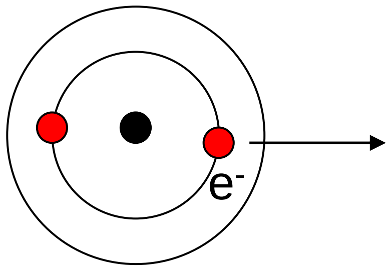
CIRCUITOS ELÉTRICOS

CONCEITOS BÁSICOS

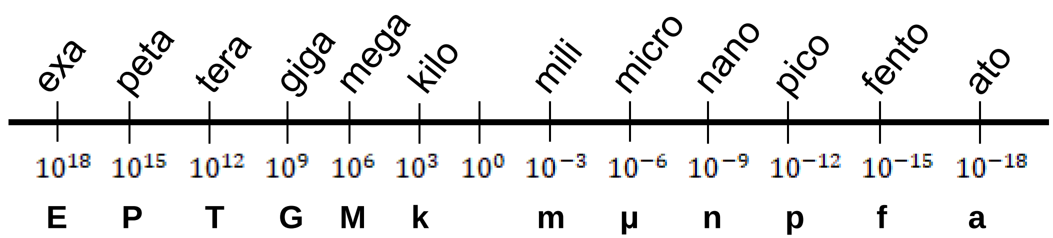
Prof. Marcos Fergütz

Agosto/2024

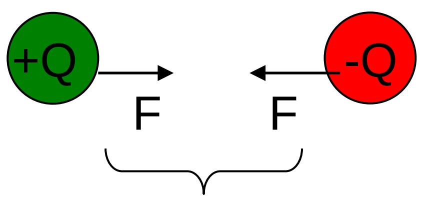
- Carga Elétrica (Q, q) [Unidade: Coulomb C]



Quando se fornece ou retira energia do elétron (e^-), pode-se movimentá-lo por entre as camadas (K, L, M, N...). No limite, pode-se fornecer energia suficiente para que o elétron se desprenda do átomo, gerando uma carga negativa, o elétron, e uma carga positiva, representado pelo íon composto pelo átomo desequilibrado em sua composição.



• Experiência de Coulomb



$F = 10^{-7} x c^2 \Rightarrow |Q| = 1C$

Onde c é a velocidade da luz

$1C = 6{,}24 x 10^{18}\ e^-$

$e^- = 1{,}602 x 10^{-19}\ C$

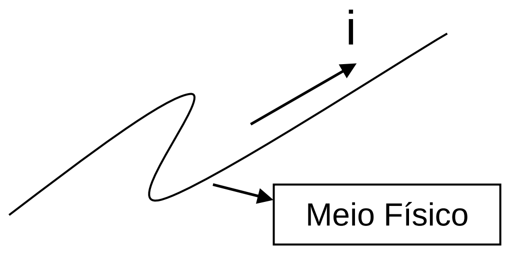
Eletrostática ➔ Cargas em equilíbrio.

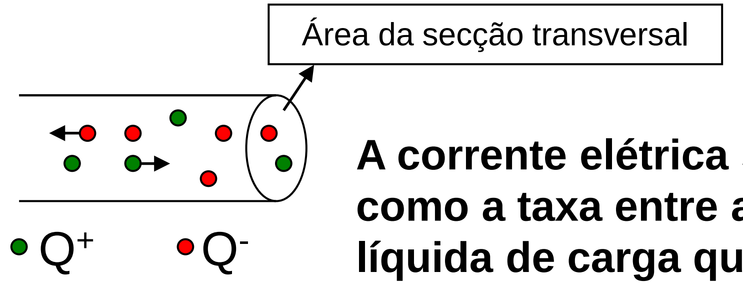
Eletrodinâmica ➔ Cargas em movimento

- Transferência de energia;
- Transferência de informação.

- Corrente Elétrica (I, i) [Unidade: Ampere A]

Corrente será a definida pelo movimento de cargas em um meio físico.

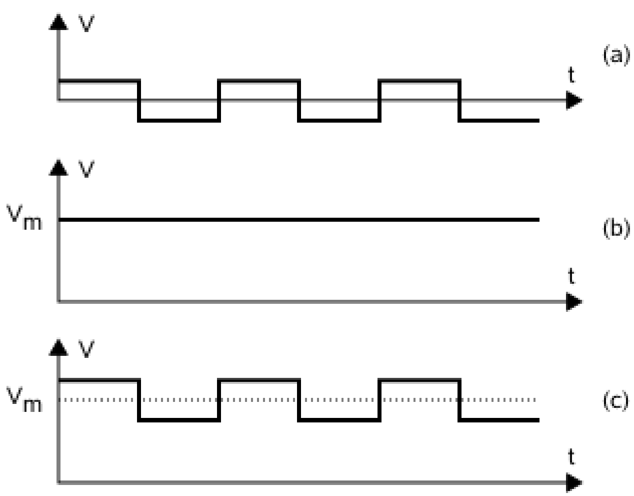




A corrente elétrica será definida como a taxa entre a variação líquida de carga que atravessa uma secção transversal do meio físico em um determinado período de tempo, ou seja:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad \left(A = \frac{C}{s} \right), \ \text{no limite} \ \Rightarrow \ i = \lim_{t \to 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t}, \ \text{assim} \Rightarrow \ i = \frac{dq}{dt} \quad \text{ou} \quad q = \int i.dt$$

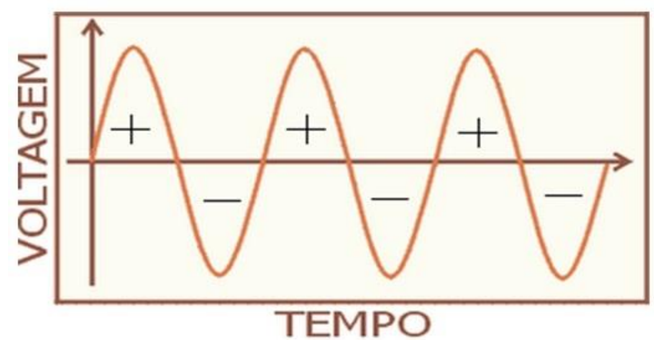
- Tipos de Correntes



Alternada

Contínua

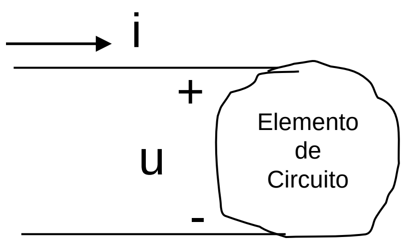
Contínua pulsante



Fonte: www.google.com/imagens

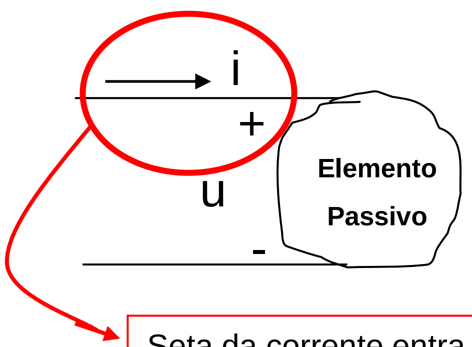
- Diferença de Potencial (U, u) [Unidade: Volt V]

O movimento de cargas acarreta em realização de trabalho, ou seja, em dispêndio de energia. Assim, para uma carga se deslocar de um determinado ponto a outro, deverá receber ou perder energia, tal qual a ideia para deslocamento do elétron dentro de um átomo.

