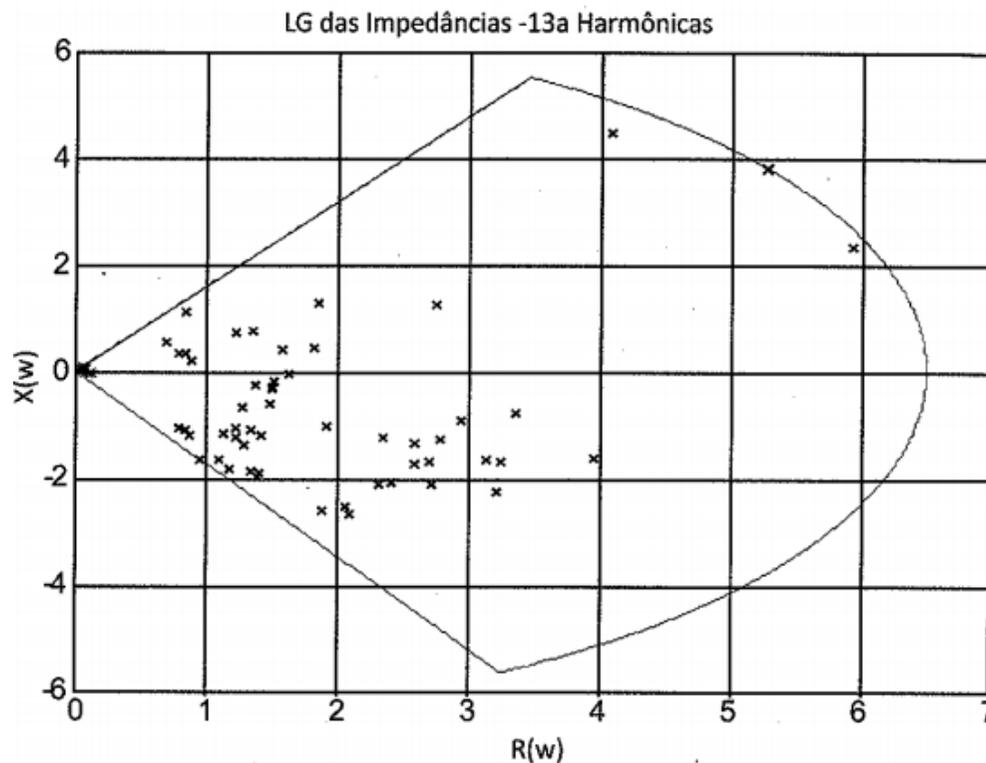
- Condição normal de operação formando o caso base;
- Consideração de contingência (perda de linha, Trafo);
- Condição presente e futura;
- Diferentes níveis de carga (leve, média e pesada).

# Características da Resposta em Frequência

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

## Método do lugar geométrico (LG):

o software HarmZs, desenvolvido pelo Cepel (Centro de pesquisas de Energia Elétrica - Eletrobrás), é utilizado para obtenção das impedâncias harmônicas nesses cenários.



# Características da Resposta em Frequência

## Características de linhas, cabos e cargas:

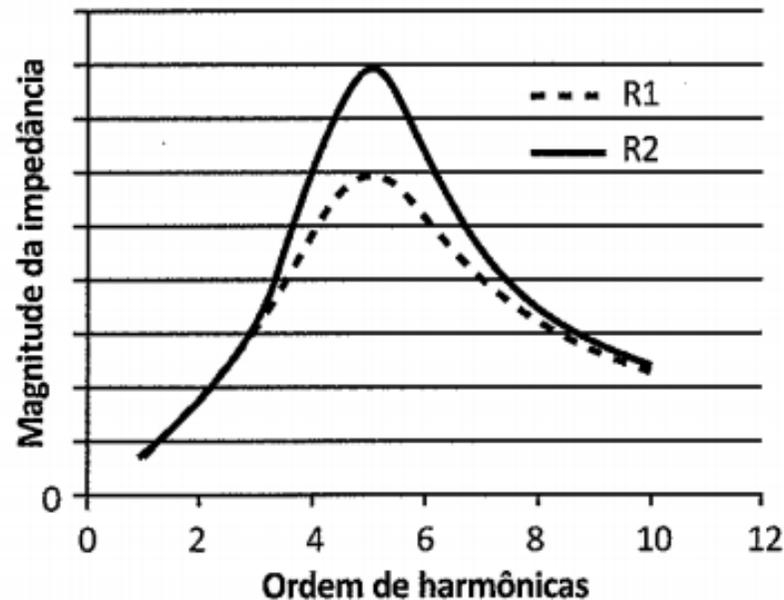
ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

O amortecimento causado pela resistência do sistema é, em geral, suficiente para prevenir tensões e correntes catastróficas.

Se há um comprimento considerável de linha e cabo entre a barra do capacitor e o transformador mais próximo, a ressonância será mitigada.

$$Z_{in} = \frac{-jX_c (R_{tot} + jX_{tot})}{R_{tot} + j(X_{tot} - X_c)}$$

Figura 7.13 – Efeito de cargas resistivas em ressonância paralela com  $R_1 < R_2$ .



# Características da Resposta em Frequência

**Características de linhas, cabos e cargas:** ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

O amortecimento causado pela resistência do sistema é, em geral, suficiente para prevenir tensões e correntes catastróficas.

Se há um comprimento considerável de linha e cabo entre a barra do capacitor e o transformador mais próximo, a ressonância será mitigada.

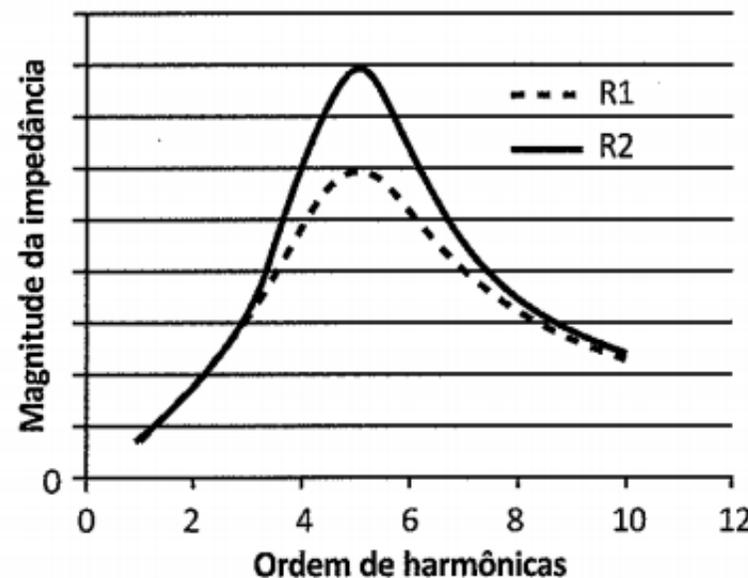
$$Z_{in} = \frac{-jX_c (R_{tot} + jX_{tot})}{R_{tot} + j(X_{tot} - X_c)}$$

Trafos pequenos (< 100kVA):

X/R de 1 a 2

Trafos grandes: X/R de 20 a 30

Figura 7.13 – Efeito de cargas resistivas em ressonância paralela com  $R_1 < R_2$ .



# Filtros

---

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Os harmônicos podem ser eficientemente reduzidos através do uso de filtros, cujo principal objetivo é reduzir a amplitude de tensões e correntes de uma ou mais frequências harmônicas.

Filtro é uma estrutura projetada para permitir a passagem de certas faixas de frequência e bloqueio ou atenuação para outras.

São divididos em passivos e ativos.

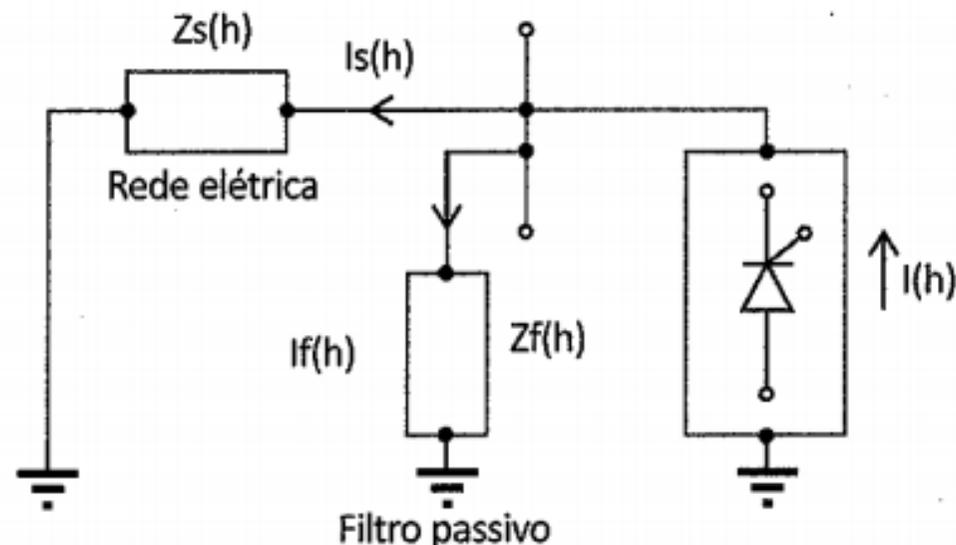
# Filtros Passivos

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

A solução mais usual é a ligação paralelo, ou shunt, que oferece um caminho de baixa impedância para as correntes harmônicas de interesse, evitando que estas penetrem em determinadas partes do sistema.

