UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

ELETROTÉCNICA

Características da corrente alternada

Prof. Roger Cruz

INTRODUÇÃO

- Até agora analisamos apenas circuitos de corrente contínua, nos quais as tensões e correntes não variam com o tempo, exceto durante os transientes.

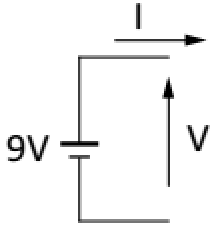
- Vamos agora dirigir nossa atenção para análise de circuitos nos quais a intensidade das fonte variam com tempo.

- É particularmente interessante estudar a tensão variante no tempo fornecida pelas *empresas geradores de energia elétrica (concessionárias)*, a qual é denominada CA (abreviação de Corrente Alternada).

TENSÃO CONTÍNUA

Uma tensão é chamada de contínua ou constante quando o seu valor não se altera com o tempo.

Exemplo de geradores de tensão contínua são as pilhas e baterias.



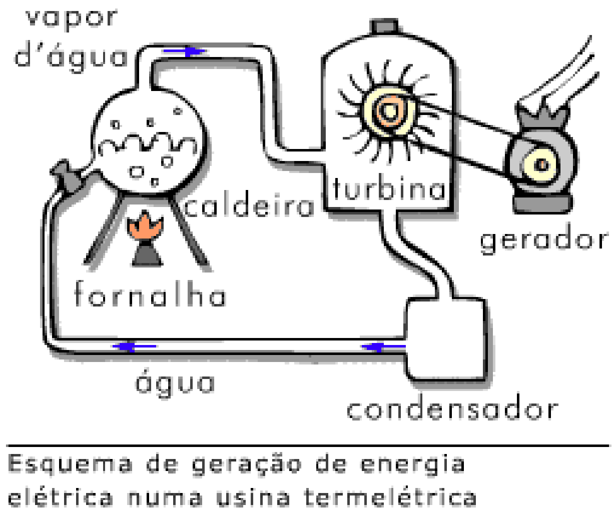
Exemplo de fonte de tensão contínua

TENSÃO ALTERNADA

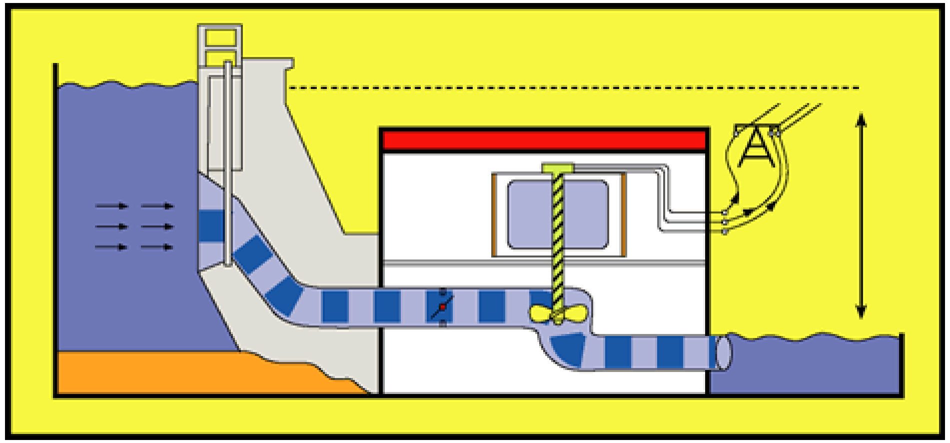
A tensão alternada tem ***intensidade* e *polaridade*** que variam com o tempo. De acordo com a forma da variação da tensão, há diferentes tipos de tensão como: **senoidal, quadrada, triangular entre outras.**

Nesse estudo iremos analisar a ***função senoidal*** pois é a tensão fornecida nas fontes geradoras que alimentam as indústrias e residências.