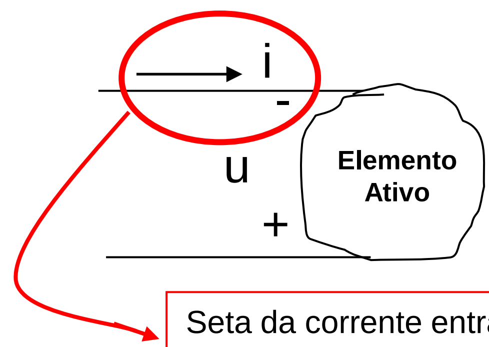


Uma vez que a energia é despendida pela carga, então:

$$V = \frac{J}{C}$$



Seta da corrente entra no terminal positivo da tensão, diz-se que o elemento tem polarização de elemento passivo.



Seta da corrente entra no terminal negativo da tensão, diz-se que o elemento tem polarização de elemento ativo.

Elemento Passivo ➔ Absorve Energia

Elemento Ativo ➔ Fornece Energia

- Potência (P, p)   [Unidade: Watt W]

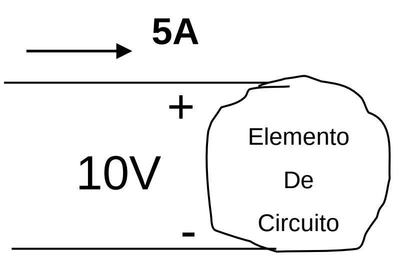
• Capacidade de transferir energia ao longo do tempo.

$$\frac{C}{s} \text{ x } \frac{J}{C} = \frac{J}{s} = \mathrm{W},\ \text{então,}\quad P = UxI$$

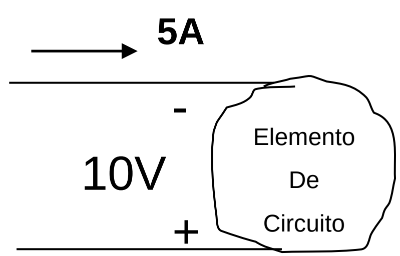
- Energia (E, e) [Unidade: Joule J]

$$\mathrm{E} = Pxt$$

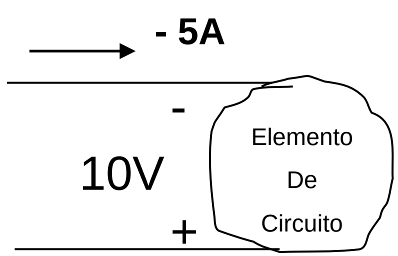
- Exemplos



$$\mathrm{P} = 10x5 = 50W(abs)$$

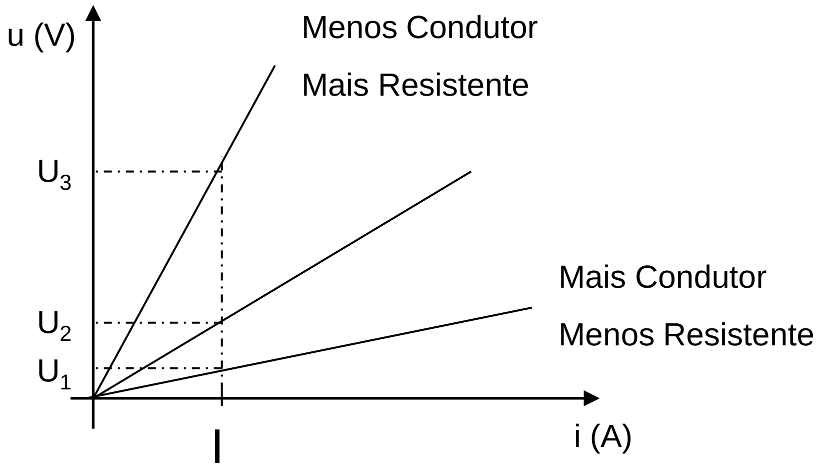


$$\mathrm{P} = 10x5 = 50W(\,forn)$$



$$\mathrm{P} = 10x(-5) = -50W(\,forn) = 50W(abs)$$

- Lei de OHM



A experiência levou OHM a concluir que:

$$U \,\alpha\, I$$

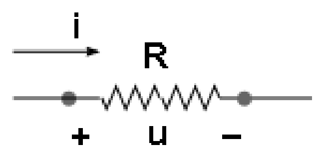
Portanto, haveria uma constante de proporcionalidade para definir:

$$U = \mathrm{R} \times I$$

RESISTÊNCIA

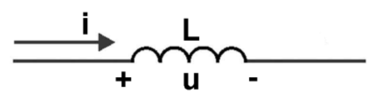
- Elementos de Circuitos

- Resistor [R] Unidade: OHM (Ω) ➔



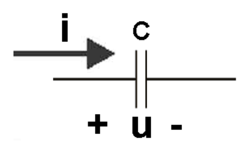
$$U = \mathrm{R} \times I \qquad \mathrm{P} = U \times I = R \times I^2 = \frac{V^2}{R}$$

- Indutor [L] Unidade HENRY (H) ➔



$$u = L \times \frac{di}{dt}$$

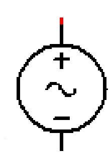
- Capacitor [C] Unidade FARAD (F) ➔



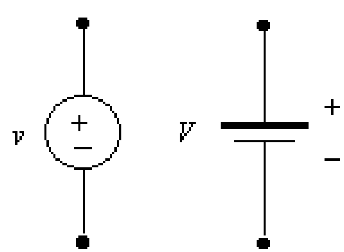
$$i = C \times \frac{du}{dt}$$

- Fontes de Tensão:

Alternada

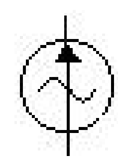


Contínua

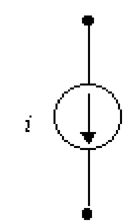


- Fontes de Corrente:

