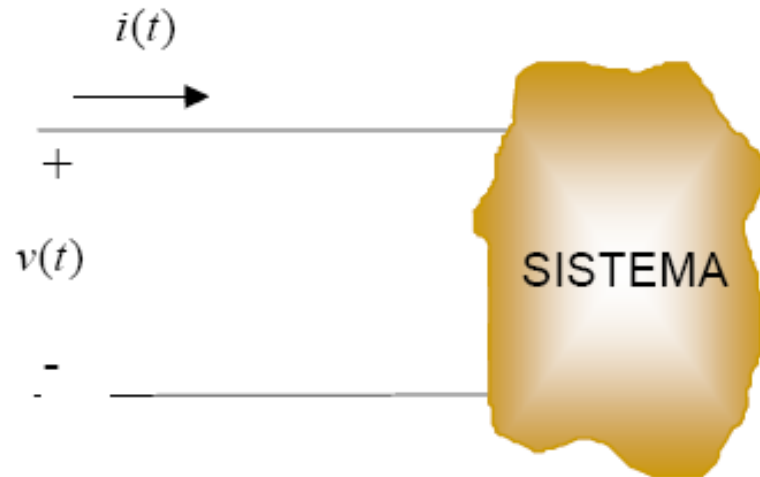


Potência convencional



$$v(t) = V_{\max} \cos(\omega t + \phi)$$

$$i(t) = I_{\max} \cos(\omega t + \phi - \theta)$$

$$p(t) = v(t)i(t) = V_{\max} I_{\max} \cos(\omega t + \phi) \cos(\omega t + \phi - \theta)$$

Desenvolvendo-se, tem-se:

$$p(t) = VI \cos \theta [1 + \cos(2\omega t + 2\phi)] + VI \sin \theta \sin(2\omega t + 2\phi)$$

Na forma complexa:

$$P = VI \cos \theta$$

[Parcela média de $p(t)$]

$$Q = VI \sin \theta$$

[Parcela alternada de $p(t)$]

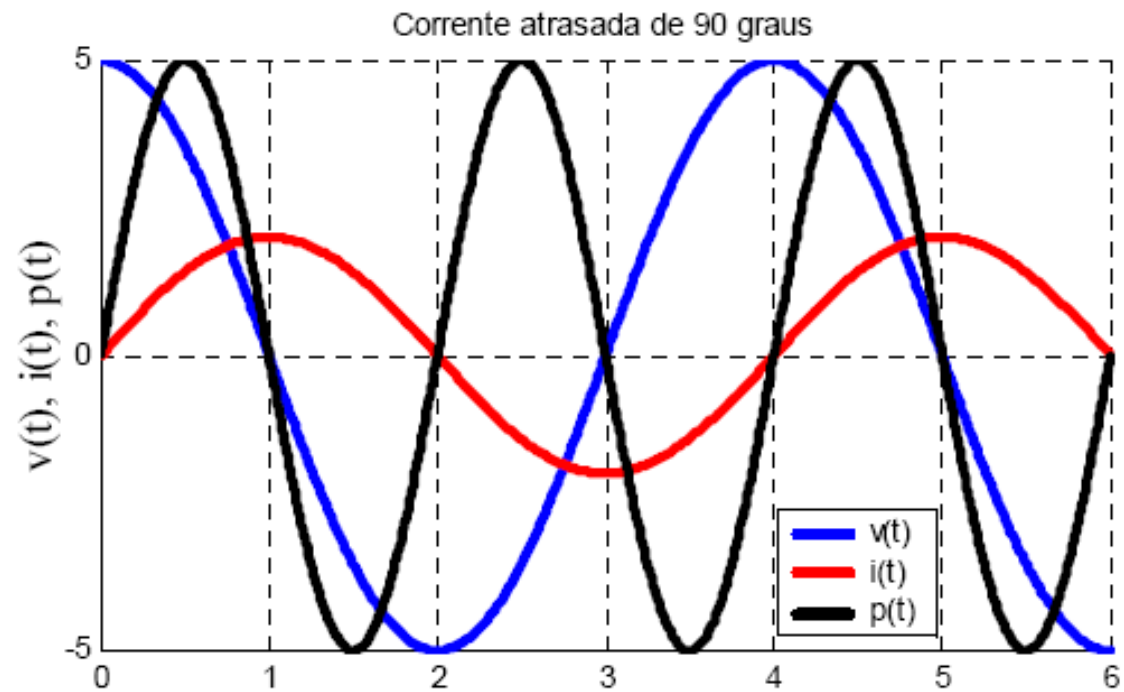
Definições:

P : potência útil, aquela que realiza trabalho

Q: potência reativa, circula na rede sem que haja transferência de potência

//Fácil correção do FP//

Ex: Potência reativa indutiva



Potência Complexa com Distorções harmônicas

$$P = \sum V_n I_n \cos \varphi_n$$

$$Q = \sum V_n I_n \sin \varphi_n$$

$$S = V_{\text{rms}} \cdot I_{\text{rms}}$$

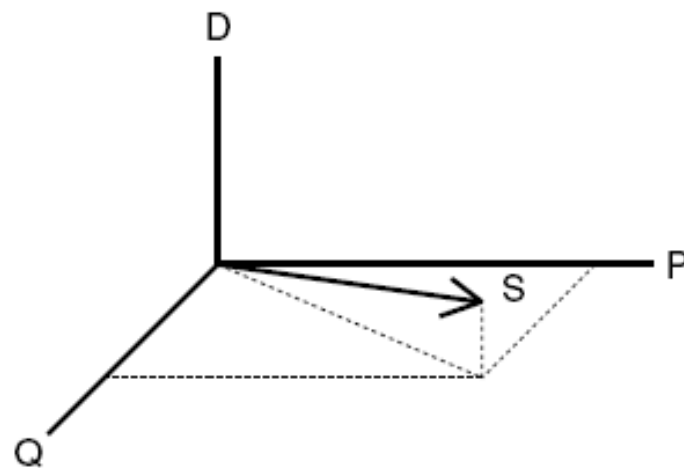
$$FP = P/S$$

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

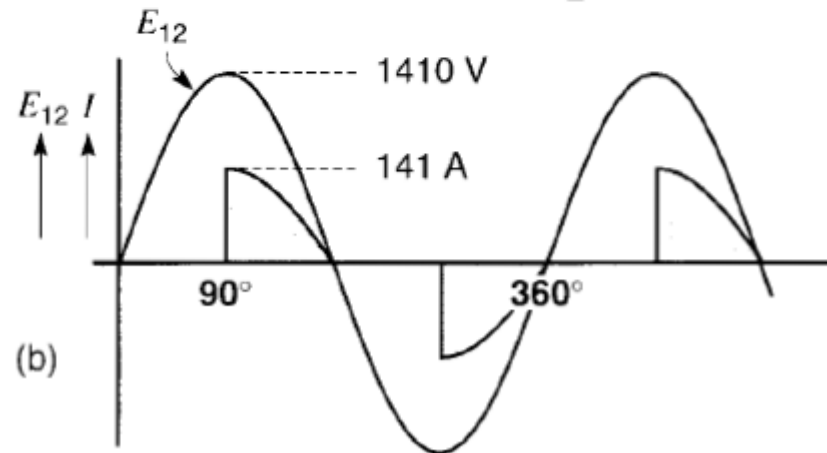
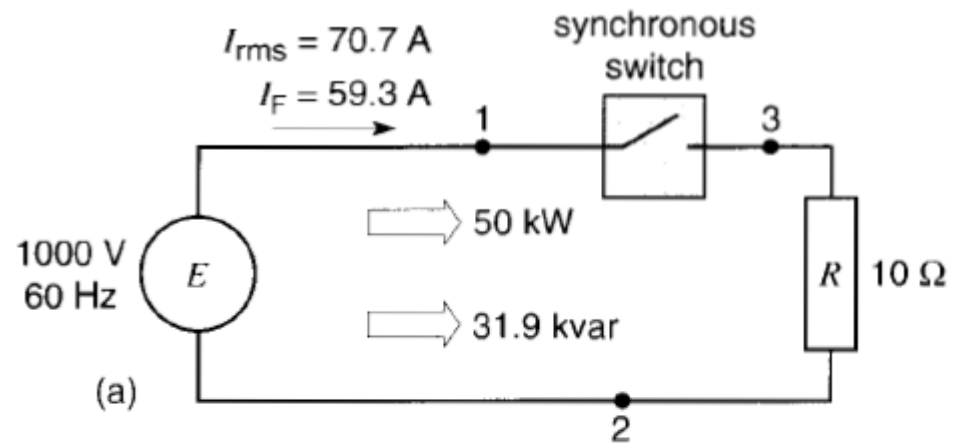
Obs: A interação entre diferentes frequências não produz potência ativa