Diminui também a distorção na tensão, pois a corrente harmônica através das impedâncias dos cabos presentes diminui.

$$I_{s,h} = \frac{Z_{f,h}}{Z_{s,h} + Z_{f,h}} \cdot I_h$$



# Filtros Passivos - Sintonizados

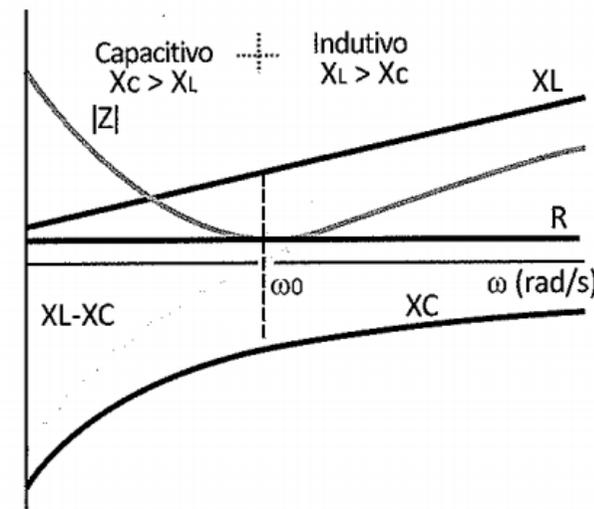
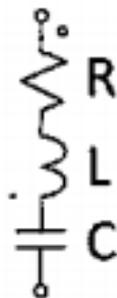
ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Filtros de sintonia ou shunt ou ressonante podem ser:

**-simples:** muito utilizados comercialmente (passa-faixa ou passa-banda, cuja impedância é baixa na frequência de sintonia, realizando uma filtragem eficiente e uma faixa de frequências estreita em torno da de sintonia). São os mais seletivos para a eliminação de uma harmônica específica.

Figura 7.19 – Variação da impedância e reatância com a frequência.

Contribui com  
potência reativa  
para a rede em  
60Hz.

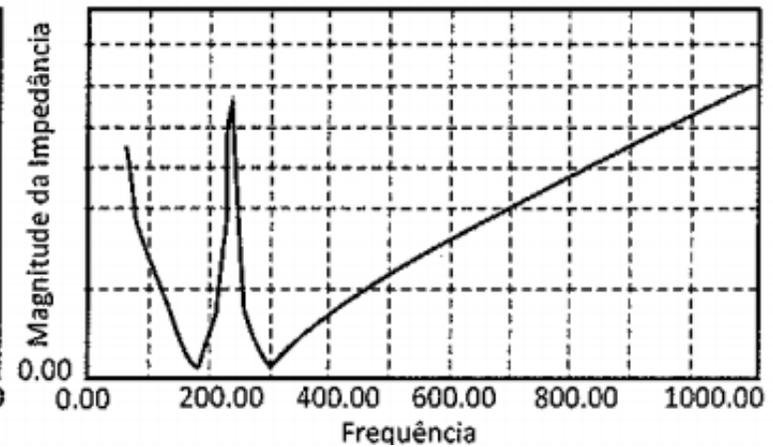
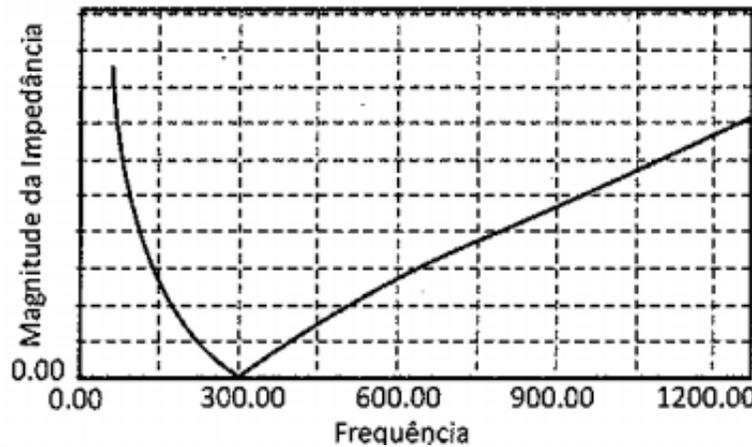
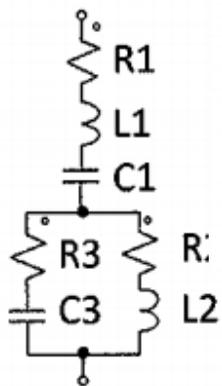


# Filtros Passivos - Sintonizados

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Filtros de sintonia ou shunt ou ressonante podem ser:

**-Dupla sintonia:** sintonizado para 2 frequências. O ramo série sintoniza uma frequência ressonante. A segunda frequência é obtida para a condição de impedância do ramo paralelo igual ao conjugado da impedância do ramo série, cujo valor resultante é real.



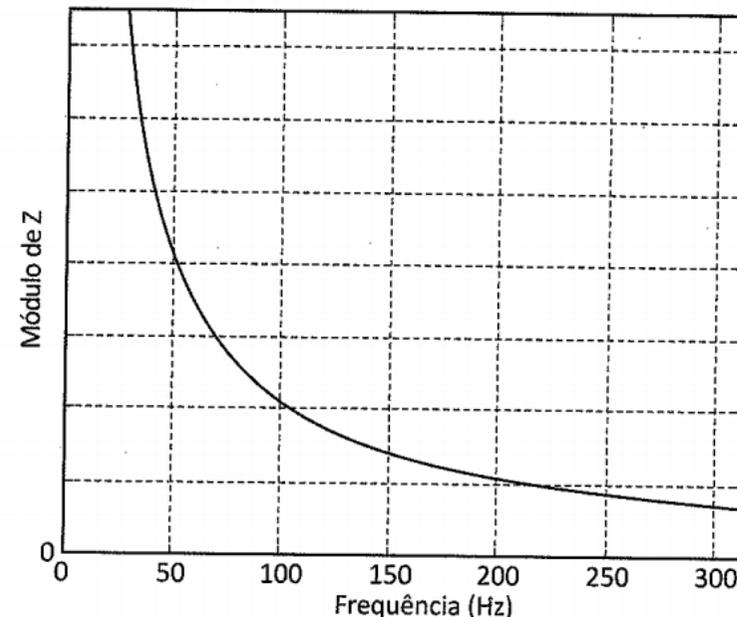
# Filtros Passivos - Amortecido

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Apresentam baixa impedância sobre uma larga faixa de frequências, a partir da frequência de corte; podem ser de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ordens.

Os de 1<sup>a</sup> ordem RC e RL encontram grande utilização em eletrônica e em conversores de potência, podendo atuar como passa-baixa ou passa-alta, dependendo de onde é tomado o sinal de saída (R, C ou L).

2<sup>a</sup> ordem são mais usados comercialmente.