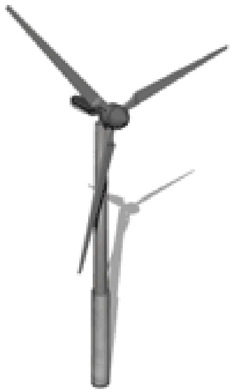
TENSÃO ALTERNADA – FONTES GERADORAS



Gerador termoelétrico



Gerador hidroelétrico



Gerador eólico

TENSÃO SENOIDAL

É uma tensão que varia com o tempo de acordo com uma função senoidal. A expressão matemática é dada pela função:

$$v(t) = A_m \mathrm{sen}(\omega t) = A_m \mathrm{sen}(\alpha)$$

- A_m: é o valor máximo (ou valor de pico) da tensão em volts
- ω : é a frequência angular dada em rad/s
- α = ωt em graus ou radianos

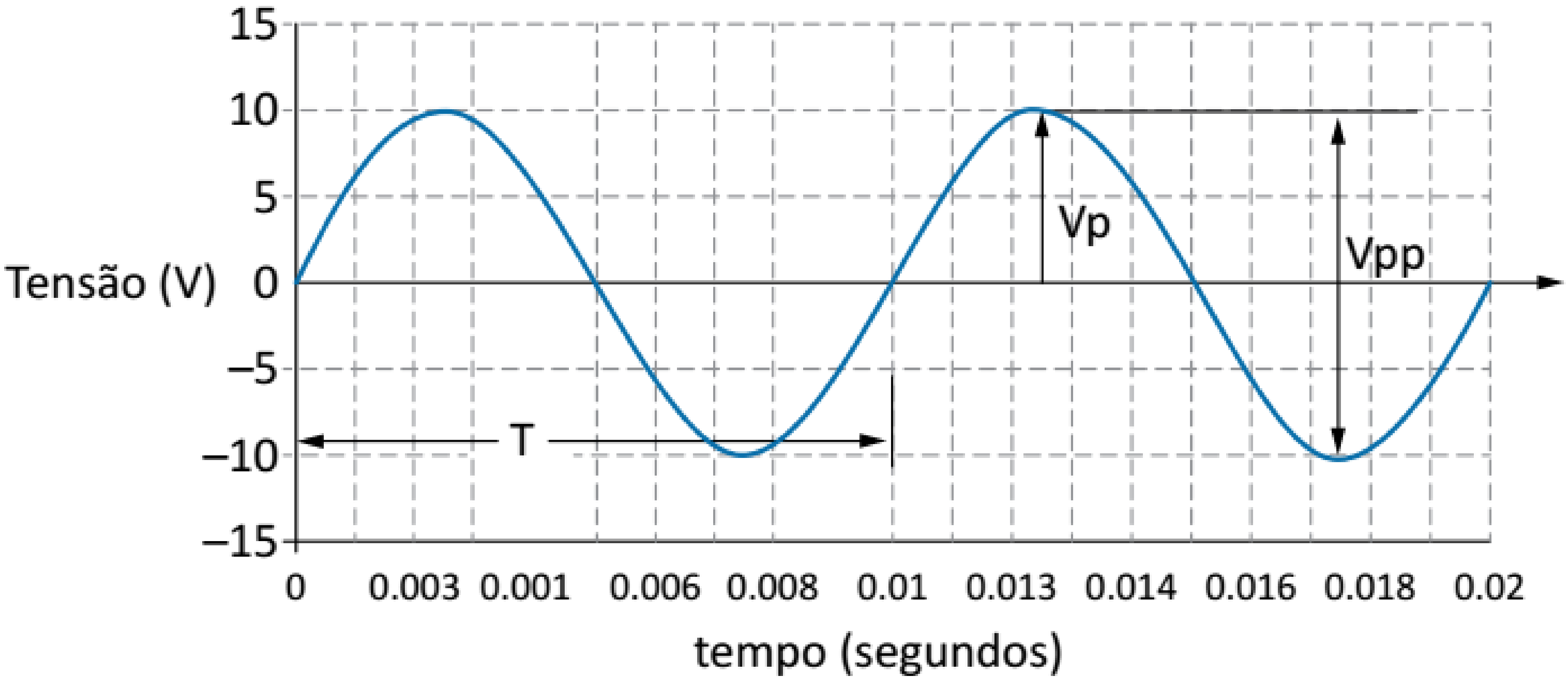
TENSÃO SENOIDAL

No caso de grandezas elétricas como a tensão e a corrente, as expressões gerais são:

$$i = I_m \mathrm{sen}(\omega t) = I_m \mathrm{sen}(\alpha)$$
$$e = E_m sen(\omega t) = E_m \mathrm{sen}(\alpha)$$

Onde as letras maiúsculas com índice *m* representam amplitudes e as letras minúsculas *i* e *e* representam os valores instantâneos da corrente e da tensão, respectivamente, em um instante *t* qualquer.