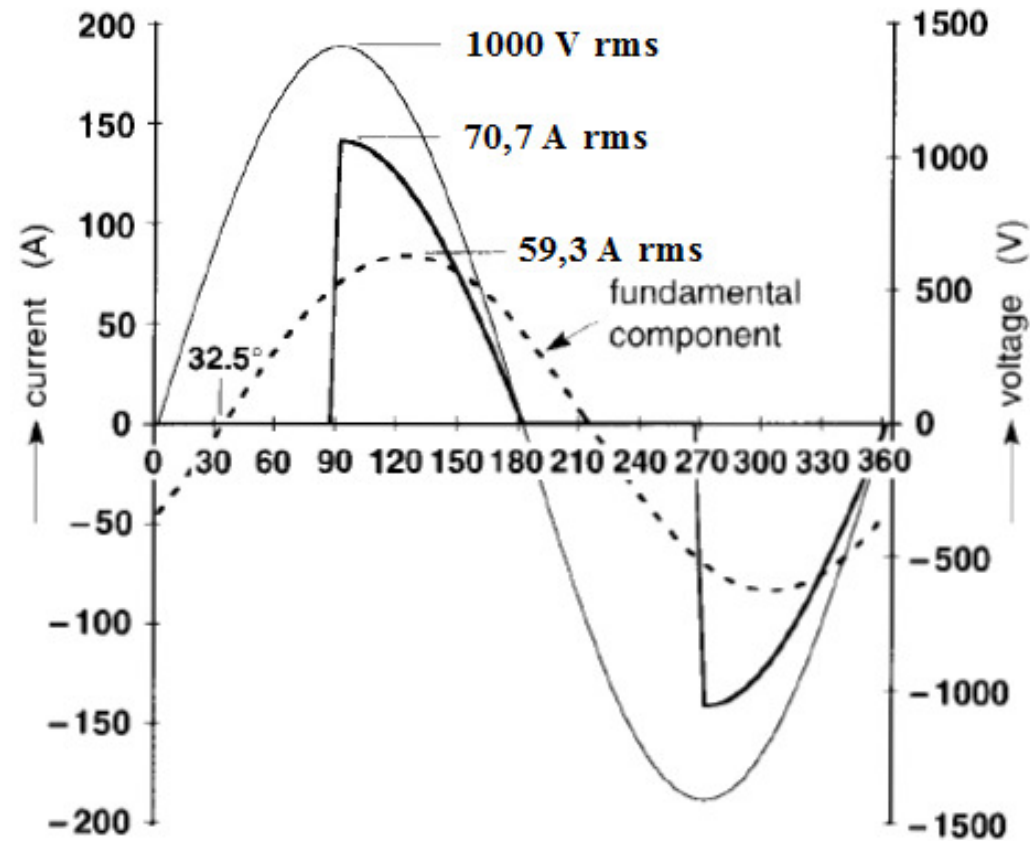
//Difícil correção do FP//

Tetraedro de potências



Ex: Chave bloqueia meia onda de corrente





Para a fundamental:

$$P = V.I.\cos\theta = 1000.(59,3).\cos32,5^\circ = 50 \text{ KW}$$

$$fp = 0,84$$

$$Q = V.I.\sen\theta = 100.(59,3).\sen32,5^\circ = 31,9 \text{ KVAr}$$

Total:

$$S = V.I = 1000.70,7 = 70,7 \text{ KVA}$$

$$FP = P/S = 50/(70,7) = 0,7$$

$$D = 38,48 \text{ KVAd}$$

A potência **Q** é a energia trocada pela rede (não realiza trabalho), mas a energia não está sendo trocada entre elementos armazenadores de energia.



Teoria das potências ativas e reativas instantâneas ou teoria p-q

- Proposta por Akagi, 1984
- São calculadas no domínio do tempo
- Baseia-se na transformação dos eixos **a**, **b** e **c** para os eixos ortogonais α e β estacionário
- Calcula a potência ativa instantânea **p** e a potência reativa instantânea **q** do sistema trifásico
- Os conceitos são diferentes da potência convencional, pois:

Real power:

$$p = \bar{p} + \tilde{p}$$

Imaginary power:

$$q = \bar{q} + \tilde{q}$$

Average Oscillating
powers powers

//Fácil correção do FP com filtro ativo (instantaneamente)//

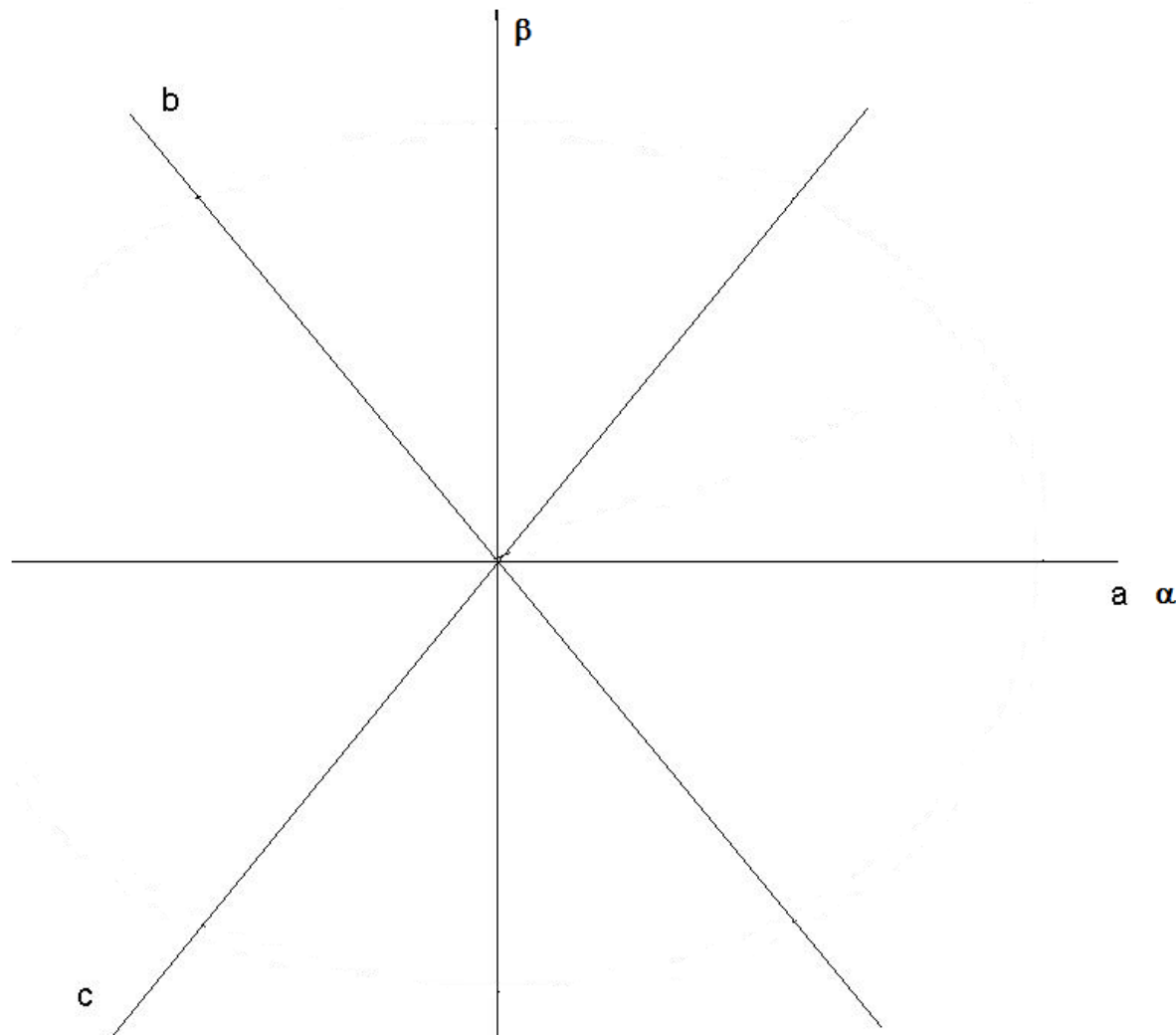
- As potências **p** e **q** podem ser obtidas tanto para cargas equilibradas como desequilibradas, sendo lineares ou não.
- Podem ser também calculadas em regime transitório ou permanente.

Pela transformada de Clarke (sistema trifásico sem neutro):

$$\begin{bmatrix} v_{\alpha} \\ v_{\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix}$$

Um sistema trifásico é decomposto em um sistema bifásico
O mesmo é válido para a transformada da corrente.

Transforma-se as tensões trifásicas das fase a,b e c em componentes ortogonais α e β , coincidindo os eixos a e α de referência.



$$a, b, c \Rightarrow \alpha \beta$$

As componentes em fase da corrente e tensão fornecem a potência ativa instantânea **p**

As componentes em quadratura da corrente e tensão fornecem a potência reativa instantânea **q**

$$p_{3\phi} = v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c = v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta = p$$

$$q = -v_\alpha i_\beta + v_\beta i_\alpha$$

$$\begin{vmatrix} p \\ q \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ v_\beta & -v_\alpha \end{vmatrix} \begin{vmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{vmatrix}$$

sendo:

$$p = \bar{p} + \tilde{p}$$

(parcela média + parcela alternada)

$$q = \bar{q} + \tilde{q}$$

A potência ativa média $\overline{p}$ é a única potência que realiza trabalho, que é transformada em outro tipo de energia. Não deve ser compensada.

