

PRINCÍPIOS DA CORRENTE ALTERNADA PARTE 1

Adrielle C. Santana

Vantagem da Corrente Alternada

- O uso da corrente contínua tem suas vantagens, como por exemplo, a facilidade de controle de velocidade de motores C.C.
- Porém a C.C. possui problemas quando se trata de transporte de energia à grandes distâncias.
- Ao se transportar energia à uma certa distância, haverá uma queda de tensão devido à resistência do condutor.
- Para sanar este problema existem 2 soluções:
 - 1 – Aumentar a área de secção reta do condutor, diminuindo assim sua resistência;
 - $$R = \rho \frac{L}{A}$$
 - – 2 Elevar a tensão da energia transportada (diminui corrente);

Vantagem da Corrente Alternada

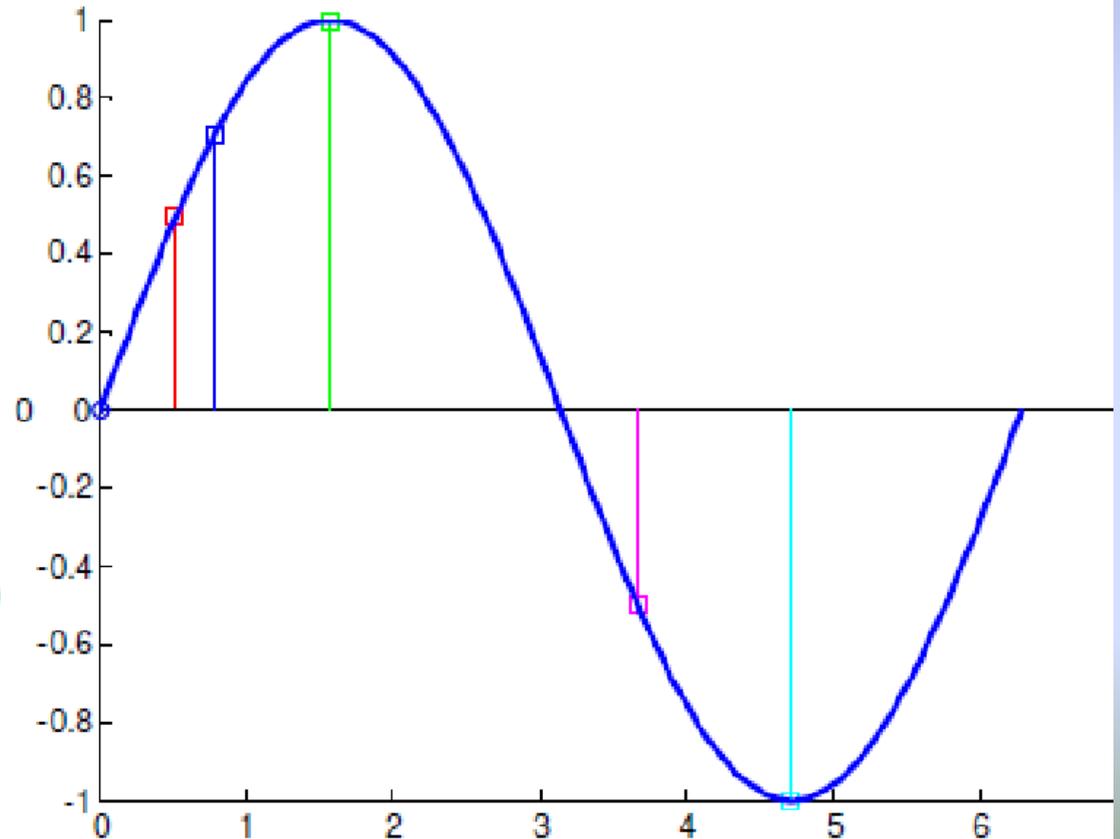
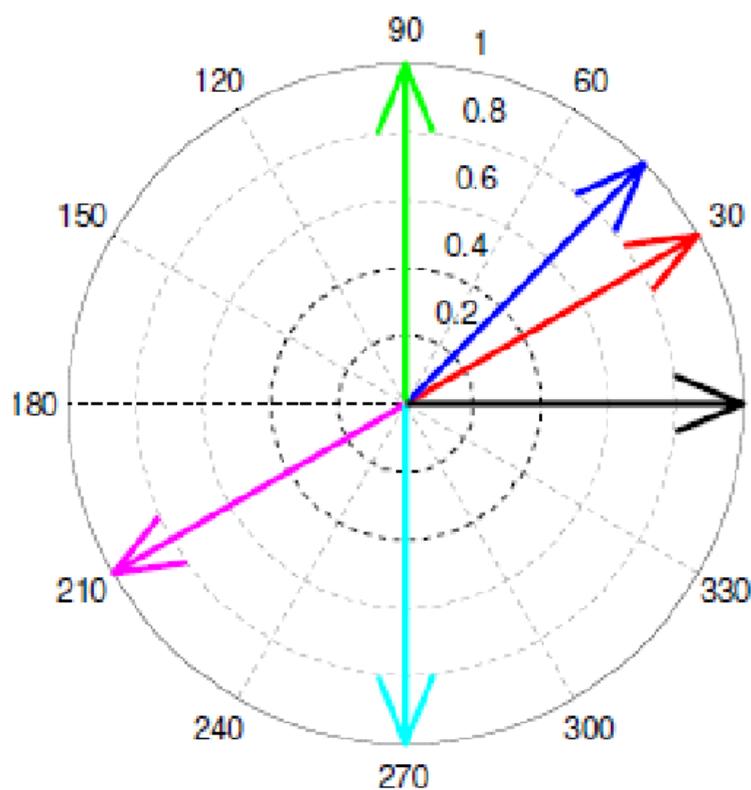
- Problema de aumentar área da secção do condutor:
 - Aumento do custo (mais cobre);
 - Construção de suporte para fio mais grosso e pesado;
- A solução que resta é aumentar a tensão, diminuindo a corrente e assim a queda de tensão no fio. Ao chegar ao seu destino a tensão deve ser abaixada novamente para uso.

Vantagem da Corrente Alternada

- Para se elevar e abaixar a tensão, é necessário se trabalhar com transformadores de tensão os quais só trabalham com corrente alternada.
- O fator chave para o uso em larga escala da corrente alternada se deve ao fato da facilidade de transporte oferecido por este tipo de corrente.