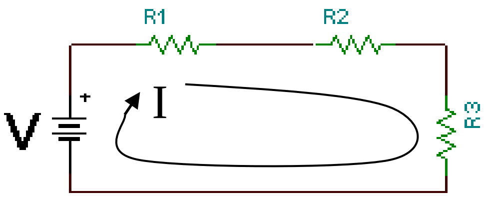
Alternada

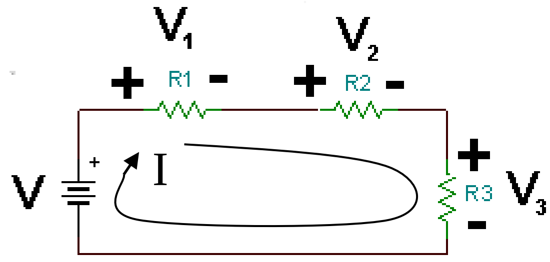


Contínua



- Lei de Kirchhoff das Tensões (LKT)





LKT ➔ $\sum_{i=1}^{n} V_i = 0$

$+V_1 + V_2 + V_3 - V = 0 \Rightarrow \quad +V_1 + V_2 + V_3 = V$, Sabendo que: $\begin{cases} V_1 = R_1 \times I \\ V_2 = R_2 \times I \\ V_3 = R_3 \times I \end{cases}$

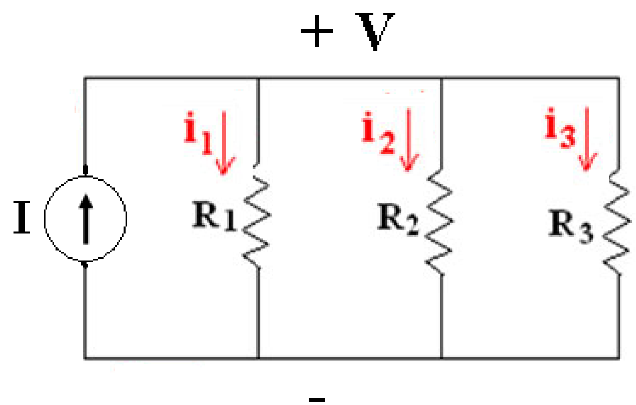
então, $R_1 \times I + R_2 \times I + R_3 \times I = V \Rightarrow \underbrace{(R_1 + R_2 + R_3)}_{R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3} \times I = V \Rightarrow$

Portanto, $R_{eq} \times I = V \Rightarrow \quad I = \dfrac{V}{R_{eq}}$

- Associação Série de Resistores implica em todos os elementos estarem sendo percorridos pela mesma corrente, portanto:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n = \sum_{i=1}^{n} R_i$$

- Lei de Kirchhoff das Correntes (LKC)



LKC ➔ $$\sum_{j=1}^{n} I_j = 0$$

$$+I_1 + I_2 + I_3 - I = 0 \Rightarrow \quad I_1 + I_2 + I_3 = I$$, Sabendo que: $\begin{cases} I_1 = V/R_1 \\ I_2 = V/R_2 \\ I_3 = V/R_3 \end{cases}$

então, $$V/R_1 + V/R_2 + V/R_3 = I \Rightarrow (\underbrace{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3}_{\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}) \times V = I \Rightarrow$$

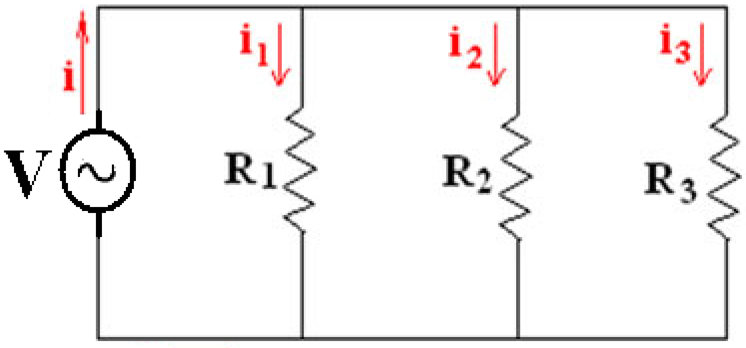
Portanto, $I = \dfrac{V}{R_{eq}} \Rightarrow V = R_{eq} \times I$

• Associação Paralela de Resistores implica em todos os elementos estarem sujeitos a uma mesma diferença de potencial (tensão), portanto:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}$$

Obs.: para 2 resistores em paralelo, temos: $R_{eq} = \dfrac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$

A aplicação de circuitos em instalações elétricas, em geral, está relacionado ao seguinte esquema de ligação:

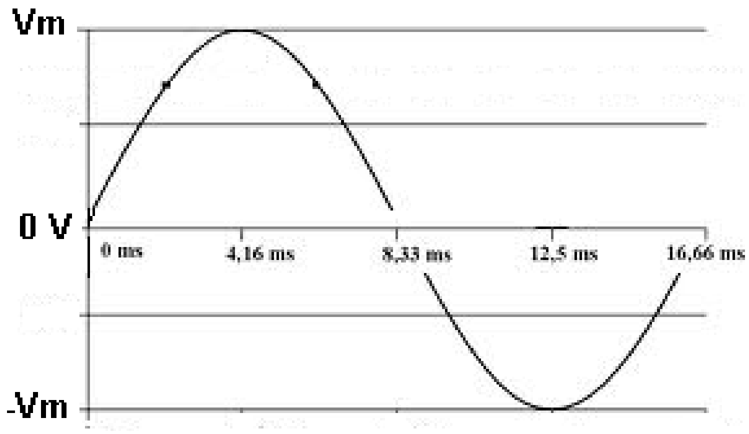


Onde, a fonte representa a alimentação em corrente alternada disponibilizada pela concessionária de energia e as resistências representam as cargas instaladas, tais como, iluminação, chuveiro, torneira elétrica, forno elétrico, microondas e outros equipamentos.

Como se pode observar, os equipamentos estão ligados em paralelo entre si e com a fonte de tensão. Assim, garante-se que todos os equipamentos estarão sendo alimentados pela mesma tensão, que deve ser a tensão nominal do equipamento. Por isto, deve se ter o cuidado quando da utilização de equipamentos denominados de ***bi-volt(110V/220V)***, pois, se for selecionada a tensão inferior à da fonte(concessionária), em geral o equipamento queima. Se for selecionada a tensão superior à da fonte, o equipamento não funciona ou, se funcionar, não terá o desempenho adequado.