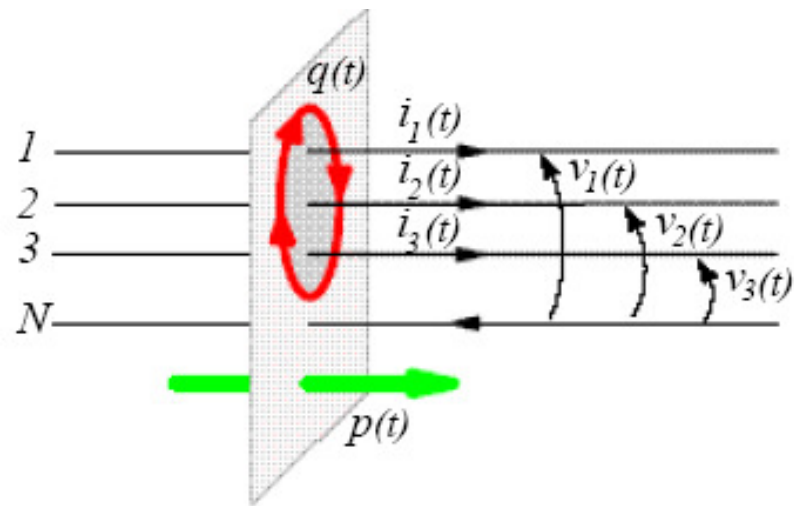
A potência ativa alternada $\tilde{p}$ é a potência que não realiza trabalho. Sem a presença de harmônicas esta seria zero. É a parcela da potência útil que está sendo convertida em potência reativa. Deve ser compensada.

Na teoria convencional, a potência reativa corresponde aquela parte da potência cujo valor médio é nulo. Aqui, o significado físico da potência imaginária trifásica $\mathbf{q}$ instantânea é um tanto quanto diferente: esta potência corresponde a uma potência que existe nas fases individualmente, mas no conjunto trifásico não contribuem para a potência ativa instantânea trifásica. A soma das potências reativas nas duas fases α e β é nula.

A potência reativa instantânea média $\overline{q}$ é a potência reativa convencional. Deve ser compensada.

A potência reativa instantânea alternada $\tilde{q}$ é a potência produzida pelas componentes harmônicas. Sem a presença de harmônicas esta seria zero. Deve ser compensada.

Significado físico:



Calculando as correntes α e β em função de $\mathbf{p}$ e $\mathbf{q}$, tem-se:

$$\begin{vmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{vmatrix} = \frac{1}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} \begin{vmatrix} v_{\alpha} & -v_{\beta} \\ v_{\beta} & v_{\alpha} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} p \\ q \end{vmatrix}$$

Separando as potências $\mathbf{p}$ e $\mathbf{q}$ e as correntes em parcelas ativa e reativa, tem-se:

$$\begin{vmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{vmatrix} = \frac{1}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} \left\{ \begin{vmatrix} v_{\alpha} & -v_{\beta} \\ v_{\beta} & v_{\alpha} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} p \\ 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} v_{\alpha} & -v_{\beta} \\ v_{\beta} & v_{\alpha} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 0 \\ q \end{vmatrix} \right\} = \begin{vmatrix} i_{\alpha p} \\ i_{\beta p} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} i_{\alpha q} \\ i_{\beta q} \end{vmatrix}$$

Obtendo as correntes em função de **p** e **q**:

$$i_{\alpha p} = \frac{v_{\alpha}}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} p ,$$

$$i_{\alpha q} = \frac{-v_{\beta}}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} q ,$$

$$i_{\beta p} = \frac{v_{\beta}}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} p ,$$

$$i_{\beta q} = \frac{v_{\alpha}}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} q .$$

Separando a potência instantânea ativa $\mathbf{p}$ em parcela média e alternada, tem-se as correntes nas fases α e β :