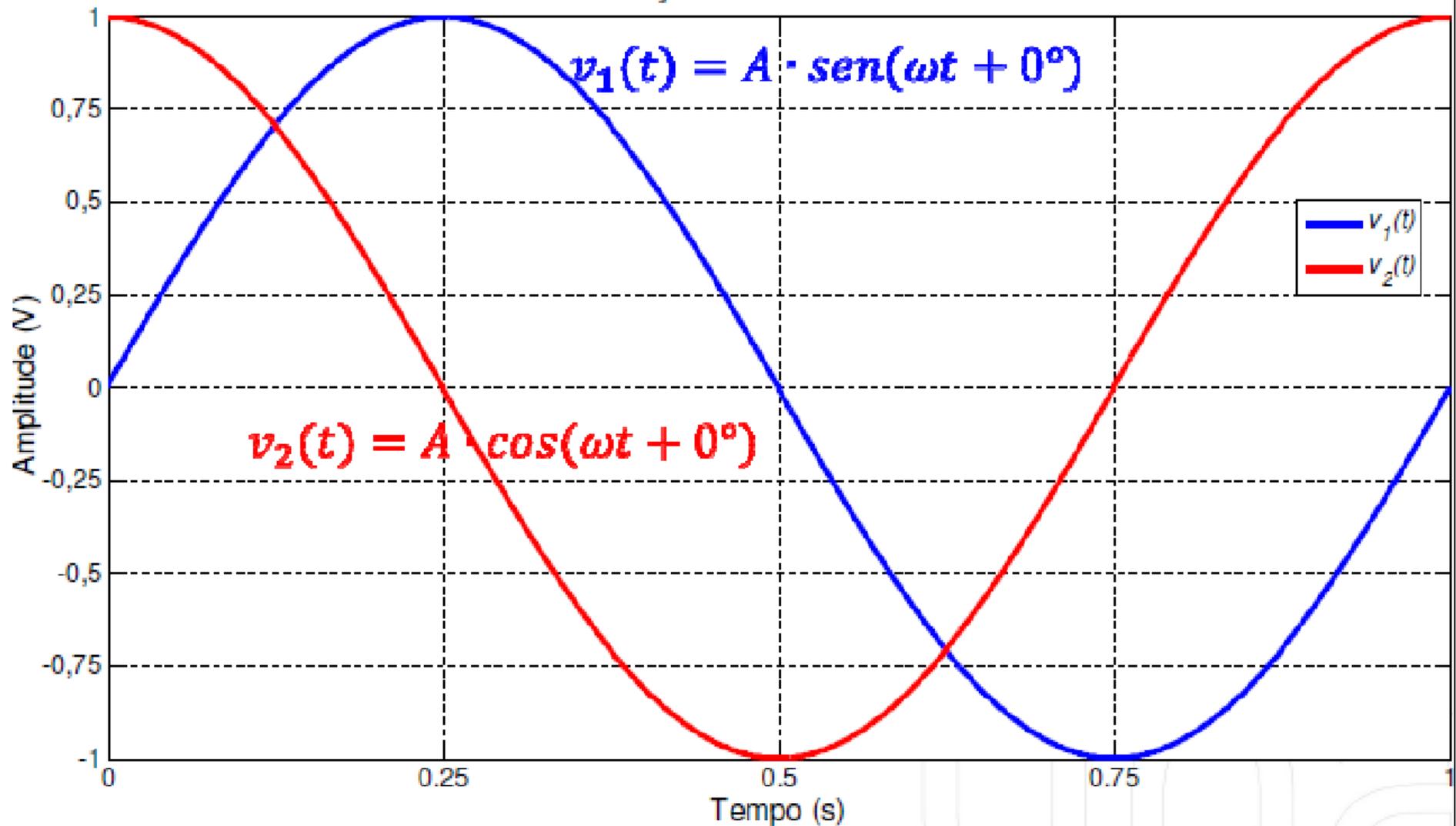
Senóide

É a projeção vertical de um vetor de amplitude A , que gira com velocidade angular ω em torno da sua origem.



Senóide

Função Seno e Cosseno



Senóide

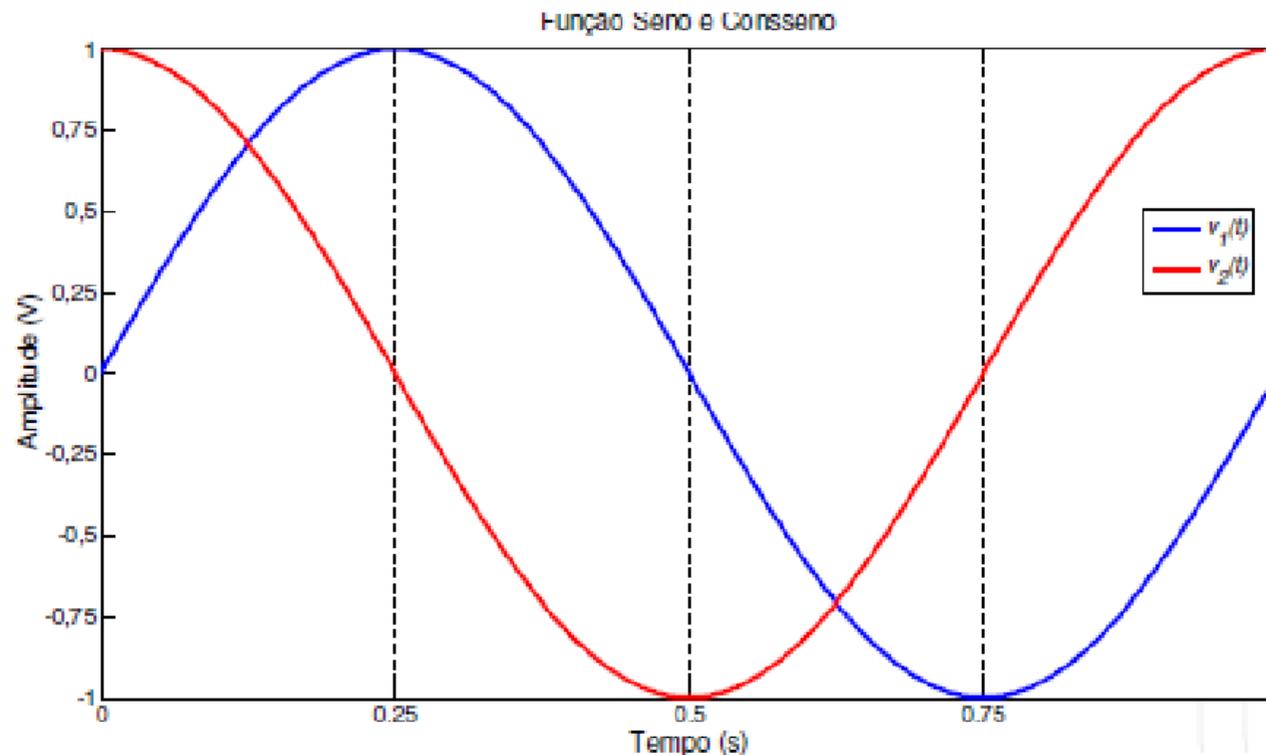
$$A \cdot \underbrace{\cos(\omega t + 0^\circ)} = A \cdot \text{sen}(\omega t + 90^\circ), \varphi = 90^\circ$$

- A função cosseno é a própria função seno deslocada de 90° ($\pi/2$ rad) no tempo.
- **Em circuitos elétricos utiliza-se apenas a função seno**

O ângulo de deslocamento φ , da função seno no tempo é chamado de **fase**.

Senóide

- Logo, é correto dizer que $v_2(t)$ tem fase 90° , ou ainda que $v_1(t)$ está defasado de 90° de $v_2(t)$.