- Corrente Alternada Senoidal

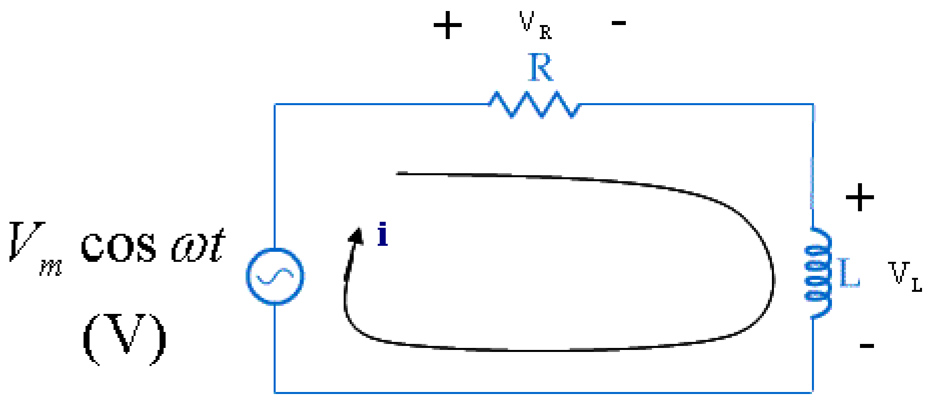
A energia elétrica é gerada e distribuída na forma de uma senóide que oscila em 60Hz, conforme o gráfico abaixo:



Como é característica da forma senoidal, a onda apresenta um valor máximo (Vm) e um mínimo (-Vm) e, oscilando em 60Hz, apresenta um período de 16,67ms.

No Brasil, há dois padrões de valores máximos gerados, 155V ou 311V. Esta diferença é diversificada entre os estados brasileiros. Por exemplo, no Paraná se usa 155V, já em Santa Catarina prevalece o 311V. Estas diferenças nos valores são históricas e envolve o desenvolvimento e domínio de tecnologia, além do custo benefício da instalação.

- Circuitos com Excitação Senoidal



Aplicando LKT, tem-se:

$$R \times i + L \times \frac{di}{dt} = V_m \cos \omega.t$$

Resolvendo a equação diferencial de 1ª ordem, para o regime permanente, tem-se:

$$i = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \cos[\omega.t - \underbrace{\tan^{-1}(\omega L / R)}] \ \text{(A)}$$

Defasagem $\Rightarrow \phi = \tan^{-1}(\frac{\omega L}{R})$

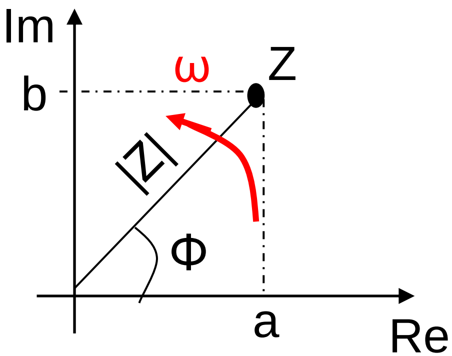
Pode-se observar que tanto a amplitude, quanto a defasagem, dependem da frequência. O tempo, agora, apenas denota a existência de uma senóide, ou seja, quando a excitação é senoidal, a variável de interesse passa a ser a frequência e não mais o tempo.

Assim, no tocante a circuitos elétricos é desenvolvida uma teoria denominada de FASORIAL, baseada em um elemento matemático denominado FASOR, e que passa a ter como domínio o conjunto dos números complexos.

A teoria de Fasores pode ser estudada em detalhes no capítulo 9, do livro do Irwin, que está especificado no plano de ensino da disciplina.

Para facilitar o entendimento, aqui se desenvolverão alguns conceitos visando dar um mínimo de base sobre o que se vai estudar.

A idéia do fasor está baseada na teoria dos números complexos, conforme segue:



$$Z = a + j.b \ \ (\text{retangular}) \quad \text{ou} \quad Z = |Z| \angle \phi \ \ (\text{polar})$$

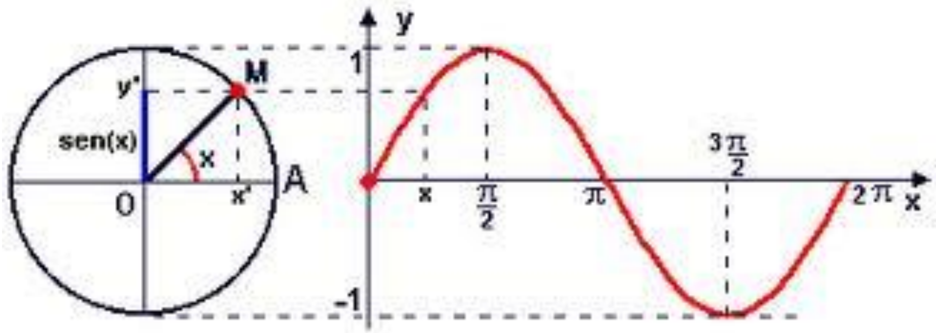
$$\text{onde,} \quad |Z| = \sqrt{a^2 + b^2} \ \ \text{e} \ \ \phi = \tan^{-1}\left(b/a\right)$$

$$a = |Z| \times \cos\phi \ \ \text{e} \ \ b = |Z| \times sen\phi$$

Se o número complexo, com sua representação polar (módulo e fase) assume uma velocidade angular (ω), então, a este conjunto, denomina-se de Fasor.

A ideia de haver um módulo que se desloca com velocidade angular, é muito próxima da teoria da geração de senos e cosenos, com se verá adiante.

A figura abaixo, indica a geração do seno. Observa-se o deslocamento de um ponto M, com fase x e com uma velocidade angular.



Fonte: www.google.com.br/imagens

Assim, vamos intuir que um sinal senoidal tem três informações importantes: a amplitude, a fase e a velocidade angular.

Portanto, se assumirmos conhecida uma dada frequência angular (Domínio da Frequência), o que nos sobra para caracterizar uma onda senoidal é apenas a amplitude e a sua fase, ou seja, tal qual um número complexo e tal qual um Fasor.

Com efeito, vamos poder representar as tensões e correntes, no domínio da frequência, da seguinte forma:

$$\mathrm{v} = V_M \cos(\omega t + \alpha)\,(V) \qquad \mathrm{V} = V_M \angle \alpha\,(V)$$

$$\mathrm{i} = I_M \cos(\omega t + \theta)\,(A) \qquad \mathrm{I} = I_M \angle \theta\,(A)$$

$$\left.\begin{array}{l} \mathrm{V} = V_M \angle \alpha\,(V) \\ \mathrm{I} = I_M \angle \theta\,(A) \end{array}\right\} \omega$$

Assumindo, agora, que as grandezas elétricas TENSÃO e CORRENTE estão representadas pelos fasores V e I, respectivamente, então pode-se desenvolver o conceito de IMPEDÂNCIA (Z), com sendo:

$$\mathrm{Z} = \frac{V}{I} = \frac{\mathrm{V_M}\angle\alpha}{I_M\angle\theta} = \frac{V_M}{I_M}\angle\alpha-\theta \Rightarrow \quad |\mathrm{Z}| = \frac{V_M}{I_M} \quad \text{e} \quad \phi = \alpha-\theta$$

Com efeito, apresenta-se as relações fasoriais para os 3 elementos de circuito passivos:

$$\omega = 2.\pi.f \quad ({}^{rd}\!/\!_{s})$$

- Resistor $\quad \mathrm{Z_R} = R \quad$ ou $\quad Z_R = R\angle 0^o$
- Indutor $\quad \mathrm{Z_L} = j\omega L \quad$ ou $\quad Z_L = \omega L\angle +90^o$
- Capacitor $\quad \mathrm{Z_C} = -\dfrac{j}{\omega C} \quad$ ou $\quad Z_C = \dfrac{1}{\omega C}\angle -90^o$

Impedância se associa tal qual Resistência

Uma vez apresentados os conceitos relativos aos FASORES, pode-se voltar a atenção para o desenvolvimento dos conceitos de potência, os quais são de grande interesse e aplicação quando se trata de instalações elétricas.