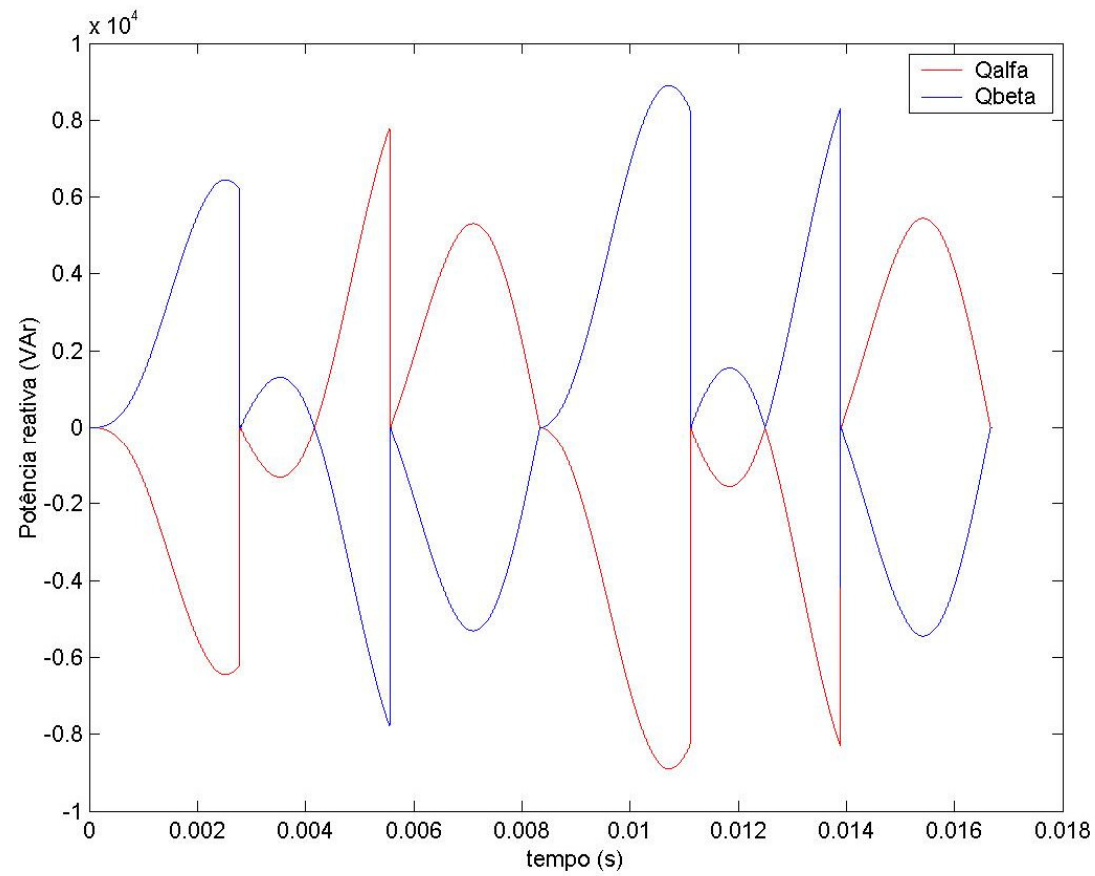
$$i_{\alpha\bar{p}} = \frac{v_{\alpha}}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} \bar{p}, \quad i_{\beta\bar{p}} = \frac{v_{\beta}}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} \bar{p}$$

$$i_{\alpha\tilde{p}} = \frac{v_{\alpha}}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} \tilde{p}, \quad i_{\beta\tilde{p}} = \frac{v_{\beta}}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} \tilde{p}$$

As correntes $i_{\alpha q}$ e $i_{\beta q}$ dependentes de $\mathbf{q}$ podem ser compensadas, pois anularão a potência reativa $\mathbf{q}$ que é trocada no sistema e não produz trabalho.

A potência $\bar{p}$ corresponde justamente a parcela da potência ativa que é transformada em trabalho útil na carga, e assim, não tem sentido falar em sua compensação. Não é compensada as correntes $i_{\alpha\bar{p}}$ e $i_{\beta\bar{p}}$. Por outro lado, $\tilde{p}$ tem valor médio zero, e portanto, pode ser compensado sem alterar o fornecimento de potência para a carga. As correntes $i_{\alpha\tilde{p}}$ e $i_{\beta\tilde{p}}$ devem ser compensadas para corrigir a distorção harmônica provocada por $\mathbf{p}$.

Potência reativa instantânea nas fases α e β :



$$q\alpha + q\beta = 0$$

É necessário converter as correntes de compensação i_c nas fases α e β para as fases de referência **a-b-c**, utilizando a transformada inversa de Clarke:

$$\begin{bmatrix} i_{ca} \\ i_{cb} \\ i_{cc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix}$$