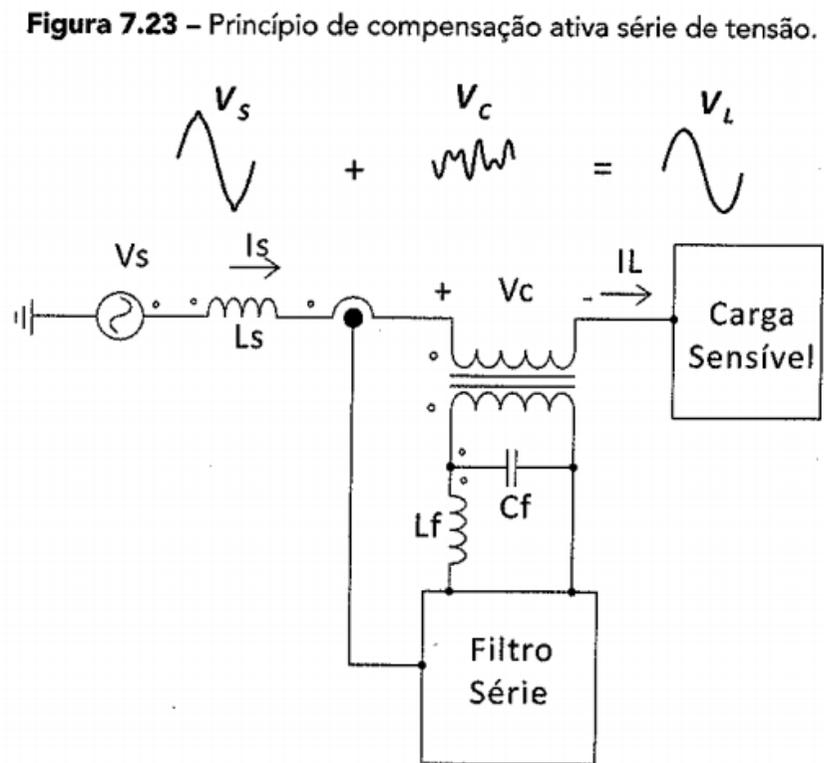


# Filtros Ativos

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

São equipamentos que podem compensar harmônicos de tensão e corrente. Utiliza interruptores eletrônicos para, através de técnicas de controle e comando destes, produzir correntes que anulem a presença de harmônicos na rede. Podem ser série ou paralelo.

Série - fonte de tensão controlada:

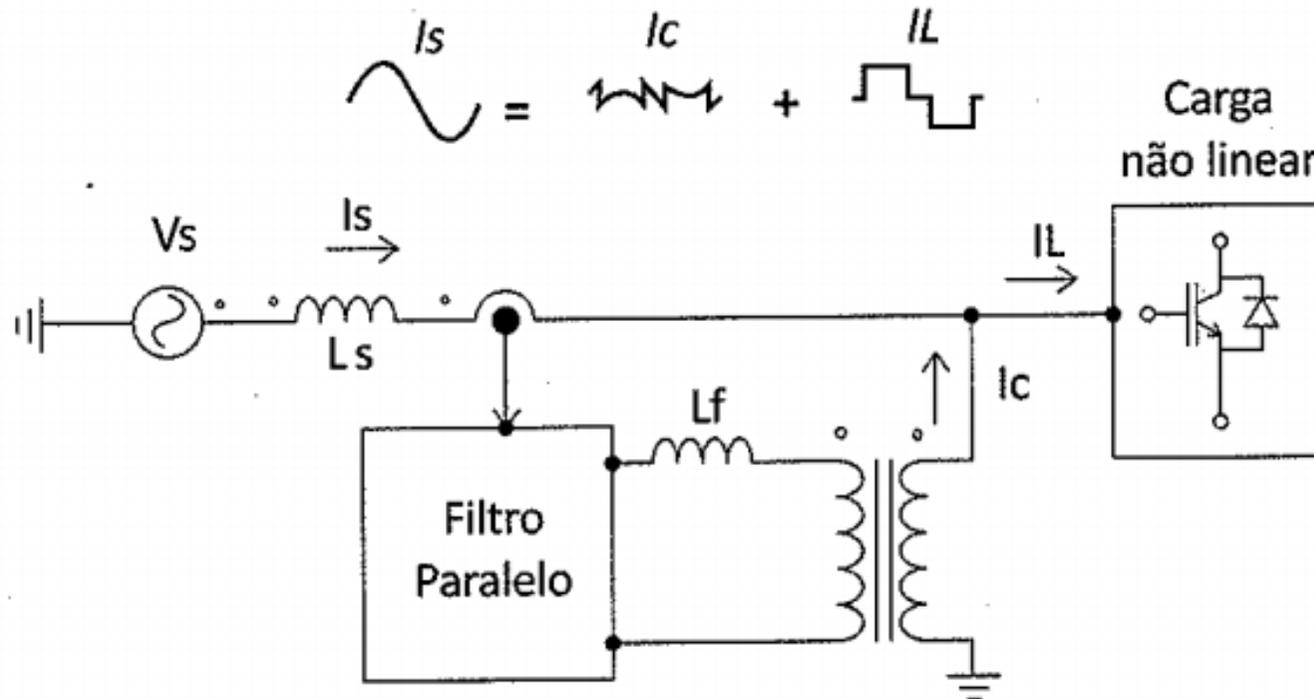


# Filtros Ativos

Paralelo - fonte de corrente controlada:

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Figura 7.24 – Princípio de compensação ativa paralela de corrente.

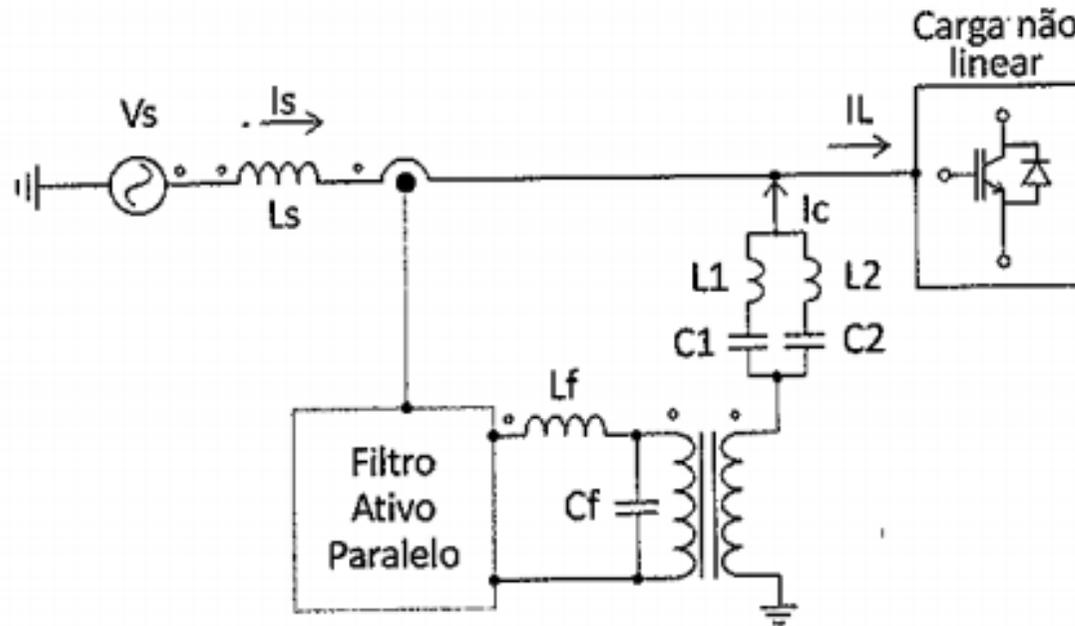


A combinação série e paralelo é usada na compensação simultânea de tensão e corrente.

# Filtros Híbridos

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Combinam os ativos e passivos. Por reduzirem a capacidade do filtro ativo, seu custo se torna mais atrativo.



Os filtros ativos para terem bom desempenho, necessitam ter potência igual ou superior à carga não linear a ser filtrada, tornando-se, em alguns casos, economicamente inviáveis.