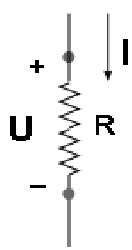
- Conceito de Valor Eficaz (RMS – Root Mean Square)

As ondas periódicas tem aplicações diversas, porém, como a onda senoidal apresenta um valor médio nulo, dentro de um período, se faz necessário desenvolver o conceito de VALOR EFICAZ de uma onda periódica, em particular a senoidal. Somente assim, a onda senoidal terá sentido de utilização na aplicação da transferência de energia (potência), que é o objetivo das instalações elétricas.

Em termos de realização de trabalho, ou dispêndio de energia, ou potência desenvolvida, não importa o tipo de fonte, contínua ou alternada, mas, o resultado em si. Ou seja, a transferência de energia, que em geral, está relacionada com a variação de temperatura, o que por sua vez, dá noção de potência desenvolvida.

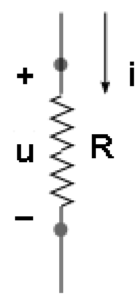
A ideia de Valor Eficaz está baseada na comparação da transferência de energia, via potência dissipada, entre dois elementos idênticos.

Para desenvolver o conceito, vamos supor duas resistências de mesmo valor, estando uma sujeita a uma alimentação em corrente contínua (CC) e a outra em corrente alternada (CA), conforme segue:



CC

$$P_{cc} = \mathrm{R} \times \mathrm{I}^2$$



CA

$$Onde, \quad \mathrm{i} = I_M \cos \omega t \; (A)$$

$$p = \mathrm{R} \times \mathrm{i}^2$$

$$P_M = \frac{1}{T}\int_0^{\mathrm{T}} \mathrm{p\,dt} \;\Rightarrow\; P_M = \frac{1}{T}\int_0^{\mathrm{T}} \mathrm{R} \times \mathrm{i}^2 \mathrm{dt}$$

Fazendo, $P_{cc} = P_M$ Tem-se: $R \times I^2 = \frac{1}{T}\int_0^T R \times i^2 dt$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T I_M^2 \cos^2 \omega t \ dt} = \sqrt{\frac{I_M^2}{T}\int_0^T (\tfrac{1}{2} + \tfrac{1}{2}\cos 2\omega t) \ dt}$$

$$I = \sqrt{\frac{I_M^2}{T}\left[\int_0^T \tfrac{1}{2}\, dt + \overbrace{\int_0^T \tfrac{1}{2}\cos 2\omega t \ dt}^{0}\right]} \Rightarrow I = \sqrt{\frac{I_M^2}{T}\left[\int_0^T \tfrac{1}{2}\, dt\right]} = \sqrt{\frac{I_M^2}{T} \times \frac{1}{2} T} \Rightarrow$$

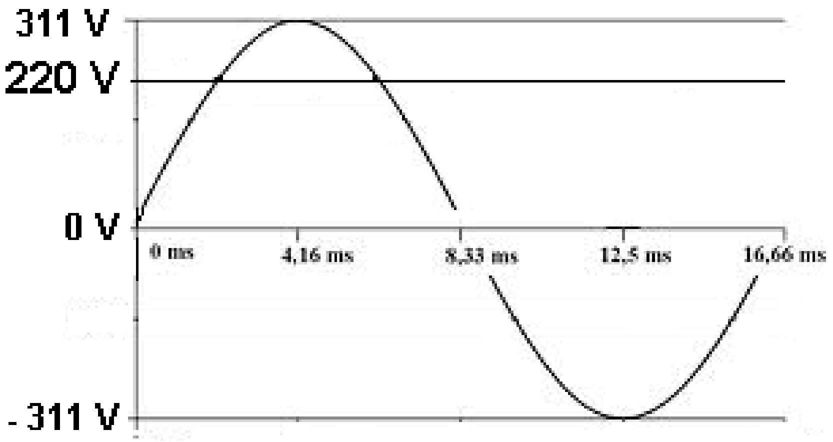
$$I_{ef} = \frac{I_M}{\sqrt{2}}$$ Por analogia: $$V_{ef} = \frac{V_M}{\sqrt{2}}$$

Exemplo:

Em Santa Catarina ➔ $V_M = 311\text{V} \Rightarrow \quad V_{ef} = \frac{311}{\sqrt{2}} = 220\text{V}$

No Paraná ➔ $V_M = 155\text{V} \Rightarrow \quad V_{ef} = \frac{155}{\sqrt{2}} = 110\text{V}$

Portanto, em termos práticos, pode-se afirmar que, do ponto de vista de potência, um sinal senoidal com valor máximo de 311V e oscilando em 60Hz, pode ser substituído por uma fonte de corrente contínua de 220V. O gráfico abaixo, mostra a onda senoidal e o valor eficaz.



Em termos de potência, temos:

- Corrente Contínua ➔ $P_{cc} = \mathrm{U} \times \mathrm{I} = \mathrm{R} \times \mathrm{I}^2 = \dfrac{U^2}{R}$
- Corrente Alternada ➔ $\mathrm{i} = I_M \cos(\omega t + \theta)\,(A)$ $\quad\quad$ $\mathrm{v} = V_M \cos(\omega t + \alpha)\,(V)$

Potência Instantânea ➔ $p = v \times i = \mathrm{R} \times \mathrm{i}^2 = \dfrac{v^2}{R}$ Potência Média ➔ $P_M = \dfrac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \mathrm{pdt}$

Para ondas senoidais, tem-se: $P_M = \dfrac{1}{T} \int_0^{T} \mathrm{pdt}$

Substituindo $\quad \mathrm{i} = I_M \cos(\omega t + \theta)\,(A) \qquad \mathrm{v} = V_M \cos(\omega t + \alpha)\,(V)$