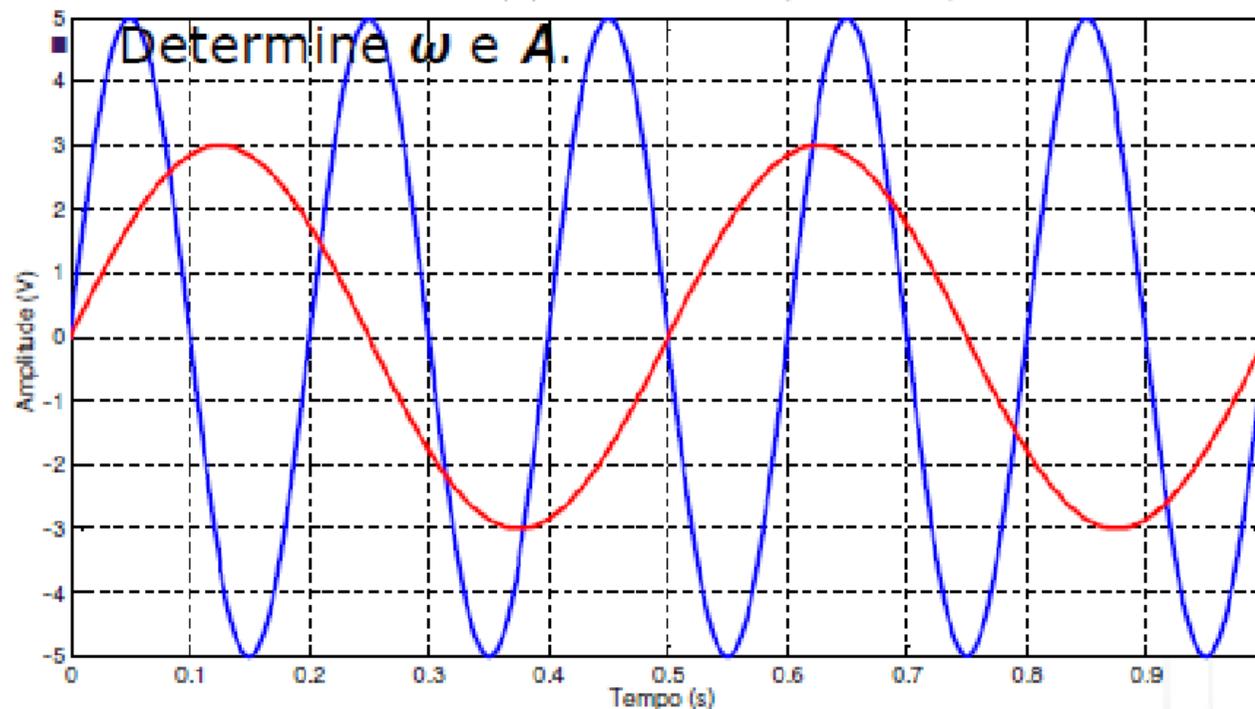


$$v_1(t) = A \cdot \text{sen}(\omega t + 0^\circ)$$

$$v_2(t) = A \cdot \text{sen}(\omega t + 90^\circ)$$

Senóide

- A função seno alterna infinitamente no tempo, ou seja, ela possui um comportamento **periódico** determinado.
- O multiplicador ω informa sobre a frequência do sinal senoidal variante no tempo. E o multiplicador A representa a amplitude deste sinal. $v(t) = A \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi)$

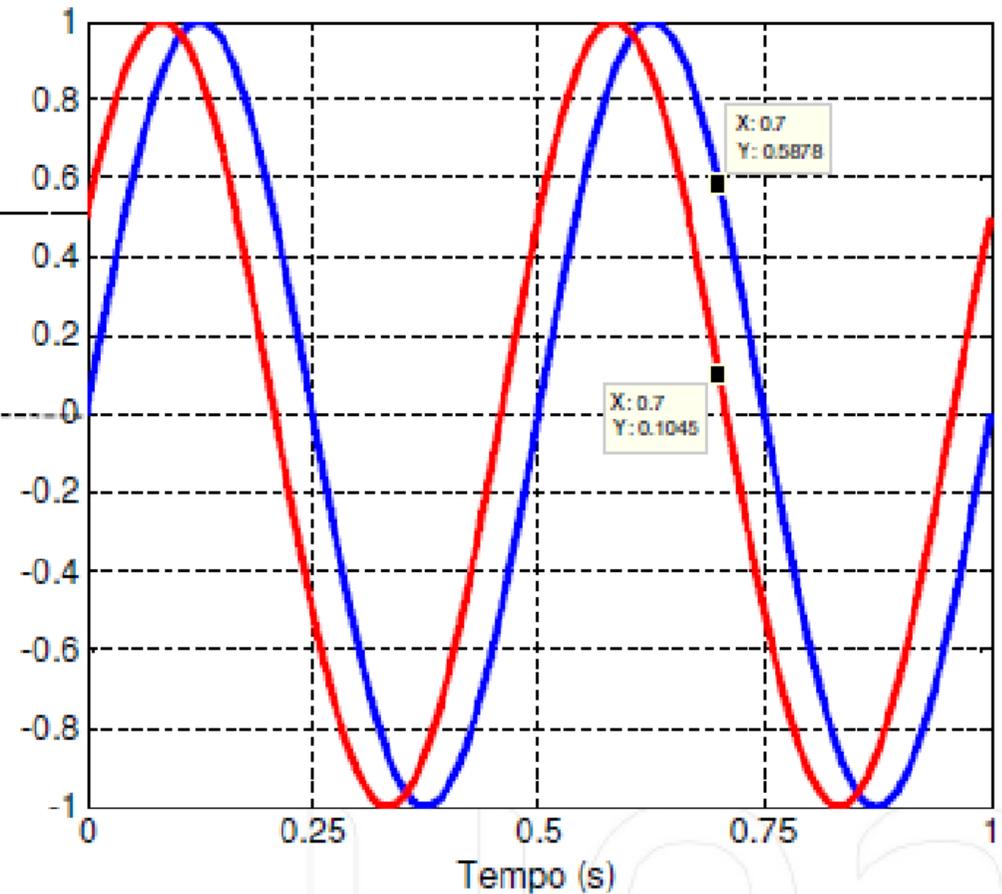
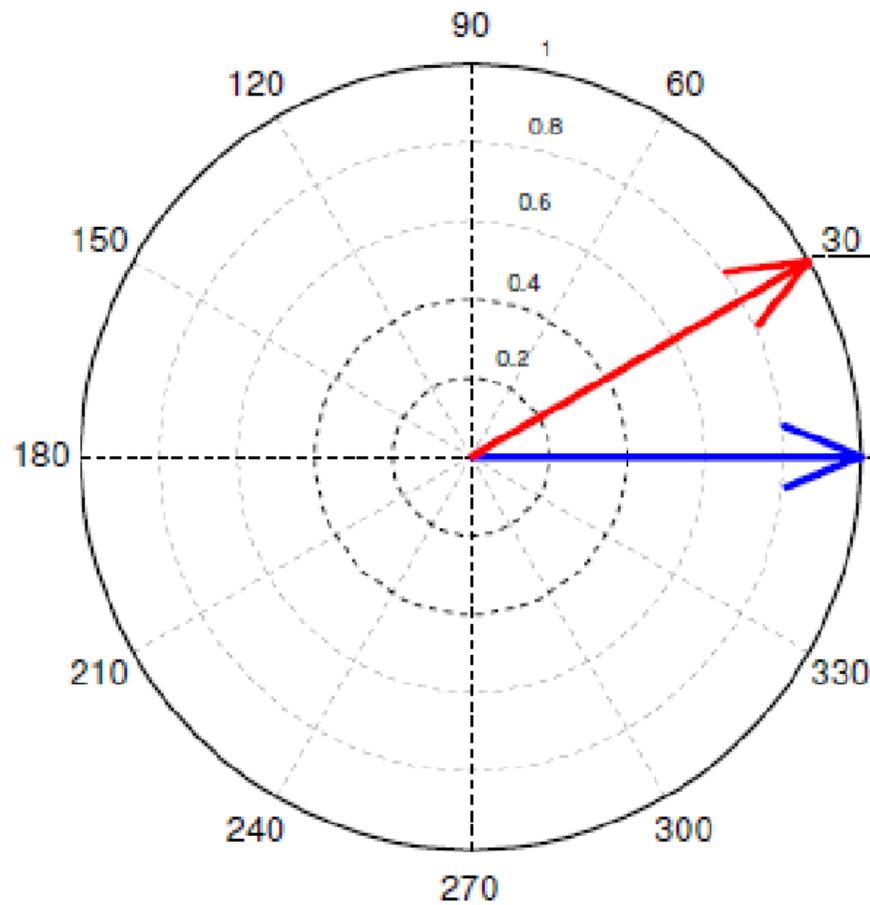


$$A = 5 \text{ V}$$
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,2 \text{ s}} = 5 \text{ Hz}$$
$$\omega = 2\pi f = 31,42 \text{ rad/s}$$

$$A = 3 \text{ V}$$
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,5 \text{ s}} = 2 \text{ Hz}$$
$$\omega = 2\pi f = 12,57 \text{ rad/s}$$