# Filtros Ativos

---

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

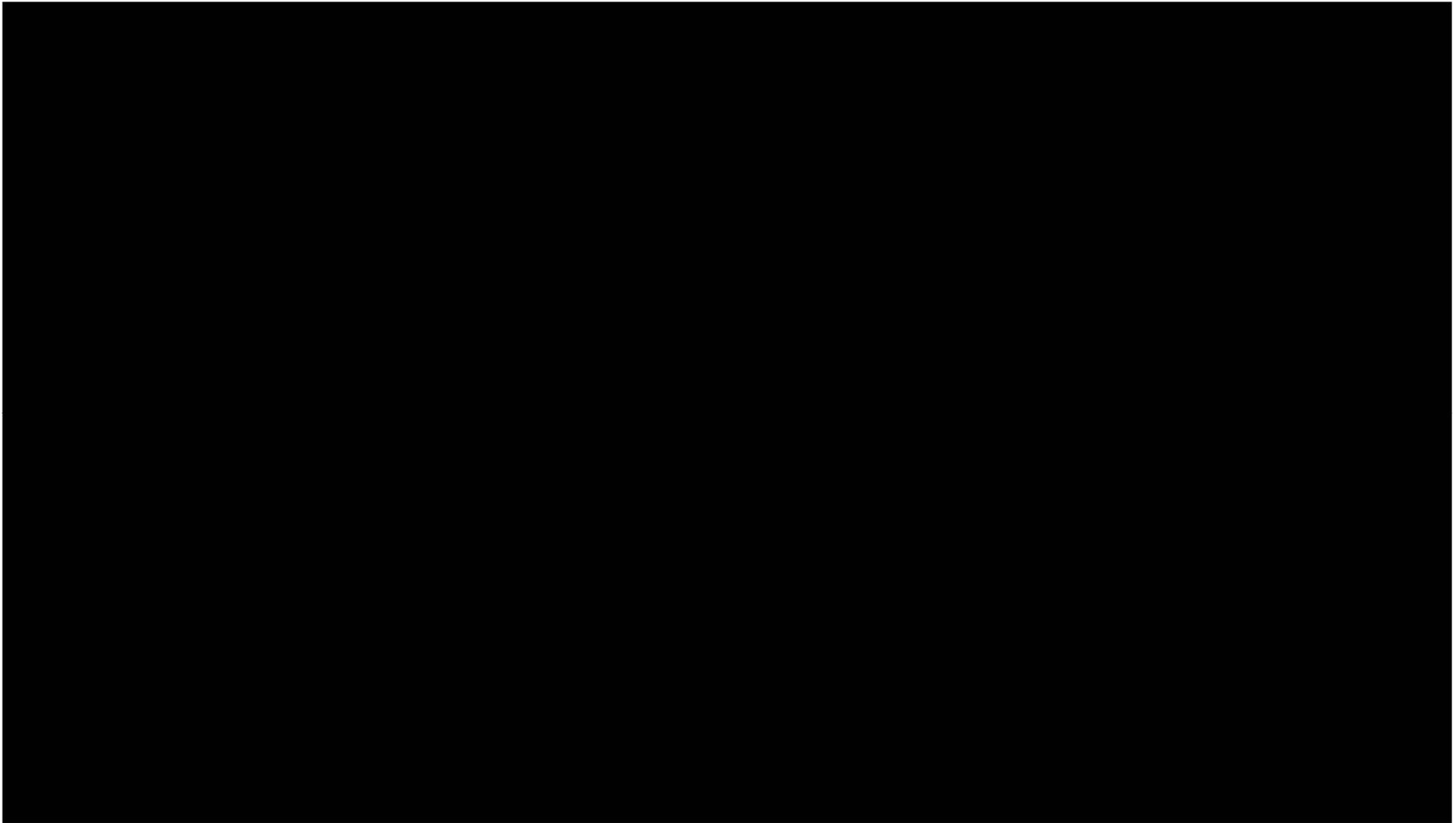


Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=lqhffCGCtew>

# Filtros Ativos

---

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=PoZQsGJ3WjY&t=4s>

# Projeto de Filtros Passivos



# Introdução

---

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

A medição de harmônicos no local é o meio mais preciso para obter informações sobre as harmônicas, se as cargas já estão instaladas. Senão, o fabricante do equipamento com características não lineares pode informar as características das harmônicas.

Numa avaliação simplificada, a carga não linear pode ser vista como uma fonte de corrente harmônica. Esta representação é bastante precisa quando os níveis de  $DHT_V$  são de no máximo 10%.

Um importante componente do filtro é o capacitor, que fornece potência reativa à rede em 60Hz e por ele flui todo o conteúdo harmônico, devendo ser projetado com maior cuidado.

# Filtros de Sintonia

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Frequência ressonante:  $\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

Ordem harmônica ressonante:  $h_r = \frac{\omega_r}{\omega_1}$  ou  $h_r = \sqrt{X_{c,1}/X_{L,1}}$

Para uma sintonização no 5º harmônico, por exemplo:

reatância indutiva de 4% da capacitiva do filtro.

$$X_{L,1} = \frac{X_{c,1}}{h_5^2} = 0,04X_{c,1}$$

Fator de Qualidade:  $Q = \frac{h_r X_{L,1}}{r}$  Largura da banda passante:

$$\beta = \frac{\omega_r}{Q}$$

# Filtros de Sintonia

No projeto de filtros passivos, capacitores são escolhidos primeiro, com base na potência reativa requerida para a correção do fator de potência de deslocamento.

Potência efetiva todo filtro em 60Hz:  $Z_1 = R + j(X_{L,1} - X_{c,1})$

Alto fator de qualidade:  $Q_{f,1} = \text{imag}(V_{nom}^2 / Z_1^*)$

$$Q_{f,1} \cong \frac{V_{nom}^2}{X_{c,1} - X_{L,1}} \quad Q_{f,1} = \frac{V_{nom}^2}{X_{c,1}(1 - \omega_1^2 LC)} = \frac{V_{nom}^2}{X_{c,1}(1 - 1/b_r^2)}$$

Reatância capacitiva do filtro em 60Hz:  $X_{c,1} = \frac{V_{nom}^2}{Q_{f,1}} \cdot \frac{b_r^2}{(b_r^2 - 1)}$

Reatância efetiva do filtro:

$$X_{f,1} = \frac{V_{nom}^2}{Q_{f,1}} \quad X_{c,1} = X_{f,1} \cdot \frac{b_r^2}{(b_r^2 - 1)}$$

# Filtros de Sintonia

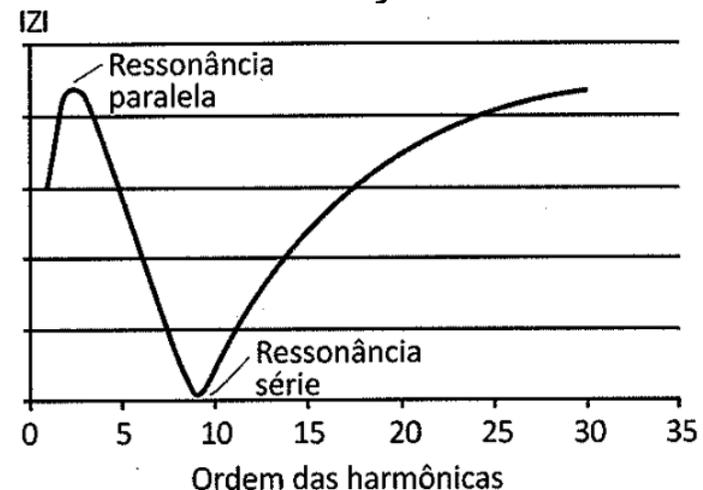
ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Com base no espectro de harmônicos, a frequência de sintonia é selecionada como sendo de 3% a 15% abaixo da desejada, sendo este percentual denominado “fator de dessintonia  $d$  (IEEE, 1531, 2003).

Pretende-se evitar que um filtro sintonizado, ao perder algumas de suas unidades capacitivas, passe a gerar ressonância paralela com a impedância de distribuição.

Reatância indutiva passa a ser:

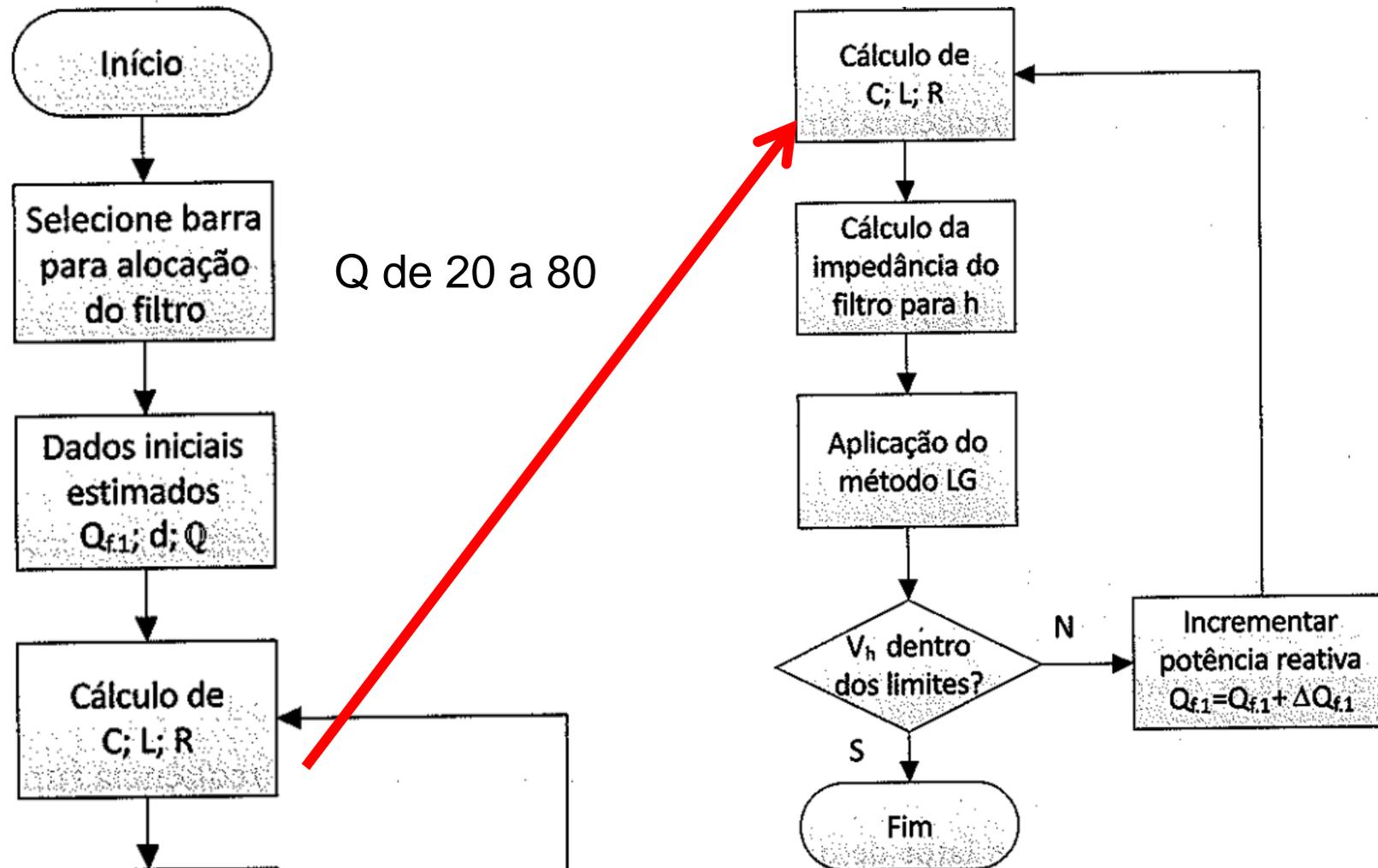
$$X_{L,1} = \frac{X_{c,1}}{b_r^2} = \frac{X_{c,1}}{(b-d)^2}$$



# Filtros de Sintonia

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Fluxograma para cálculo dos parâmetros do filtro sintonizado:

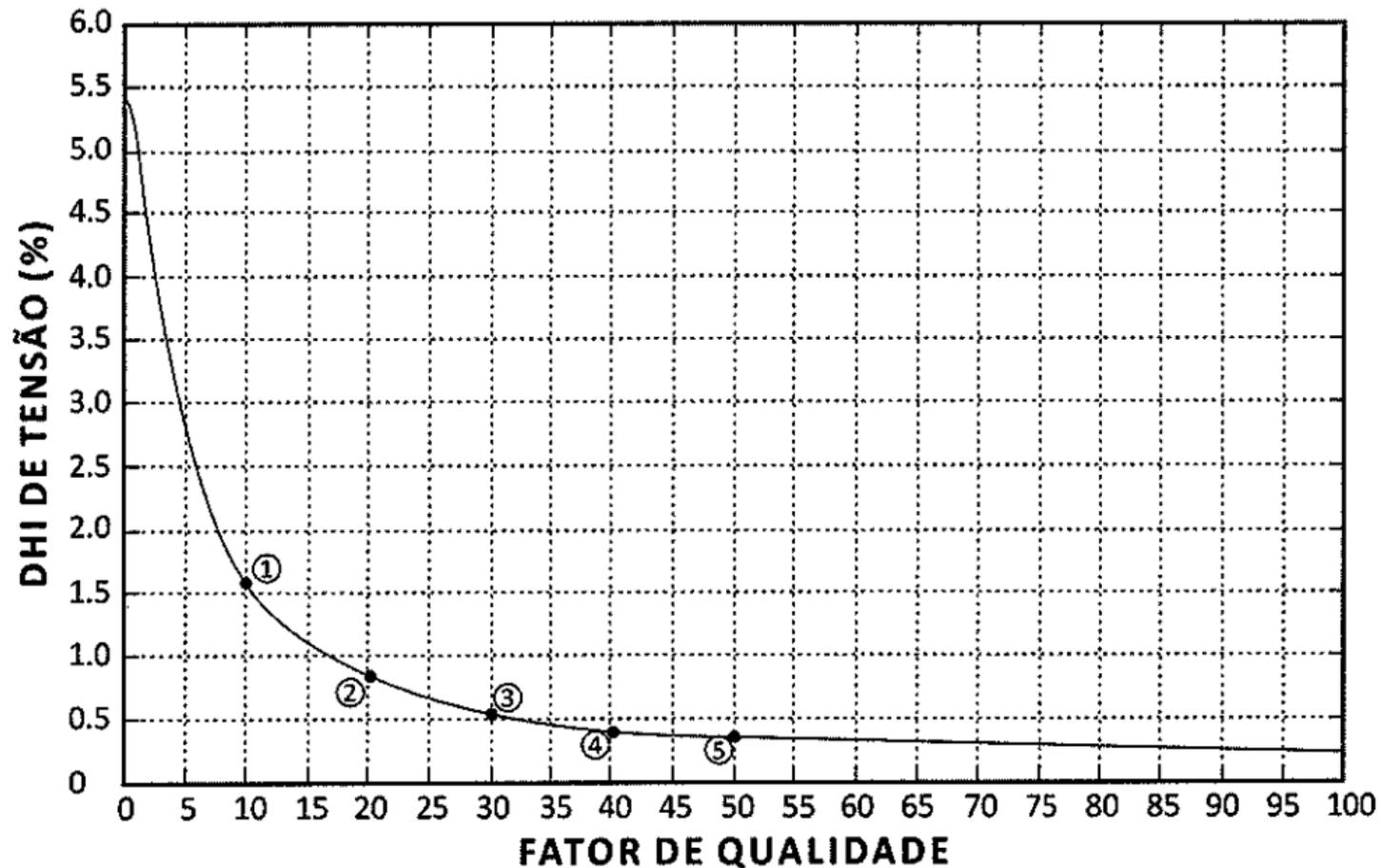


# Filtros de Sintonia

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Aumento de  $Q$  obtido com decremento de  $R$  do filtro.

**Figura 8.6** – Variação da distorção harmônica individual de tensão  $DHI_v$  com o fator de qualidade  $Q$ .



# Filtros de Sintonia

Fluxograma para cálculo dos parâmetros do filtro sintonizado:

## Exemplo 8.1

Uma carga industrial de 20 MVA é suprida em 13,8 kV tensão nominal fase-fase, 60 Hz, e tem fator de potência de 0,8 indutivo. A carga injeta valor significativo de harmônica de corrente de 5ª ordem. Deseja-se instalar um filtro de sintonia para atenuar a harmônica de 5ª ordem ao mesmo tempo capaz de corrigir para 0,95 o fator de potência da carga. Calcule o valor inicial dos parâmetros  $C$  e  $L$  do filtro, considerando um fator de dessintonia de 6%.

## Solução

Inicialmente, será calculada a potência reativa capacitiva  $Q_c$  necessária para aumentar o fator de potência da instalação de  $FP_1 = 0,8$  para  $FP_2 = 0,95$ .

$$Q_c = P [tg(\cos^{-1}(FP_1)) - tg(\cos^{-1}(FP_2))] \quad (8.24)$$

$$P = |S| \cdot FP_1 = 20 \cdot 0,8 = 16 \text{ MW} \quad (8.25)$$

$$Q_{f,1} = 16 \left[ tg(\cos^{-1}(0,8)) - tg(\cos^{-1}(0,95)) \right] = 6,74 \text{ M var}$$

## Filtros de Sintonia

$$P = |S| \cdot FP_1 = 20 \cdot 0,8 = 16 \text{ MW} \quad (8.25)^A$$

$$Q_{f,1} = 16 \left[ \operatorname{tg}(\cos^{-1}(0,8)) - \operatorname{tg}(\cos^{-1}(0,95)) \right] = 6,74 \text{ M var}$$