Na fórmula da potência instantânea, tem-se:

$$p = v \times i = V_M . I_M . \cos(\omega . t + \alpha) . \cos(\omega . t + \theta)$$, como $\phi = \alpha - \theta$, então:

$$p = V_M . I_M . \cos(\omega . t + \alpha) . \cos(\omega . t + \alpha - \phi) = \tfrac{1}{2} V_M . I_M . \cos\phi + \tfrac{1}{2} V_M . I_M . \cos(2.\omega . t + 2\alpha - \phi)$$

Para a potência média, tem-se:

$$P_M = \frac{1}{T}\int_0^{\mathrm{T}} \mathrm{pdt} = \frac{1}{T}\int_0^{\mathrm{T}} [\tfrac{1}{2} V_M . I_M . \cos\phi + \tfrac{1}{2} V_M . I_M . \cos(2.\omega . t + 2\alpha - \phi)]\mathrm{dt}$$

$$P_M = \frac{1}{T}\int_0^{\mathrm{T}} \tfrac{1}{2} V_M . I_M . \cos\phi . \mathrm{dt} + \underbrace{\frac{1}{T}\int_0^{\mathrm{T}} \tfrac{1}{2} V_M . I_M . \cos(2.\omega . t + 2\alpha - \phi)\mathrm{dt}}_{0}$$

Cos2ωt tem período de T/2, sendo integrado em T, ou seja, em dois períodos da onda, portanto, valor médio é ZERO.

$$P_M = \frac{1}{T}\int_0^{\mathrm{T}} \tfrac{1}{2} V_M . I_M . \cos\phi . \mathrm{dt} = \tfrac{1}{2} V_M . I_M . \cos\phi . \underbrace{\frac{1}{T}\int_0^{\mathrm{T}} \mathrm{dt}}_{1}$$

$$P_M = \tfrac{1}{2} V_M . I_M . \cos\phi$$

Usando a relação de valor eficaz:

$$P_M = \tfrac{1}{2} V_M . I_M . \cos\phi = \tfrac{1}{2} . \sqrt{2} . V_{ef} . \sqrt{2} . I_{ef} . \cos\phi \Rightarrow P_M = V_{ef} . I_{ef} . \cos\phi \quad (\mathrm{W})$$

Desenvolvendo os conceitos de potência complexa, ativa, reativa e aparente.

$$P_M = V_{ef}.I_{ef}.\cos\phi \Rightarrow \quad P_M = \mathrm{Re}[V_{ef}.I_{ef}.e^{j\phi}] \text{ , mas } \phi = \alpha - \theta, \text{ então :}$$

$$P_M = \mathrm{Re}[V_{ef}.I_{ef}.e^{j(\alpha-\theta)}] \Rightarrow \quad P_M = \mathrm{Re}[\underbrace{V_{ef}.e^{j\alpha}}_{\text{FASOR } \mathrm{V}}.\underbrace{I_{ef}.e^{j(-\theta)}}_{\text{FASOR } \bar{\mathrm{I}}}] \Rightarrow$$

$$P_M = \mathrm{Re}\left[\mathrm{V}.\bar{\mathrm{I}}\right]$$, onde $$T = \mathrm{V}.\bar{\mathrm{I}} \Rightarrow \text{Potência Complexa (VA)}$$

Na forma retangular, tem-se: $$T = P + jQ \begin{cases} P = V_{ef}.I_{ef}.\cos\phi & \textbf{Pot. Ativa (W)} \\ Q = V_{ef}.I_{ef}.sen\phi & \textbf{Pot. Reativa (VAR)} \end{cases}$$

$$T = P + jQ = |\mathrm{T}|\angle\gamma$$

$$|\mathrm{T}| = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{(V_{ef}.I_{ef}.\cos\phi)^2 + (V_{ef}.I_{ef}.sen\phi)^2} = \sqrt{(V_{ef}.I_{ef})^2 \times (\cancelto{1}{\cos^2\phi + sen^2\phi})}$$

$$|\mathrm{T}| = V_{ef}.I_{ef} = S \Rightarrow \text{Potência Aparente (VA)}$$

$$\gamma = tg^{-1}[\mathrm{Im}(T)/\mathrm{Re}(T)] = tg^{-1}\left(\frac{Q}{P}\right) = tg^{-1}\left(\frac{V_{ef}.I_{ef}.sen\phi}{V_{ef}.I_{ef}.\cos\phi}\right) = tg^{-1}\left(\frac{sen\phi}{\cos\phi}\right) = tg^{-1}.tg(\phi) = \phi$$

$$T = P + jQ = |\mathrm{T}|\angle\gamma = S\angle\phi \text{ (VA)}$$

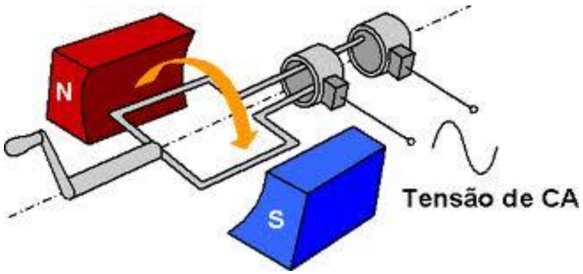
$$P = V_{ef}.I_{ef}.\cos\phi = S.\cos\phi$$

Fator de Potência (FP)

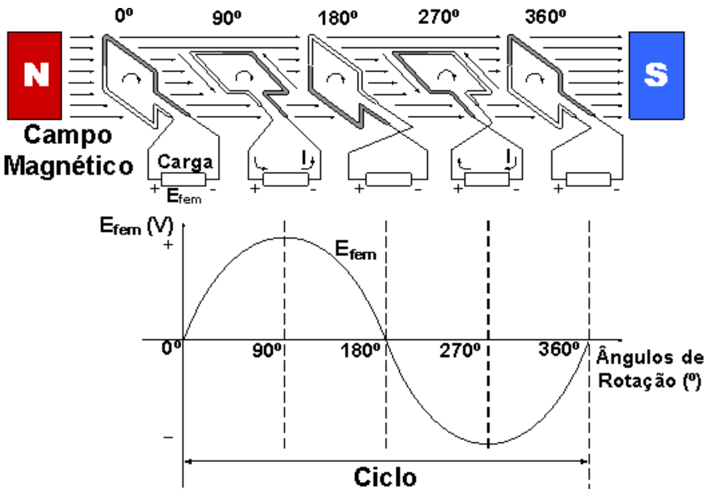
$$FP = \frac{P}{S} \begin{cases} \textbf{Indutor FP atrasado} \\ \phi > 0^o \\ \textbf{Capacitor FP adiantado} \\ \phi < 0^o \end{cases}$$