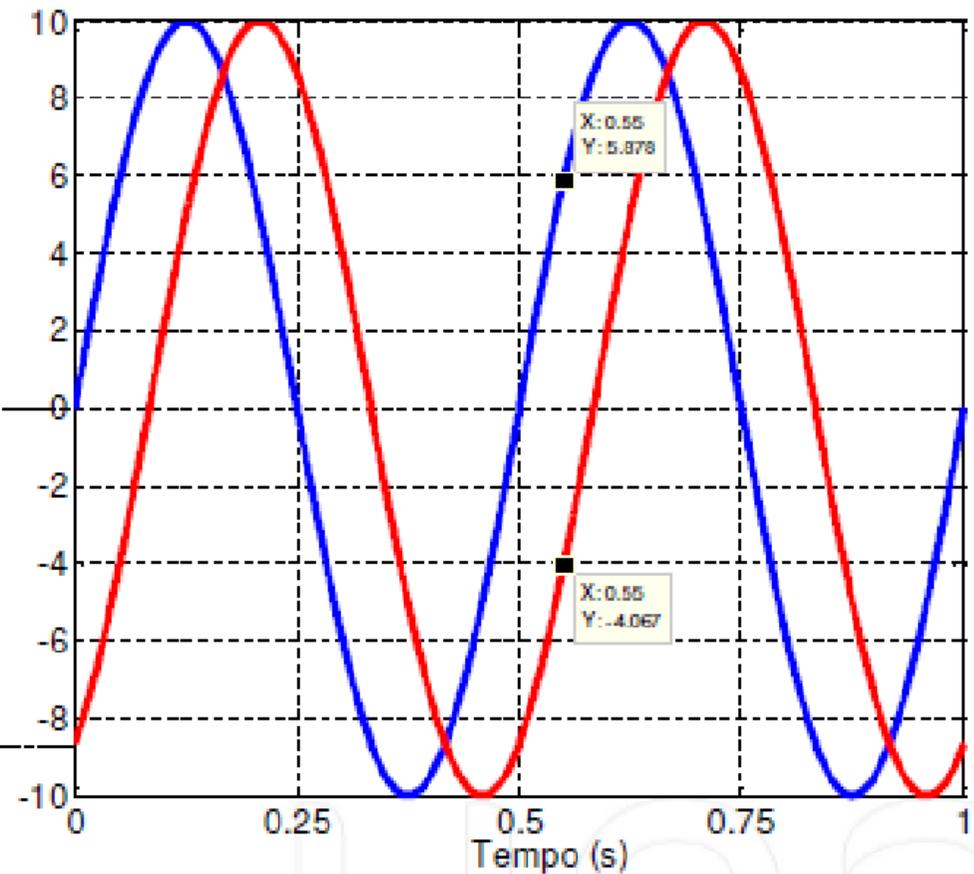
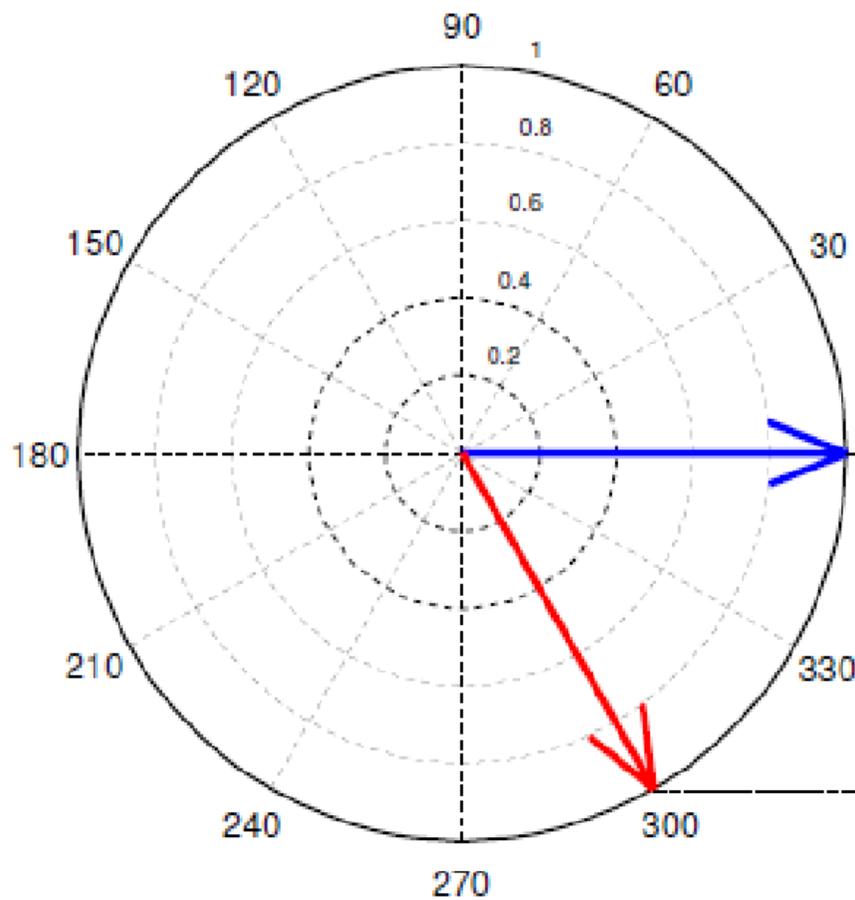
Senóide Adiantada