TENSÃO SENOIDAL



Representação gráfica da função senoidal

TENSÃO SENOIDAL

EXEMPLO Sabendo que $e = 5\ sen(\alpha)$, determine e para $\alpha = 40^{\circ}$ e $\alpha = 0.8\pi$ rad.

TENSÃO SENOIDAL

EXEMPLO 7.1 Sabendo que $e = 5\ sen(\alpha)$, determine e para $\alpha = 40^\circ$ e $\alpha = 0.8\pi$ rad.

SOLUÇÃO:

Para $\alpha = 40^\circ$,

$$e = 5\ sen(40^\circ) = 5(0.6428) = \mathbf{3.2139\ V}$$

TENSÃO SENOIDAL

EXEMPLO Sabendo que $e = 5\ sen(\alpha)$, determine e para $\alpha = 40^\circ$ e $\alpha = 0.8\pi$ rad.

SOLUÇÃO:

$$\alpha_{radianos} = \frac{\alpha^o x\ \pi}{180}$$

$$\alpha^o = \frac{\alpha_{radianos}\ x\ 180}{\pi}$$

Para $\alpha = 0.8\pi$, $\alpha^o = \frac{180^0}{\pi}(0{,}8\pi) = 144^0$

$e = 5\ sen(144^\circ) = 5(0.5878) =$ **2.939 V**

TENSÃO SENOIDAL

O ângulo associado a um valor particular da tensão pode ser obtido a partir da manipulação da equação:

$$e = E_m \mathrm{sen}(\alpha)$$

Da seguinte forma:

$$\mathrm{sen}(\alpha) = \frac{e}{E_m}$$

$$\alpha = sen^{-1}\left(\frac{e}{E_m}\right)$$

TENSÃO SENOIDAL

O ângulo associado a um valor particular da tensão pode ser obtido a partir da manipulação da equação:

$$e = E_m \mathrm{sen}(\alpha)$$

Da seguinte forma:

$$\mathrm{sen}(\alpha) = \frac{e}{E_m}$$

$$\alpha = sen^{-1}\left(\frac{e}{E_m}\right)$$

Da mesma maneira para a corrente:

$$\alpha = sen^{-1}\left(\frac{i}{I_m}\right)$$

TENSÃO SENOIDAL

EXEMPLO

a) Determine o ângulo para o qual o valor da função $v = 10sen(377\ t)$ é 4V

b) Determine o momento em que a função assume o valor dado no item a)

TENSÃO SENOIDAL

EXEMPLO

a) Determine o ângulo para o qual o valor da função $v = 10sen(377\,t)$ é 4V

b) Determine o momento em que a função assume o valor dado no item a)

SOLUÇÃO

a)

$$\alpha = sen^{-1}\left(\frac{e}{E_m}\right)$$

TENSÃO SENOIDAL

EXEMPLO

a) Determine o ângulo para o qual o valor da função $v = 10sen(377\ t)$ é 4V

b) Determine o momento em que a função assume o valor dado no item a)

SOLUÇÃO

a)

$$\alpha = sen^{-1}\left(\frac{e}{E_m}\right) = sen^{-1}\left(\frac{4}{10}\right) = 23.578^o$$

TENSÃO SENOIDAL

EXEMPLO

a) Determine o ângulo para o qual o valor da função $v = 10sen(377\,t)$ é 4V

b) Determine o momento em que a função assume o valor dado no item a)

SOLUÇÃO

$$\alpha = 23.578^o$$

b)

$$\alpha = \omega t \rightarrow t = \frac{\alpha}{\omega}$$

Vamos transformar α de graus para radianos pois ω está em rad/s.

$$\alpha(rad) = \frac{\pi}{180^0}(23.578^o) = 0.411\,rad$$

TENSÃO SENOIDAL

EXEMPLO

a) Determine o ângulo para o qual o valor da função $v = 10sen(377\,t)$ é 4V

b) Determine o momento em que a função assume o valor dado no item a)

SOLUÇÃO

$$\alpha = 23.578^o$$

b)

Assim temos que:

$$t = \frac{\alpha}{\omega} = \frac{0.411\,rad}{377\,rad/s} = 1{,}09\,ms$$

EXEMPLO – Dado $i = 6x10^{-3}sen(1000t)$, calcule *i* para *t* = 2 ms.