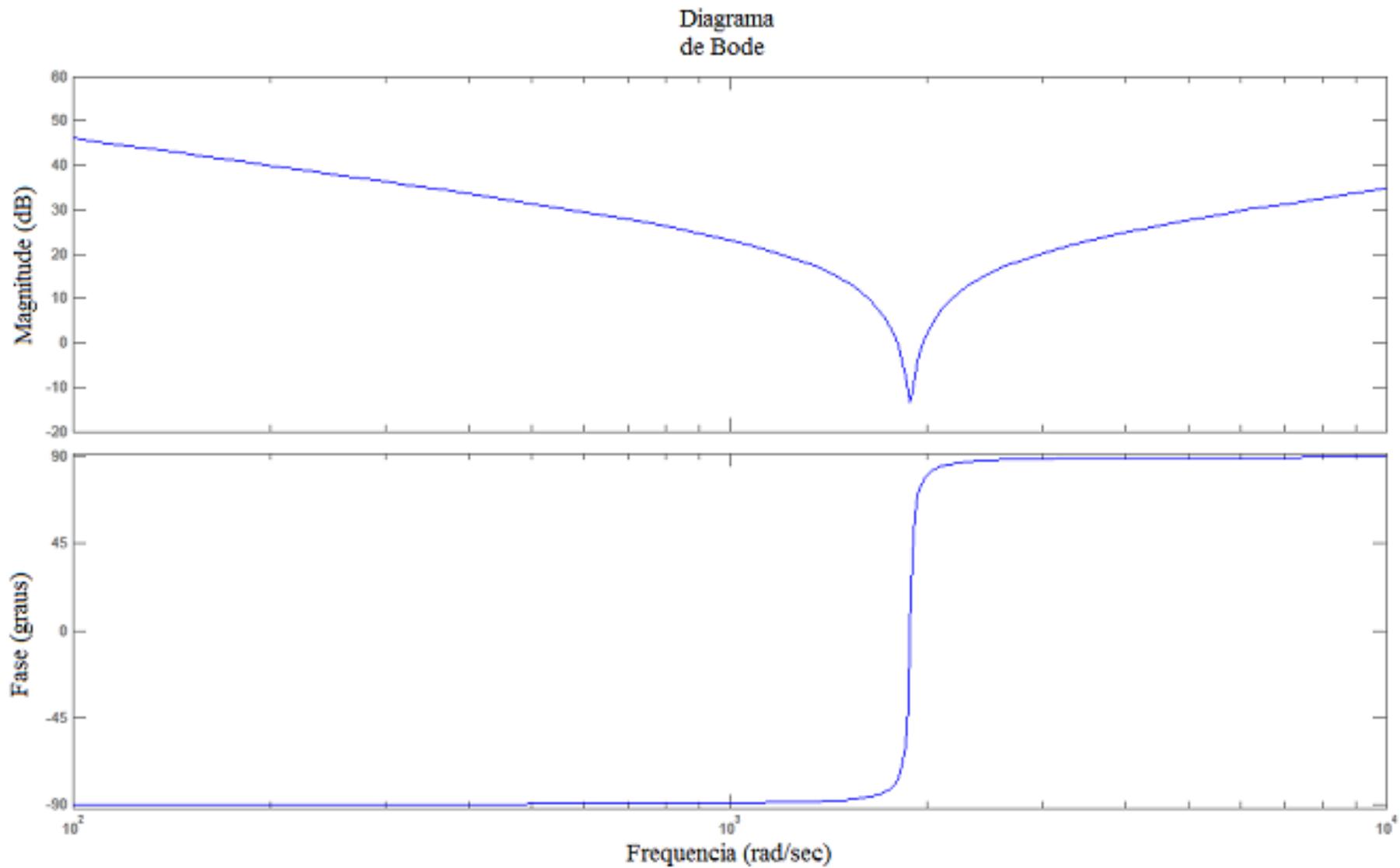
Reatância efetiva do filtro em 60Hz:

$$X_{f,1} = \frac{V_{nom}^2}{Q_{f,1}} = \frac{(13,8)^2}{6,74} = 28,26 \Omega$$

$$C = \frac{1}{\omega_1 X_{f,1}} \cdot \frac{(h_r^2 - 1)}{h_r^2} = \frac{1}{377 \cdot 28,26} \cdot \frac{(4,7^2 - 1)}{4,7^2} \\ = 89,6 \mu F$$

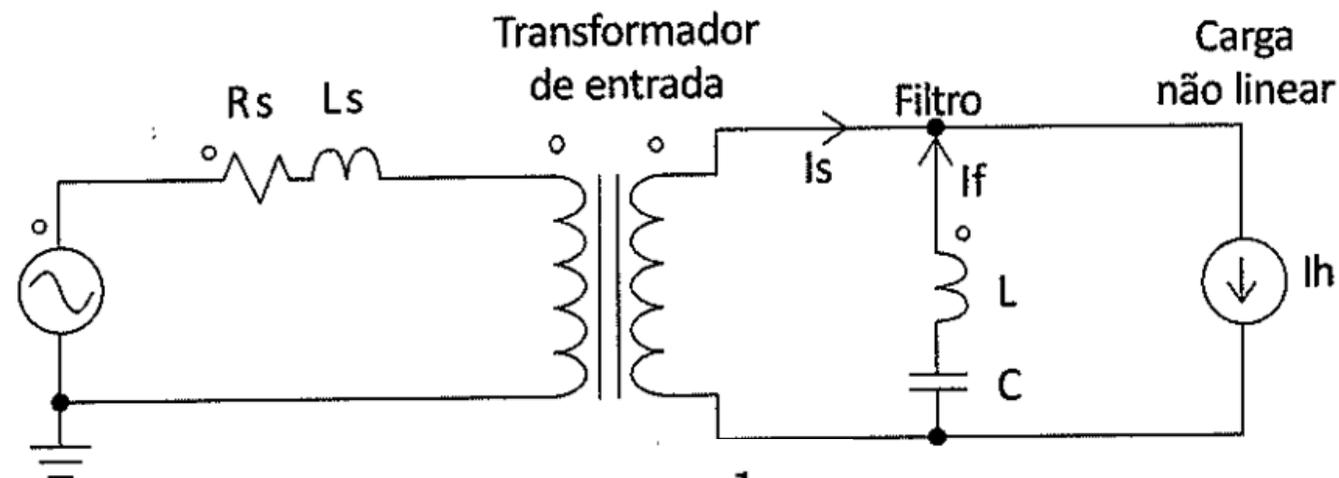
$$L = \frac{1}{\omega_1^2 \cdot h_r^2 \cdot C} = \frac{1}{377^2 \cdot 4,7^2 \cdot 89,6 \times 10^{-6}} \\ = 3,55 \text{ mH}$$

# Filtros de Sintonia



# Filtros de Sintonia

Calculadas  $L$  e  $C$  do filtro, a análise harmônica deve ser realizada a fim de avaliar se o filtro projetado controla os harmônicos nos níveis definidos pelas normas. Se a distorção não estiver adequada, a potência reativa do filtro deve ser aumentada.



Ressonância série no filtro:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

e paralela do sistema:

$$f_{ar} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_s + L_r + L)C}}$$

# Filtros de Sintonia

Corrente no filtro:

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

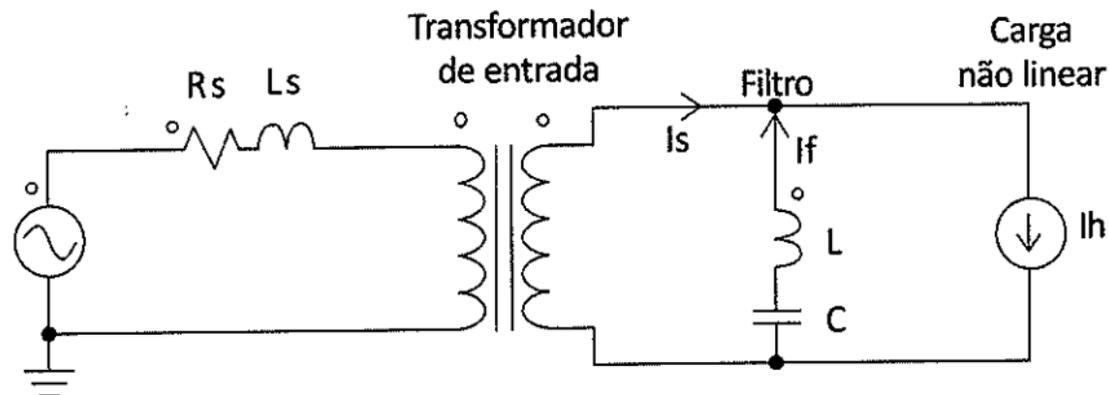
$$I_f = I_h \cdot \frac{(R_{tot} + j\omega_h L_{tot})}{(R_{tot} + j(\omega_h L_{tot} + \omega_h L - 1/\omega_h C))}$$

Corrente suprida pela fonte:

$$I_s = I_h \cdot \frac{j(\omega_h L - 1/\omega_h C)}{(R_{tot} + j(\omega_h L_{tot} + \omega_h L - 1/\omega_h C))}$$

Tensão na barra para cada h:

$$V_h = I_s \cdot (R_{tot} + j\omega_h L_{tot})$$



# Filtros de Sintonia

Verificando tensão aplicada no capacitor do filtro.