$$v(t) = \text{sen}(\omega t + 30^\circ)$$



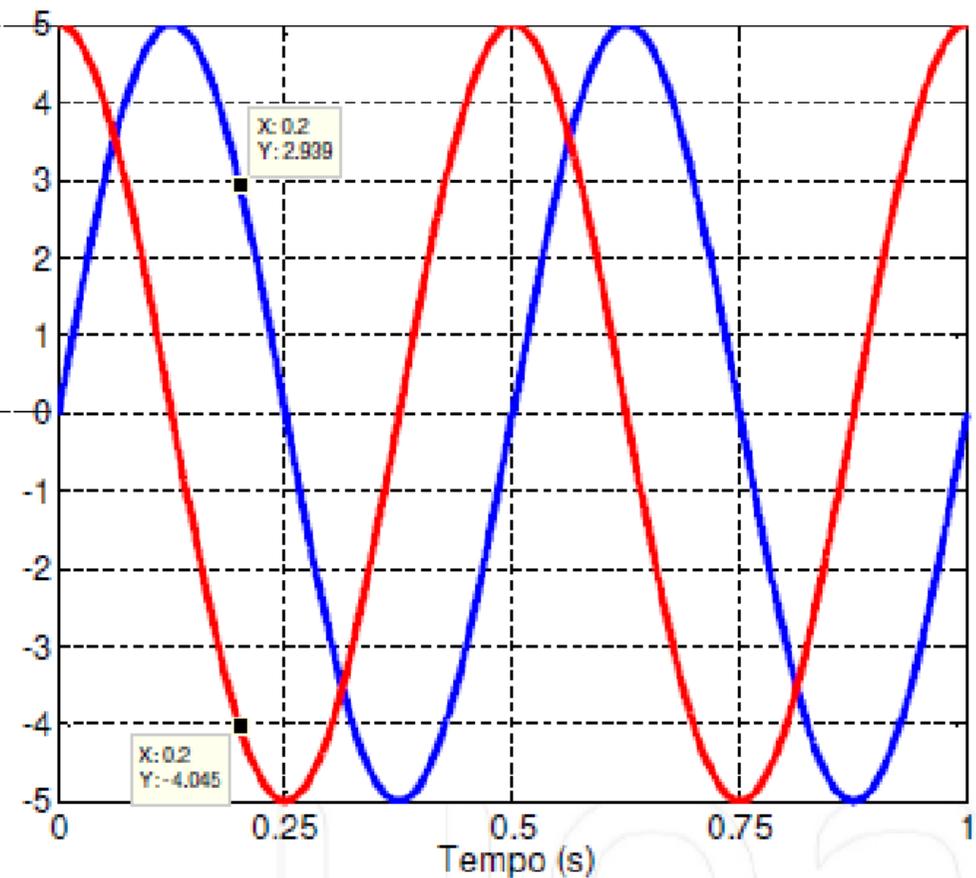
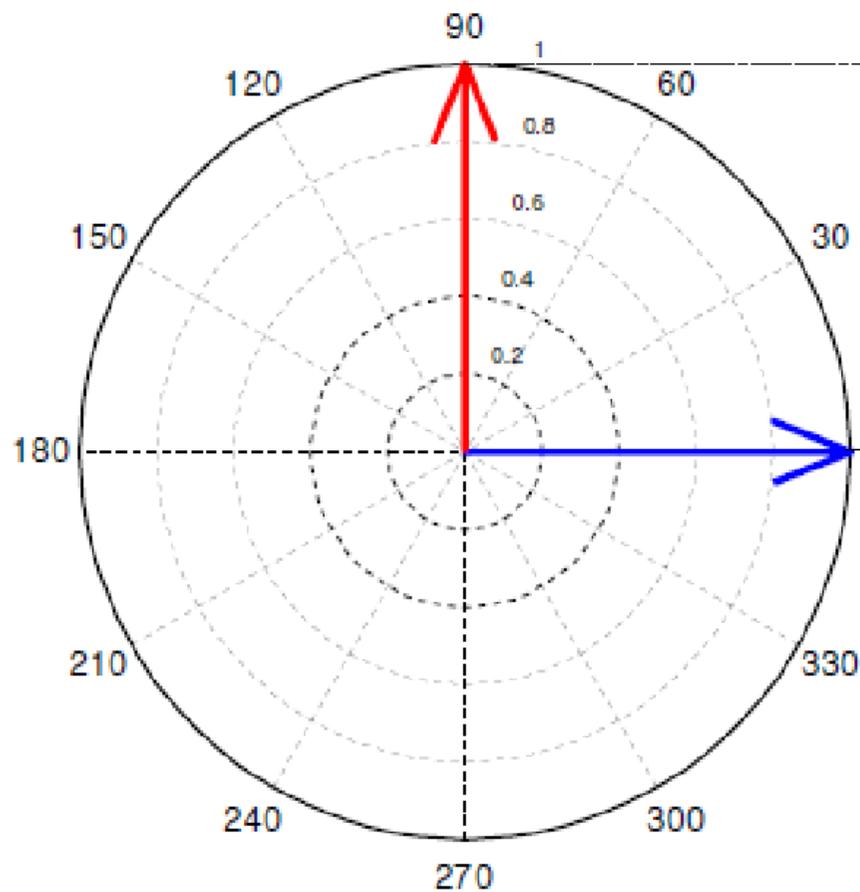
Senóide Atrasada

$$v(t) = 10\text{sen}(\omega t - 60^\circ)$$



Senóide Adiantada em 90°

$$v(t) = 5\text{sen}(\omega t + 90^\circ)$$



Valores de Pico, Pico-a-Pico, Médio e Eficaz

O valor de pico (V_p ou A) de uma forma de onda senoidal é a própria amplitude do vetor, ou seu próprio módulo, que corresponde ao máximo valor atingido pela forma de onda. Desse modo, podemos destacar duas outras grandezas: o valor de pico negativo e o valor de pico positivo. Quando a senóide é simétrica em relação ao eixo x , esses valores são idênticos com sinais opostos.

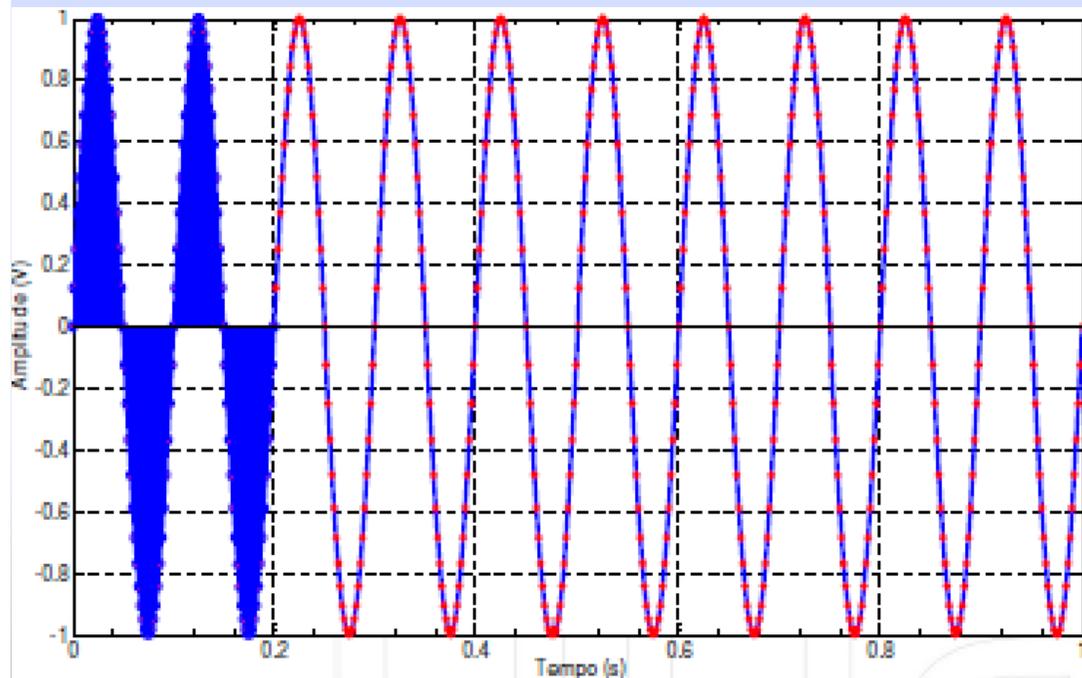
Valores de Pico, Pico-a-Pico, Médio e Eficaz

O valor de pico-a-pico (V_{pp}) é o valor correspondente entre o pico superior e o pico inferior e é exatamente o dobro do valor de pico numa onda senoidal simétrica.

$$V_{pp} = 2 \cdot V_p$$

Valores de Pico, Pico-a-Pico, Médio e Eficaz

Como a tensão (ou corrente) alternadas variam de um pico máximo positivo a um negativo, o Valor Médio (V_m) do sinal em um período seria nulo. Logo, o valor médio não pode ser usado.



$$V_m = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T A \sin(\omega t) dt = 0$$