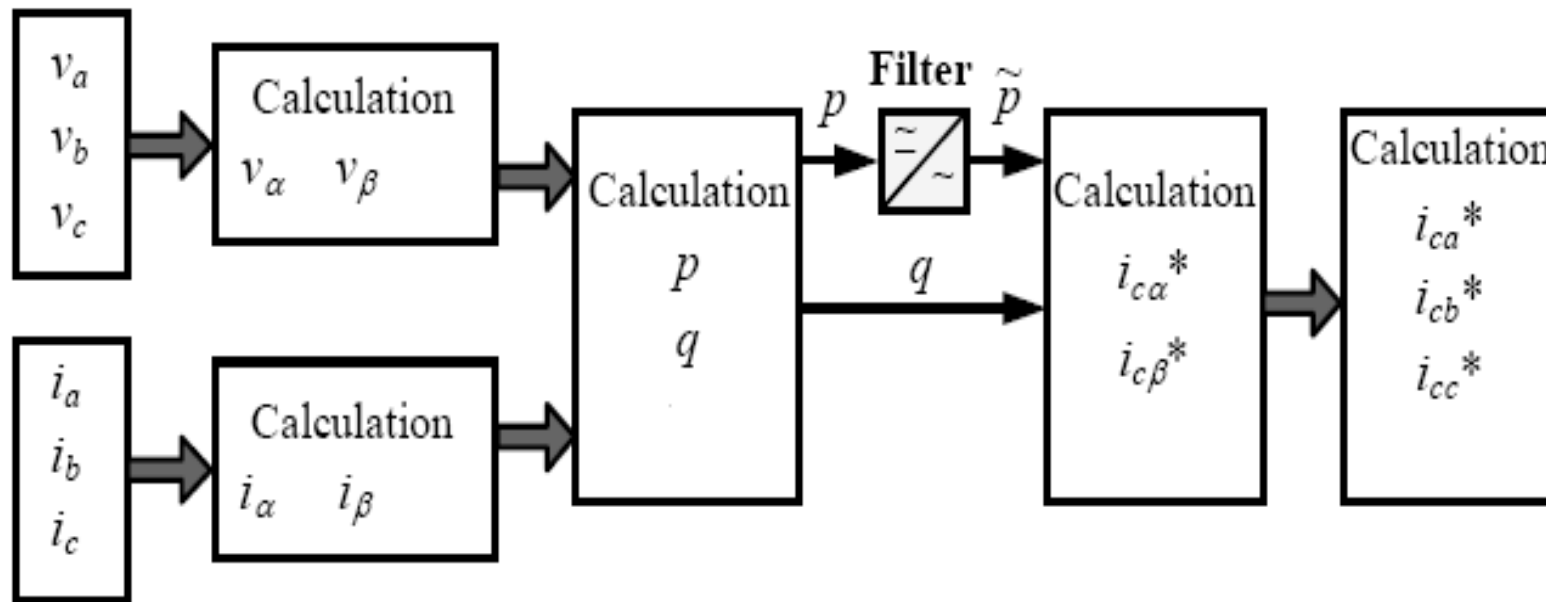
As correntes compensadas devem ser injetadas na rede em sentido contrário, ou seja, negativas, anulando o efeito da potência a qual esta referida (reativa instantânea ou ativa oscilante).

A compensação destas correntes é realizada através de filtros ativos de potência, constituídos basicamente de inversores de tensão ou corrente.

Tabela da corrente compensada i_c

Potência a ser Eliminada	Corrente Injetada	Carga Vista pela Fonte CA
Reativa (Q)	$i_{c\bar{q}}$	Com fator de deslocamento unitário
Imaginária Instantânea (q)	$i_{c\bar{q}} + i_{c\tilde{q}}$	com fator de deslocamento unitário
Harmônica (H)	$i_{c\tilde{p}} + i_{c\tilde{q}}$	linear (RL ou RC)
Reativa (Q) + Harmônica (H)	$i_{c\tilde{p}} + i_{c\bar{q}} + i_{c\tilde{q}}$	resistiva pura

Esquema da correção da distorção harmônica e do fator de potência – cálculo pq



Obs: O filtro utilizado é um filtro passa alta.
As correntes são injetadas em sentido contrário ao da fonte

Filtro Ativo

Principais utilidades:

- Compensação da distorção harmônica de corrente
- Compensação da potência reativa