## Exemplo 8.2

Para um espectro de corrente *rms* da carga como mostrado a seguir, calcule a corrente *rms* total que flui no filtro, a tensão nos terminais do banco de capacitores do filtro e a potência reativa trifásica nominal do banco de capacitores do filtro harmônico do Exemplo 8.1.

$$I_5 = 138,15 \text{ A}$$

$$I_7 = 39,33 \text{ A}$$

$$I_{11} = 18,33 \text{ A}$$

$$I_{13} = 14,77 \text{ A}$$

$$X_{c,1} = \frac{1}{377 \cdot 89,6 \times 10^{-6}} = 29,6 \Omega$$

$$X_{L,1} = 377 \cdot 3,55 \times 10^{-3} = 1,34 \Omega$$

Supondo o filtro em estrela:

$$I_1 = \frac{V_s}{X_{c,1} - X_{L,1}} = \frac{13,8 / \sqrt{3}}{29,6 - 1,34} = 281,93 \text{ A}$$

# Filtros de Sintonia

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Verificando tensão aplicada no capacitor do filtro.

$$\begin{array}{l} I_5 = 138,15 A \\ I_7 = 39,33 A \\ I_{11} = 18,33 A \\ I_{13} = 14,77 A \end{array} \quad \begin{array}{l} X_{c,1} = \frac{1}{377 \cdot 89,6 \times 10^{-6}} = 29,6 \Omega \\ X_{L,1} = 377 \cdot 3,55 \times 10^{-3} = 1,34 \Omega \end{array}$$

$$I_1 = \frac{V_s}{X_{c,1} - X_{L,1}} = \frac{13,8 / \sqrt{3}}{29,6 - 1,34} = 281,93 A$$

$$\begin{aligned} I_{rms} &= \sqrt{(281,93)^2 + (138,15)^2 + (39,33)^2 + (18,33)^2 + (14,77)^2} \\ &= 317,29 A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{c,1} &= I_1 \cdot X_{c,1} \\ &= (281,93) \cdot (29,6) = 8.345,13 V \end{aligned}$$

# Filtros de Sintonia

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Verificando tensão aplicada no capacitor do filtro.

$$I_5 = 138,15 A$$

$$I_7 = 39,33 A$$

$$I_{11} = 18,33 A$$

$$I_{13} = 14,77 A$$

$$I_1 = 281,93 A$$

$$I_{rms} = 317,29 A$$

$$V_{c,1} = 8.345,13 V$$

$$\begin{aligned} V_{c,b \in \{5,7,11,13\}} &= I_5 \cdot X_{c,5} + I_7 \cdot X_{c,7} + I_{11} \cdot X_{c,11} + I_{13} \cdot X_{c,13} \\ &= 135,15 \times \frac{29,6}{5} + 39,33 \times \frac{29,6}{7} + 18,33 \times \frac{29,6}{11} + 14,17 \times \frac{29,6}{13} \\ &= 800,09 + 166,31 + 49,32 + 32,26 \\ &= 1.047,98 V \end{aligned}$$

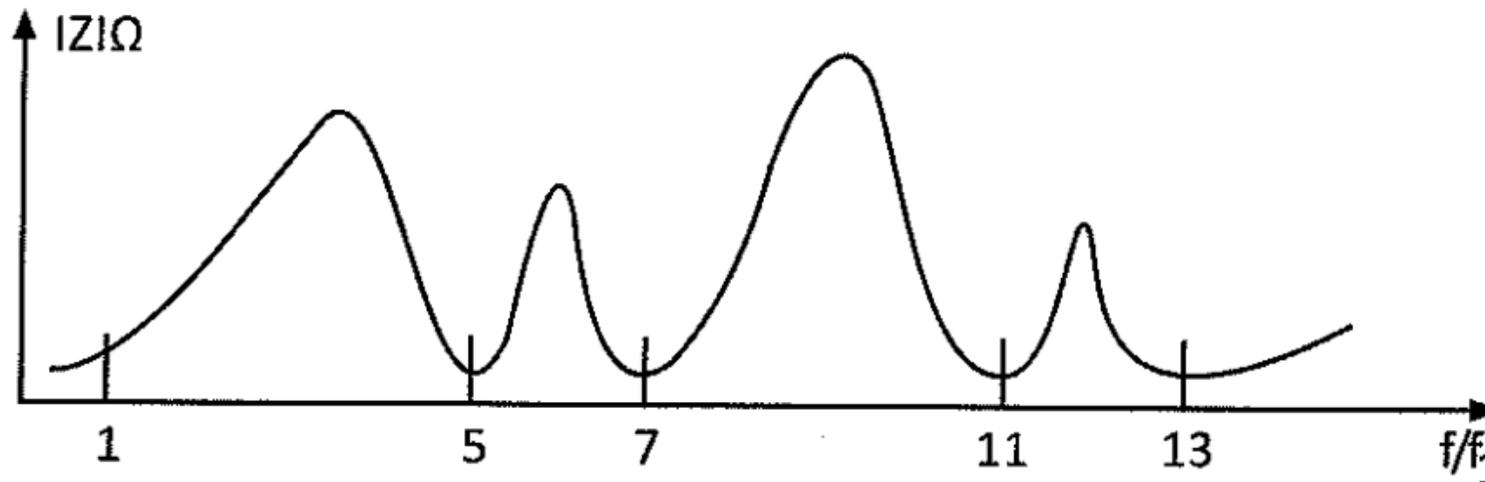
$$\begin{aligned} V_c &= V_{c,1} + V_{c,b \in \{5,7,11,13\}} \\ &= 8.345,13 + 1.047,98 \\ &= 9.393,11 V \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{c,nom} &= \frac{(\sqrt{3}V_r)^2}{X_{c,1}} = \frac{3 \cdot (9.393,11)^2}{29,6} \\ &= 8,94 Mvar \end{aligned}$$

# Filtros de Sintonia

Normalmente o número de braços do filtros não ultrapassa 4.

**Figura 8.8** – Impedância de uma rede elétrica com vários filtros *shunt* ressonantes.



As frequências mais altas (<17ª harmônica), na maior parte das vezes, apresentam menor amplitude, e um filtro passa-alta amortecido é mais econômico para essas frequências.

A combinação do filtro de sintonia com o amortecido é uma opção atrativa do ponto de vista econômico.

# Filtros de Dupla Sintonia

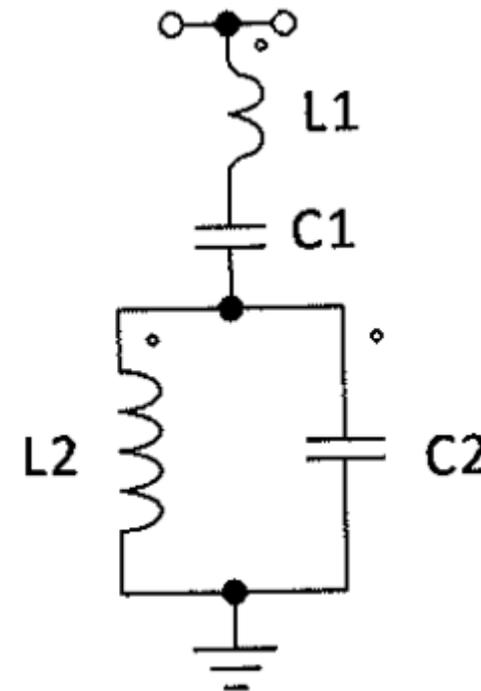
ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Realizam a mesma função que dois filtros de simples sintonia paralelos, embora com certas vantagens, como: menor custo, menores perdas, além da impedância na frequência de ressonância paralela estabelecida entre as duas frequências de sintonia ser menor.

$$Z_s = j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} \quad \omega_s = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}$$

$$\omega < \omega_s \quad Z_s \text{ é capacitiva } (X_{C1} > X_{L1})$$

$$\omega > \omega_s \quad Z_s \text{ é indutiva } (X_{L1} > X_{C1})$$



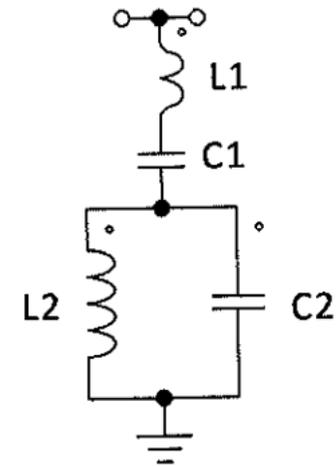
# Filtros de Dupla Sintonia

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

$$Z_s = j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} \quad \omega_s = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}$$