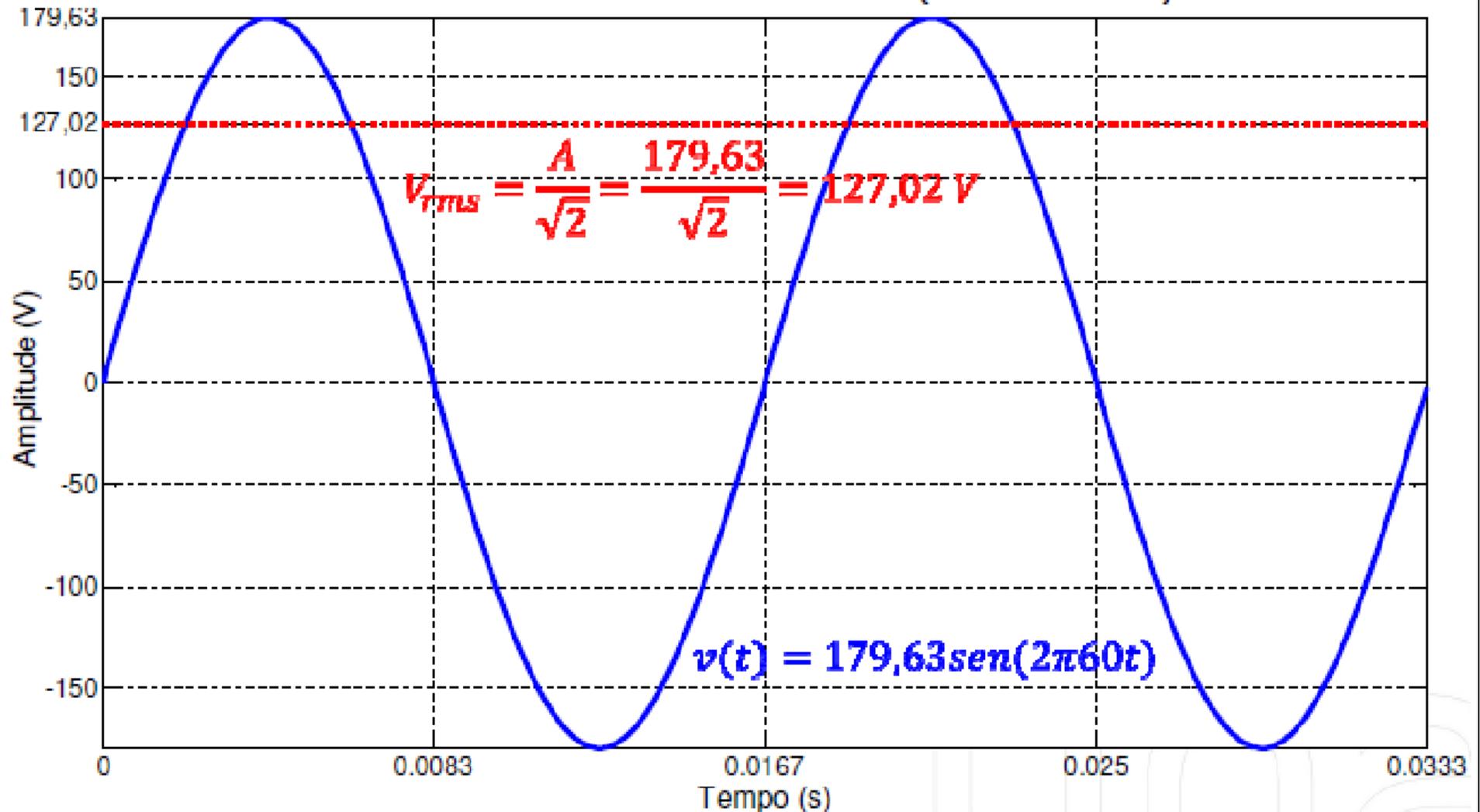
Valores de Pico, Pico-a-Pico, Médio e Eficaz

O valor utilizado é conhecido como Valor Eficaz (V_{ef}) ou Valor RMS (Root Mean Square, V_{rms}), que por definição é o valor da tensão ou corrente que se equivale a um valor de tensão ou corrente CC positiva que produz a mesma dissipação de potência em um dado resistor R.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T A \sin(\omega t)^2 dt} = \frac{A}{\sqrt{2}}$$

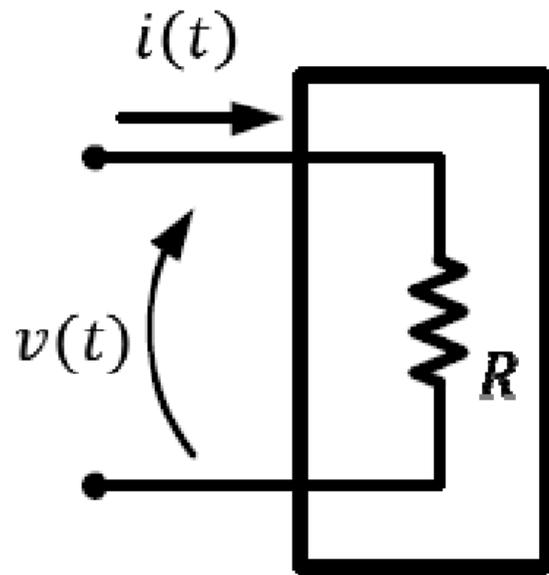
Valores de Pico, Pico-a-Pico, Médio e Eficaz

- Sinal da rede elétrica em Minas Gerais (fase A - 0°).



Resposta Senoidal

Em um resistor, ou em um circuito resistivo, tanto a onda de tensão como a onda de corrente se encontram em fase.



$$v(t) = R \cdot i(t)$$

$$P_{rms} = \frac{V_{rms}^2}{R} \rightarrow P_{rms} = R \cdot I_{rms}^2$$

Resposta Senoidal

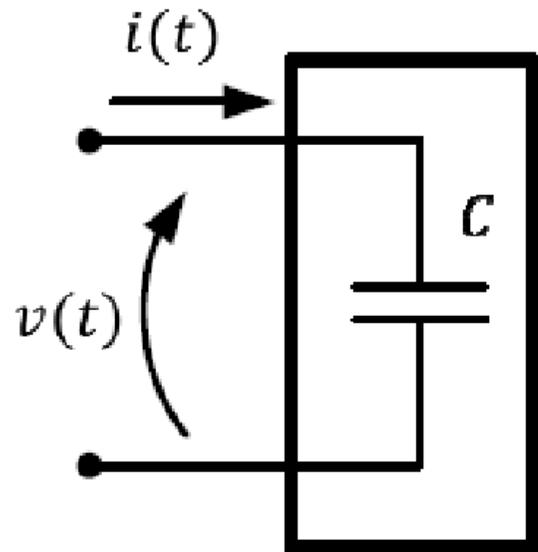
Exemplos típicos:

- Lâmpada incandescente
- Resistência de aquecimento
- Chuveiro elétrico



Resposta Senoidal

Em um capacitor, ou em um circuito capacitivo, as ondas de tensão e corrente são defasadas, estando a onda de corrente 90° à frente.