Sistemas Polifásicos

- Geração de um sinal senoidal

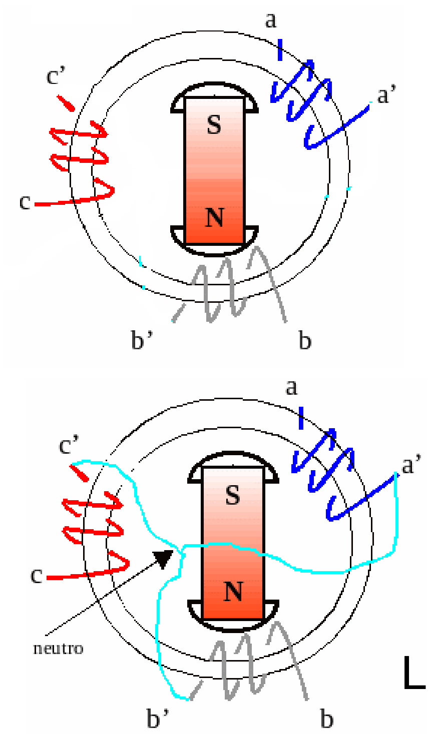


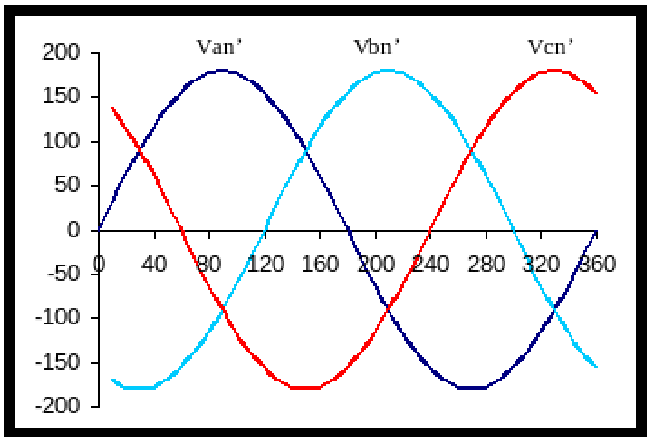
Fonte: http://macao.communications.museum



Fonte: http://macao.communications.museum

- Geração Trifásica



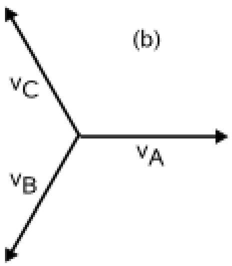


http://dc378.4shared.com/doc/5UNZGUtN/preview.html

$$v_{an} = 180.sen377.t \ \ (V)$$

$$v_{bn} = 180.sen(377.t\text{-}120^o)(V)$$

$$v_{cn} = 180.sen(377.t\text{-}240^o)(V)$$



$$V_{an} = 127\angle 0^o \ \ (V)$$

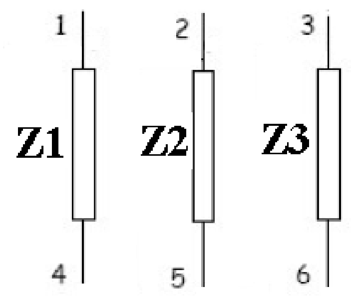
$$V_{bn} = 127\angle -120^o \ (V)$$

$$V_{cn} = 127\angle +120^o \ (V)$$

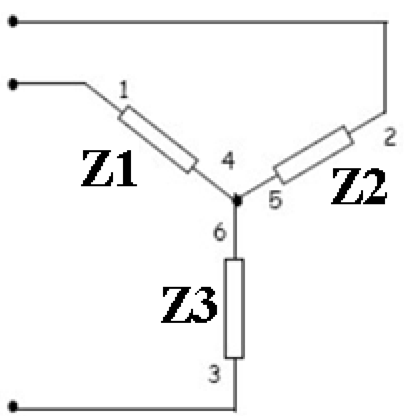
Ligação em Estrela ou Y

Cargas Trifásicas

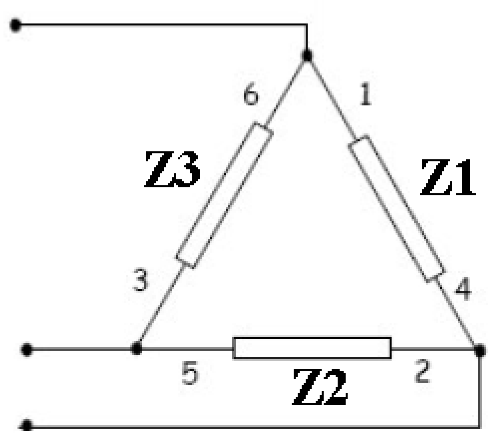
As cargas trifásicas são compostas por 3 impedâncias cujos os terminais são acessíveis, conforme mostra a figura abaixo. A impedâncias podem ser exatamente iguais – Sistema equilibrado -, ou podem ser diferentes - Sistema Desequilibrado.



Uma vez que se tem acesso aos 6 terminais, há a possibilidade de se fazer dois tipos de ligações entre os mesmos:

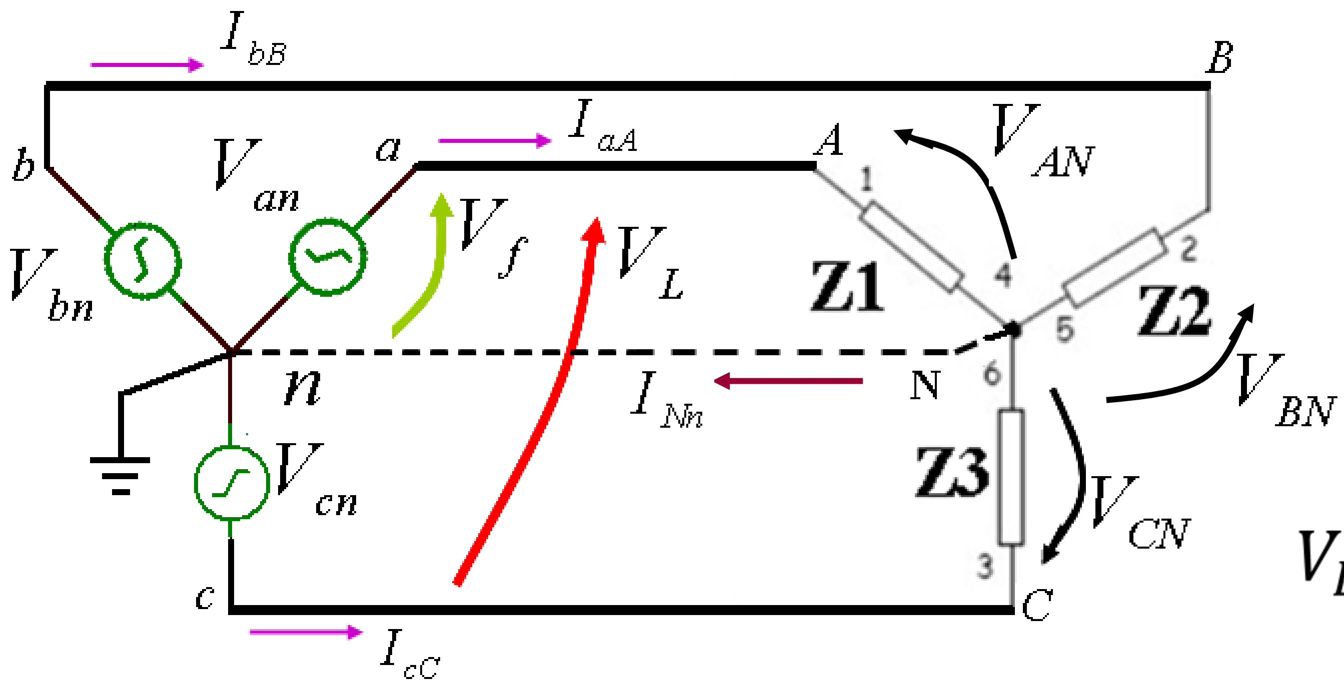


Ligação Y ou Estrela



Ligaçao Delta ou Triângulo (Δ)

Tensões e Correntes no Circuito em Y



$$V_L = \sqrt{3} \times V_f$$

$\text{Tensões de Fase } (V_f) \Rightarrow V_{an}, V_{bn} \text{ e } V_{cn}$

$\text{Tensões de Linha } (V_L) \Rightarrow V_{ab}, V_{bc} \text{ e } V_{ca}$

$\text{Correntes de Linha } (I_L) \Rightarrow I_{aA}, I_{bB} \text{ e } I_{cC}$

$\text{Se } Z_1 = Z_2 = Z_3,$

então o sistema é EQUILIBRADO e

$I_{aA} + I_{bB} + I_{cC} = 0, \text{ Portanto } I_{Nn} = 0$

$\text{Se } Z_1 \neq Z_2 \neq Z_3,$

então o sistema é DESEQUILIBRADO e

$I_{aA} + I_{bB} + I_{cC} \neq 0, \text{ Portanto } I_{Nn} \neq 0$

- **Na ligação em Y, as correntes de linha são iguais às correntes de fase;**
- **Está se supondo que as fontes representam a ligação do Transformador que alimenta a carga trifásica, desprezando-se as impedâncias dos condutores de ligação fonte-carga;**

Exercícios

1) Para uma carga monofásica de 5.600W/FP=0,8at(ind) alimentada em 220V/60Hz, determinar a potência aparente, a potência reativa e a amplitude da corrente.

$$P = 5.600W$$

$$FP = 0{,}8ind$$

$$FP = \cos\phi$$

$$\phi = \cos^{-1} FP$$

$$\phi = \cos^{-1} 0{,}8 = 36{,}87^o$$

$$FP = \frac{P}{S} \Rightarrow S = \frac{P}{FP} = \frac{5600}{0{,}8} = 7.000\,VA$$

$$Q = S.sen\phi = 7000.sen36{,}87^o = 7000 \times 0{,}6 = 4.200\ \mathrm{VAR}$$

$$S = V_{ef}.I_{ef} \Rightarrow I_{ef} = \frac{S}{V_{ef}} = \frac{7000}{220} = 31.82A$$

2) Para a carga 3,5kVA/Φ=+23,07º , alimentada em 127V/60Hz, pede-se:

a) FP b) P c) Q d) I_{ef}

3) Considerando:

Carga 1 ➔ $3kW$ e $\phi = +53{,}13^o$

Carga 2 ➔ $5kVA$ e $\mathrm{FP} = 0{,}8\mathrm{at}$

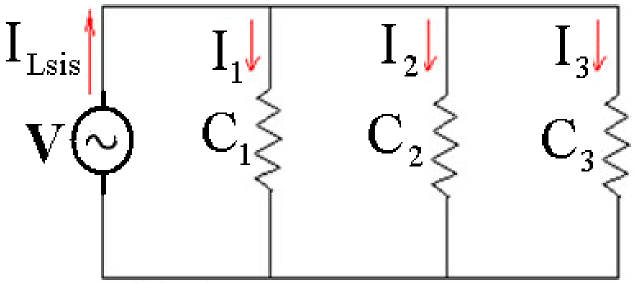
Carga 3 ➔ $10kVA$ e $FP = 0{,}78ad$

Sendo a tensão 220V/60Hz, determinar:

a) A amplitude da corrente de linha do sistema?

b) O FP do sistema ?

Em termos de circuito simplificado, tem-se:



$$\text{Carga 1} \Rightarrow P_1 = 3kW \quad FP_1 = \cos(+53{,}13) = 0{,}6at$$

$$S_1 = \frac{\mathrm{P}_1}{\mathrm{FP}_1} = \frac{3\mathrm{x}10^3}{0{,}6} = 5\mathrm{kVA}$$

$$Q_1 = \mathrm{S}_1.\mathrm{sen}\phi = 5\mathrm{x}10^3.\mathrm{sen}(+53{,}13) = 4\mathrm{kVAR}$$

$$\text{Carga 2} \Rightarrow S_2 = 5kVA \quad P_2 = S_2.FP_2 = 5x10^3 x0{,}8 = 4kW$$

$$\phi = \cos^{-1}0{,}8 = 36{,}87^0 \quad Q_2 = \mathrm{S}_2.\mathrm{sen}\phi = +3\mathrm{kVAR} = 3\mathrm{kVAR}_{\mathrm{ind}}$$

$$\text{Carga 3} \Rightarrow S_3 = 10kVA \quad P_2 = S_2.FP_2 = 10x10^3 x0{,}78 = 7{,}8kW$$

$$\phi = \cos^{-1}0{,}78 = -38{,}74^0 \quad Q_2 = \mathrm{S}_2.\mathrm{sen}\phi = -6{,}25\mathrm{kVAR} = 6{,}25\mathrm{kVAR}_{\mathrm{ad}}$$

Pode-se determinar a potência complexa total T_T:

$$T_T = P_T + jQ_T$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \quad \text{e} \quad Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$P_T = 3x10^3 + 4x10^3 + 7{,}8x10^3 = 14{,}8\mathrm{kW}$$

$$Q_T = 4x10^3 + 3x10^3 - 6{,}25x10^3 = 750VAR_{at}$$

$$T_T = 14{,}8x10^3 + j0{,}75x10^3$$

$$T_T = 14{,}82\angle +2{,}90^o \ KVA$$

$$T_T = S_T \angle \phi_T$$

$$S_T = V.I_{Lsis} \Rightarrow I_{Lsis} = \frac{S_T}{V} = \frac{14{,}82x10^3}{220} = 67{,}4A$$

$$FP_T = \cos\phi_T = \cos(+2{,}90^o) = 0{,}99_{ind}$$

Estudar

- Lista de exercícios disponível na página da disciplina.