$\omega < \omega_s$   $Z_s$  é capacitiva ( $X_{c1} > X_{L1}$ )

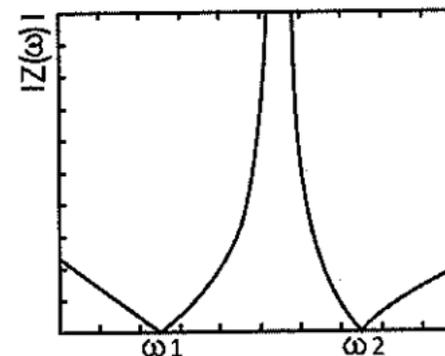
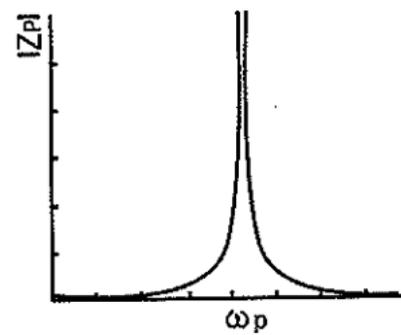
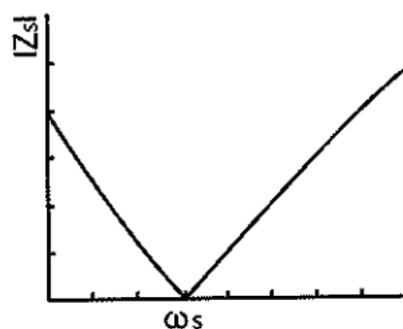
$\omega > \omega_s$   $Z_s$  é indutiva ( $X_{L1} > X_{c1}$ )



$$Z_p = \left( j\omega C_2 + \frac{1}{j\omega L_2} \right)^{-1}$$

$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$$

$\omega < \omega_p$   $Z_p$  é indutiva ( $X_{L2} < X_{c2}$ )     $\omega > \omega_p$   $Z_p$  é capacitiva ( $X_{c2} < X_{L2}$ )



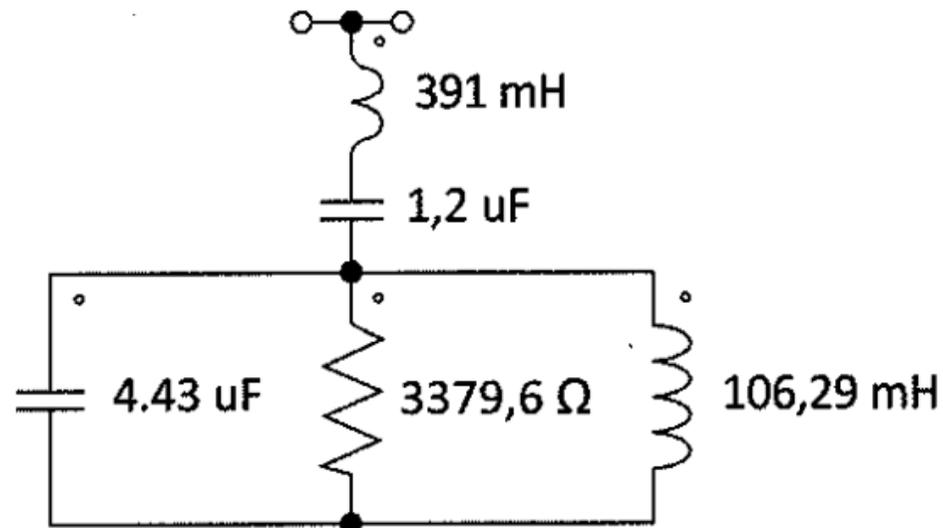
# Filtros de Dupla Sintonia

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

## Exemplo 8.3

Para o filtro de sintonia dupla mostrado na Figura 8.12, usando um software de simulação, plote a curva de variação da magnitude da impedância com a frequência.

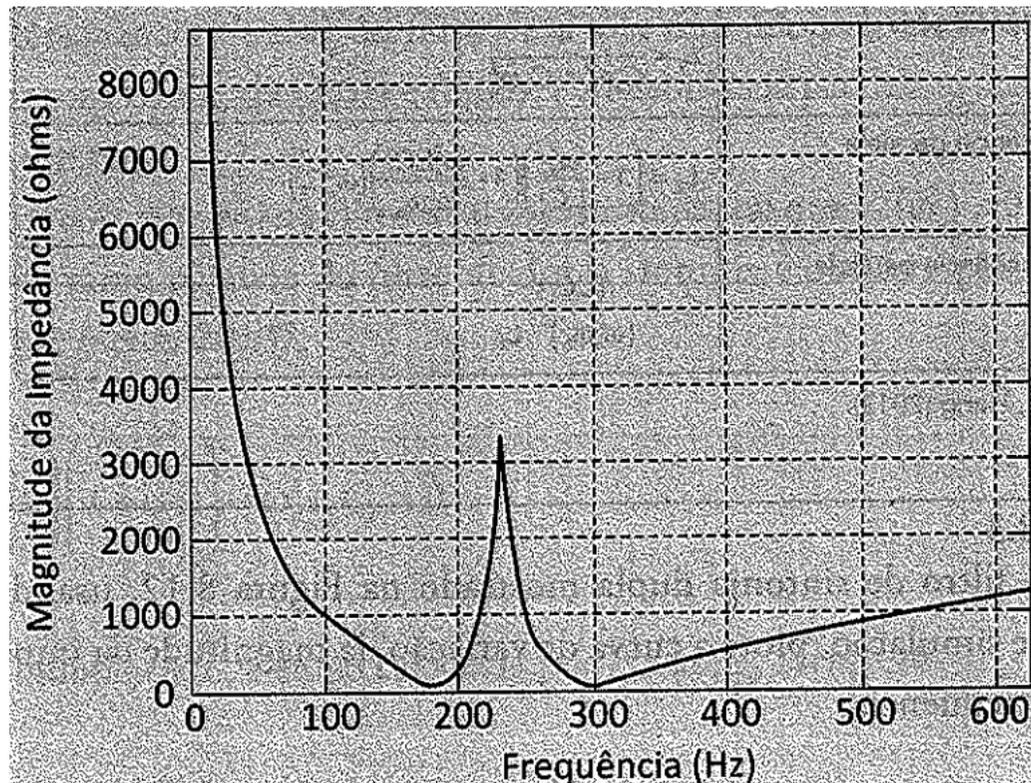
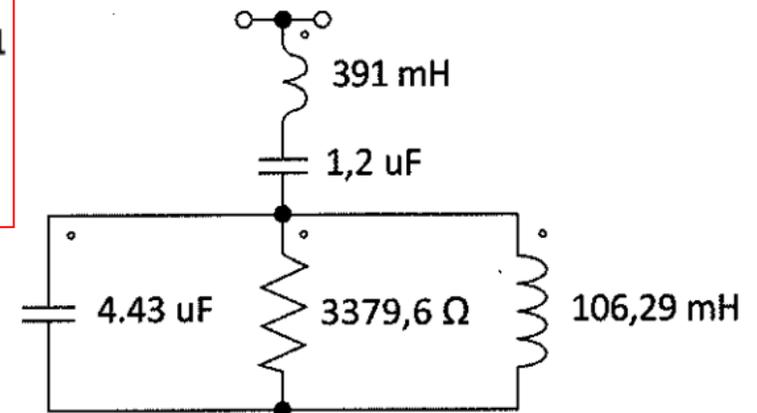
Figura 8.12 – Parâmetros de um filtro de sintonia dupla.



# Filtros de Dupla Sintonia

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

$$Z = j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} + \left( j\omega C_2 + \frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L_2} \right)^{-1}$$



180Hz e 300Hz.  
Ressonância  
paralela em 232Hz  
(antirressonância).

# Localização de Filtros

---

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

- ✓ Podem ser localizados junto a uma carga individual, ou em uma barra que supre um conjunto de cargas, ou na estrada da instalação a qual se requer uma redução especificada de tensão harmônica.
- ✓ Quando vários filtros sintonizados são instalados centralizadamente, formam um banco de filtros.
- ✓ Quando na entrada da instalação, as correntes harmônicas continuarão a percorrer entre as cargas não lineares e o banco de filtros, isto é, no interior da instalação.
- ✓ Nesses casos, os filtros são projetados para chavear um ou mais circuitos de sintonia.

# Localização de Filtros

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Em geral, filtros colocados junto à carga são mais eficazes.