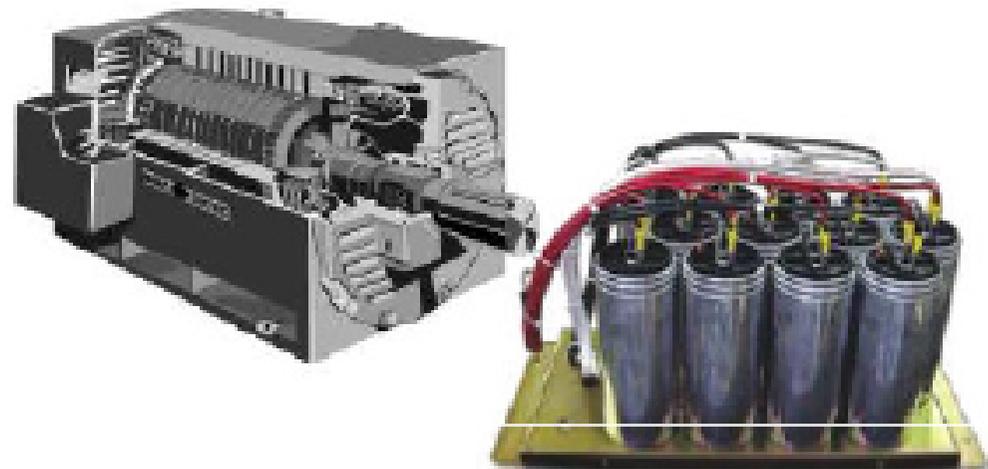
Os capacitores oferecem uma certa resistência à passagem de corrente **alternada**, que se denomina **reatância capacitiva**, designada por X_C .

$$X_C = \frac{1}{\omega C} [\Omega]$$

Resposta Senoidal

Exemplos típicos:

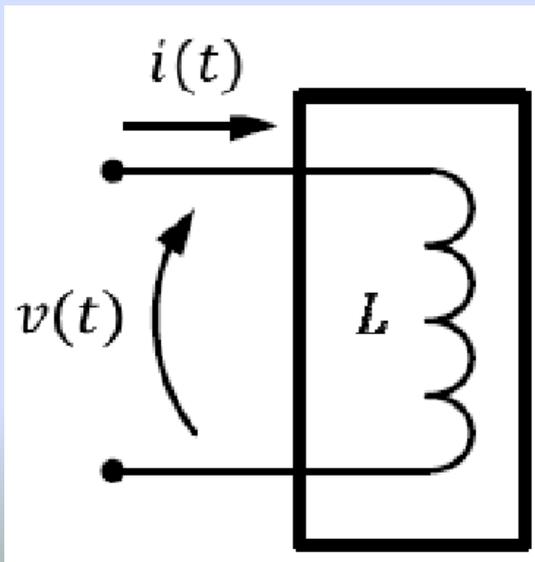
- Motor síncrono sobreexcitado
- Capacitores de refasamento



Corrente adiantada em relação à tensão → fator de potência **em avanço (capacitivo)**

Resposta Senoidal

Em um indutor, ou em um circuito indutivo, as ondas de tensão e corrente são defasadas, estando a onda de tensão 90° à frente.



Os indutores oferecem uma certa resistência à passagem de corrente **alternada**, em uma bobina devido ao fenômeno da indução. Essa resistência é denominada **reatância indutiva**, designada por X_L .

$$X_L = \omega L [\Omega]$$

Resposta Senoidal

Exemplos típicos:

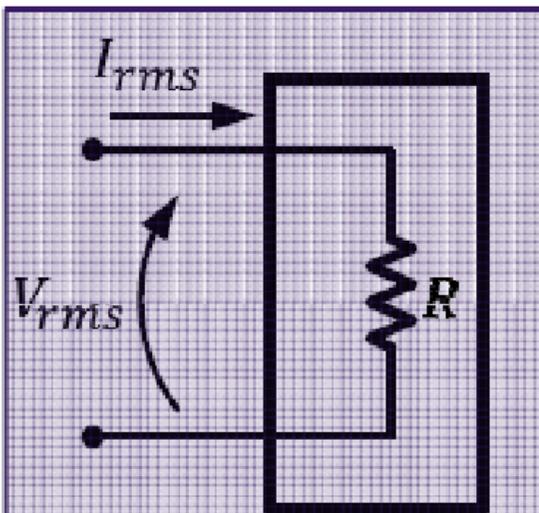
- Motor de indução
- Reator de lâmpadas fluorescente
- Aparelho de solda elétrica



Corrente atrasada em relação à tensão → fator de potência **em atraso** (**indutivo**)

Resposta Senoidal

- Resumindo...

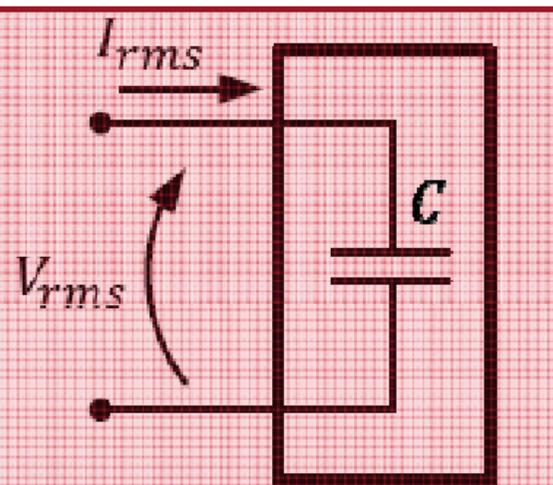


$$V_{rms} = R \cdot I_{rms}$$

Tensão e corrente em fase

$$v(t) = V_p \text{sen}(\omega t + \varphi)$$

$$i(t) = I_p \text{sen}(\omega t + \varphi)$$



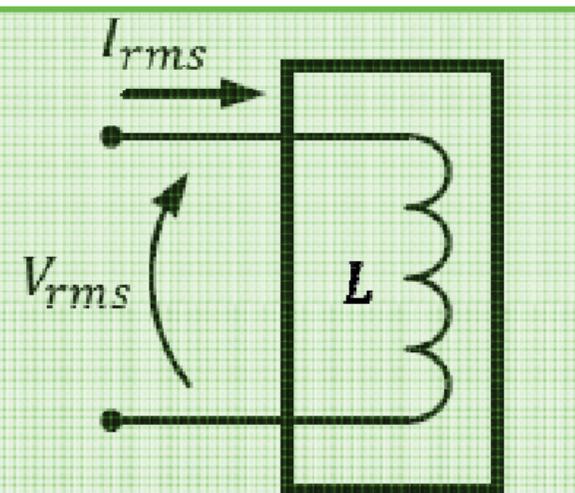
$$V_{rms} = X_C \cdot I_{rms}$$

$$V_{rms} = \frac{1}{\omega C} \cdot I_{rms}$$

Corrente 90° à frente da tensão

$$v(t) = V_p \text{sen}(\omega t + \varphi)$$

$$i(t) = I_p \text{sen}(\omega t + \varphi + 90^\circ)$$



$$V_{rms} = X_L \cdot I_{rms}$$

$$V_{rms} = \omega L \cdot I_{rms}$$

Tensão 90° à frente da corrente

$$v(t) = V_p \text{sen}(\omega t + \varphi + 90^\circ)$$

$$i(t) = I_p \text{sen}(\omega t + \varphi)$$

Exercícios

Determine a frequência da forma de onda vista na Figura 13.8.

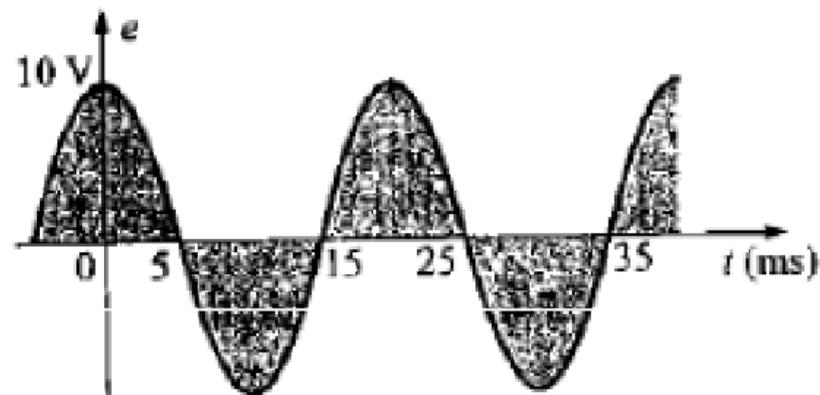


Figura 13.8 Exemplo 13.2.