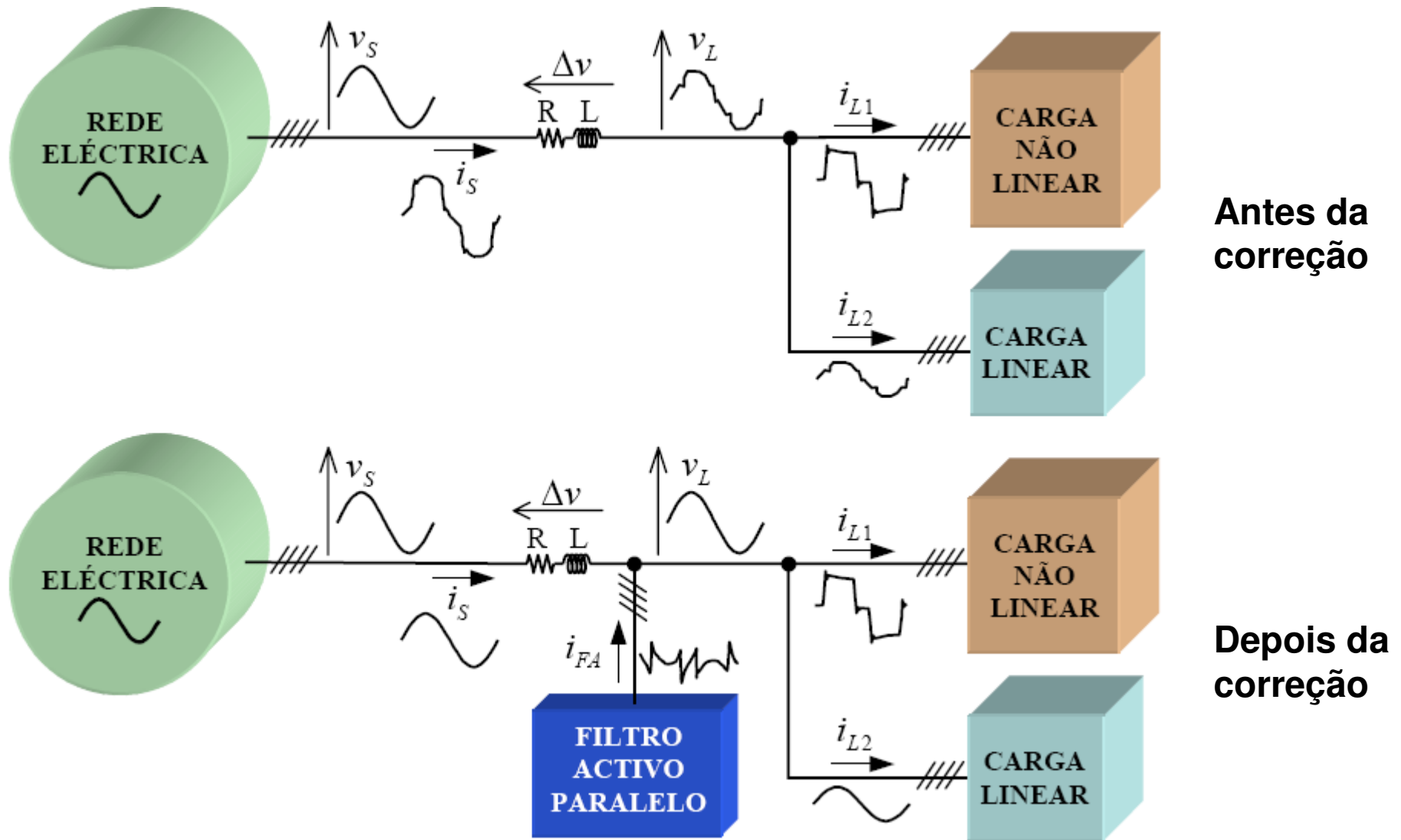
O filtro ativo é composto basicamente de um inversor, um controlador e um armazenador de energia cc.

O controlador processa os sinais de entrada, calcula as corrente de compensação e manda este controle para o inversor que injetará estas correntes na rede.

Os inversores são uma das partes críticas dos filtros ativos de potência, uma vez que é este módulo que faz a interface com a rede elétrica e injeta as tensões ou correntes para compensar os problemas da Qualidade de Energia Elétrica.

//Eletrônica de potência + microprocessador + controle + teoria p-q

Esquema:

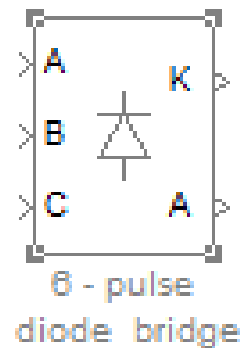


T) Simular no MatLab/Simulink a potência ativa instantânea **p** e a reativa instantânea **q** para o retificador trifásico de onda completa com a seguinte carga:

$$R = 10 \, \Omega \quad L = 200 \, \text{mH}$$

Sendo: $V_{\text{fase}} = 220 \, \text{rms}$

Utilize os blocos do “SimPowerSystems”



Prof. Marcelo Semensato

Engenharia Elétrica – IFG Jataí

<http://ifgjatai.ya.st>