Solução:

A partir da figura, $T = (25 \text{ ms} - 5 \text{ ms}) = 20 \text{ ms}$,
e, portanto:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \times 10^{-3} \text{ s}} = 50 \text{ Hz}$$

Exercícios

Determine a velocidade angular relativa a uma forma de onda senoidal cuja frequência é de 60 Hz.

Solução:

$$\omega = 2\pi f = (2\pi)(60 \text{ Hz}) \cong 377 \text{ rad/s}$$

(um valor muito comum, já que a frequência de 60 Hz é muito usada na prática).

A corrente em um resistor de 5Ω vale $i = 40 \text{ sen}(377t + 30^\circ)$. Determine a expressão senoidal para a tensão no resistor.

Solução:

$$\begin{aligned} \text{Pela Equação : } \quad V_m &= I_m R = (40 \text{ A})(5 \Omega) \\ &= 200 \text{ V} \end{aligned}$$

(v e i estão em fase), então:

$$v = 200 \text{ sen}(377t + 30^\circ)$$

Exercícios

A expressão para a tensão em um indutor de 0,5 H é dada a seguir. Encontre a expressão senoidal para a corrente.

$$v = 100 \text{ sen } 20t$$

Solução:

$$X_L = \omega L = (20 \text{ rad/s})(0,5 \text{ H}) = 10 \Omega$$

$$I_m = \frac{V_m}{X_L} = \frac{100 \text{ V}}{10 \Omega} = 10 \text{ A}$$

e sabendo que i está atrasada 90° em relação a v :

$$i = 10 \text{ sen}(20t - 90^\circ)$$

Exercícios

A expressão para a corrente em um capacitor de $100 \mu\text{F}$ é dada a seguir. Determine a expressão senoidal para a tensão no capacitor.

$$i = 40 \text{ sen}(500t + 60^\circ)$$

Solução:

$$\begin{aligned} X_C &= \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{(500 \text{ rad/s})(100 \times 10^{-6} \text{ F})} \\ &= \frac{10^6 \Omega}{5 \times 10^4} = \frac{10^2 \Omega}{5} = 20 \Omega \end{aligned}$$

$$V_m = I_m X_C = (40 \text{ A})(20 \Omega) = 800 \text{ V}$$

e sabendo que para um capacitor v está atrasada 90° em relação a i :

$$v = 800 \text{ sen}(500t + 60^\circ - 90^\circ)$$

$$\text{e } v = 800 \text{ sen}(500t - 30^\circ)$$

Exercícios

A corrente em um indutor de 0,1 H é dada nos itens *a* e *b* a seguir. Determine em cada caso a expressão para a tensão no indutor.

a. $i = 10 \text{ sen } 377t$

b. $i = 7 \text{ sen}(377t - 70^\circ)$

Solução:

a. Pela Equação (14.4): $X_L = \omega L = (377 \text{ rad/s})(0,1 \text{ H})$
 $= 37,7 \ \Omega$

Pela Equação (14.5): $V_m = I_m X_L = (10 \text{ A})(37,7 \ \Omega)$
 $= 377 \text{ V}$

Sabemos que, no caso de um indutor, v está adiantada 90° em relação a i . Portanto:

$$v = 377 \text{ sen}(377t + 90^\circ)$$

Exercícios

b. X_L continua valendo $37,7 \Omega$.

$$V_m = I_m X_L = (7 \text{ A})(37,7 \Omega) = 263,9 \text{ V}$$

c, sabendo que para um indutor v está adiantada 90° em relação a i :

$$v = 263,9 \text{ sen}(377t - 70^\circ + 90^\circ)$$

e

$$v = 263,9 \text{ sen}(377t + 20^\circ)$$

Exercícios

A expressão para a tensão em um capacitor de $1 \mu\text{F}$ é fornecida a seguir. Qual é a expressão senoidal para a corrente?

$$v = 30 \text{ sen } 400t$$

Solução:

Pela Equação (14.6):

$$\begin{aligned} X_C &= \frac{1}{\omega C} \\ &= \frac{1}{(400 \text{ rad/s})(1 \times 10^{-6} \text{ F})} = \frac{10^6 \Omega}{400} \\ &= 2.500 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pela Equação (14.7): } I_m &= \frac{V_m}{X_C} = \frac{30 \text{ V}}{2500 \Omega} \\ &= 0,0120 \text{ A} = 12 \text{ mA} \end{aligned}$$

e sabendo que para um capacitor i está adiantada 90° em relação a v :

$$i = 12 \times 10^{-3} \text{ sen}(400t + 90^\circ)$$

Exercícios

EXEMPLO 14.7

Dados os pares de expressões para tensões e correntes a seguir, determine se o dispositivo envolvido é um capacitor, um indutor ou um resistor e calcule os valores de C , L e R se houver dados suficientes para isso (veja a Figura 14.18):

a. $v = 100 \text{ sen}(\omega t + 40^\circ)$

$$i = 20 \text{ sen}(\omega t + 40^\circ)$$

b. $v = 1.000 \text{ sen}(377t + 10^\circ)$

$$i = 5 \text{ sen}(377t - 80^\circ)$$

c. $v = 500 \text{ sen}(157t + 30^\circ)$

$$i = 1 \text{ sen}(157t + 120^\circ)$$

d. $v = 50 \text{ cos}(\omega t + 20^\circ)$

$$i = 5 \text{ sen}(\omega t + 110^\circ)$$

d. $v = 50 \text{ cos}(\omega t + 20^\circ) = 50 \text{ sen}(\omega t + 20^\circ + 90^\circ)$
 $= 50 \text{ sen}(\omega t + 110^\circ)$

Como v e i estão *em fase*, o dispositivo é um *resistor* e:

$$R = \frac{V_m}{I_m} = \frac{50 \text{ V}}{5 \text{ A}} = 10 \ \Omega$$

a. Como v e i estão *em fase*, o dispositivo é um *resistor* e:

$$R = \frac{V_m}{I_m} = \frac{100 \text{ V}}{20 \text{ A}} = 5 \ \Omega$$

b. Como v está *adiantada* 90° em relação a i , o dispositivo é um *indutor* e:

$$X_L = \frac{V_m}{I_m} = \frac{1000 \text{ V}}{5 \text{ A}} = 200 \ \Omega$$

de forma que: $X_L = \omega L = 200 \ \Omega$ ou

$$L = \frac{200 \ \Omega}{\omega} = \frac{200 \ \Omega}{377 \text{ rad/s}} = 0,531 \text{ H}$$

c. Como i está *adiantada* 90° em relação a v , o dispositivo é um *capacitor* e:

$$X_C = \frac{V_m}{I_m} = \frac{500 \text{ V}}{1 \text{ A}} = 500 \ \Omega$$

de forma que: $X_C = \frac{1}{\omega C} = 500 \ \Omega$ ou

$$C = \frac{1}{\omega 500 \ \Omega} = \frac{1}{(157 \text{ rad/s})(500 \ \Omega)} = 12,74 \ \mu\text{F}$$

Referências

- BOYLESTAD, R. L. Introdução à Análise de Circuitos. 12^a. Edição. Editora Pearson. São Paulo, SP, 2012.
- TIPLER, P. A. Física. 4^a. Edição, LTC, RJ, 2000.
- DORF, R. C.; SVOBODA, J. A. Introdução aos Circuitos Elétricos. 5^a. Edição. Editora LTC. Rio de Janeiro, RJ, 2003
- O'MALLEY, J. Análise de Circuitos. 2^a. Edição, Makron Books, SP, 1994.
- GUSSOW, M. Eletricidade Básica. 2^a. Edição, Pearson Makron Books, SP, 1997.
- GUIMARÃES, M. Notas de aula teórica. FEELT, Universidade Federal de Uberlândia.