$$i = 6x10^{-3}sen(1000x2x10^{-3}) = 6x10^{-3}sen(2\,rad) = 5.45\,mA,$$

Obs.: 2 radianos = 114,59 graus

RELAÇÕES DE FASE

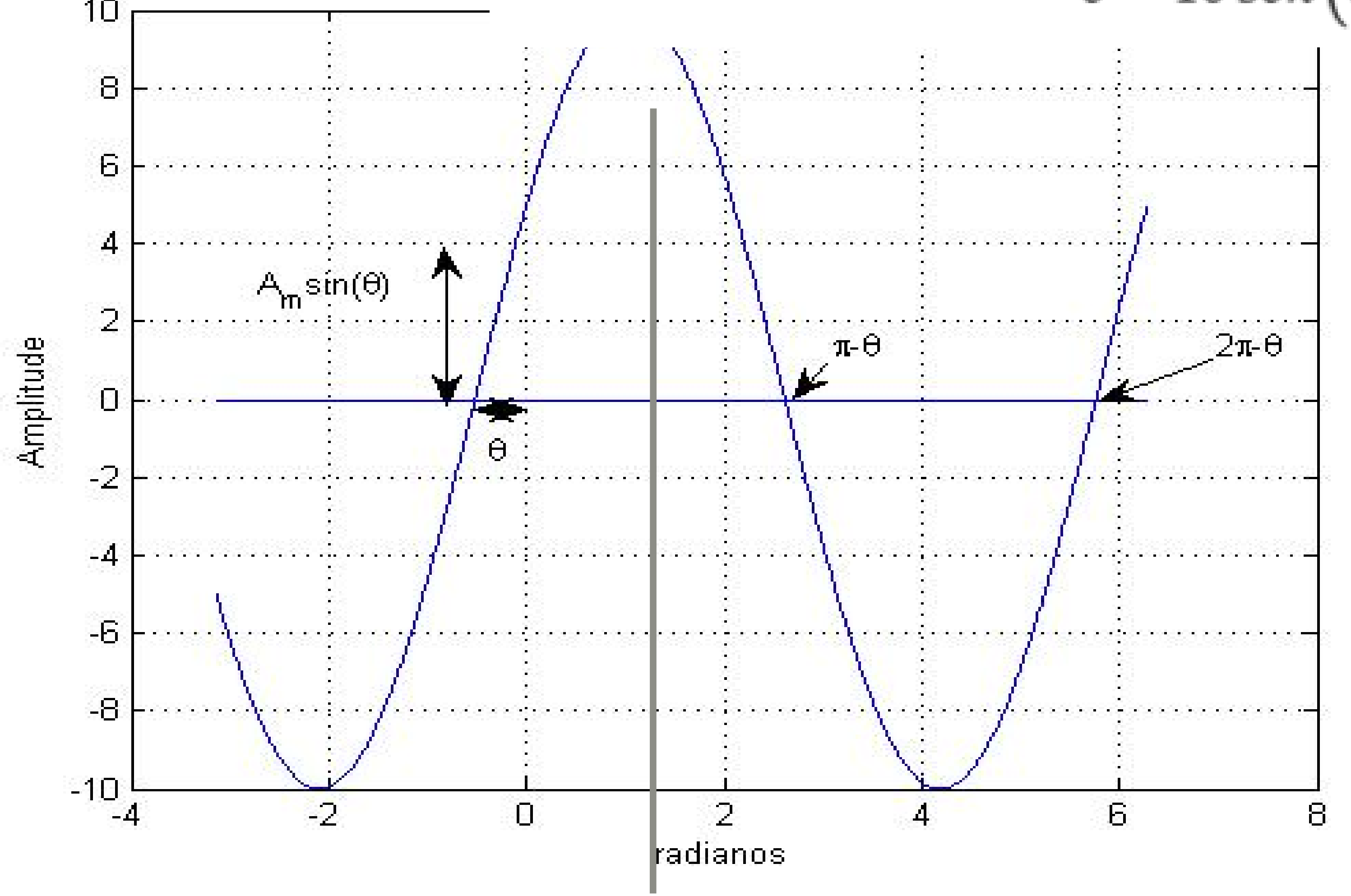
Até aqui temos considerando apenas ondas senoidais com máximo e mínimos em π/2 e 3π/2, e zeros em 0, π e 2π. Se a forma de onda for deslocada para a esquerda ou para a direita de 0º, a expressão passa a ser:

$$A_m sen(\omega t \pm \theta)$$

Onde θ é o ângulo, em graus ou radianos, que a forma da onda foi deslocada.

RELAÇÕES DE FASE

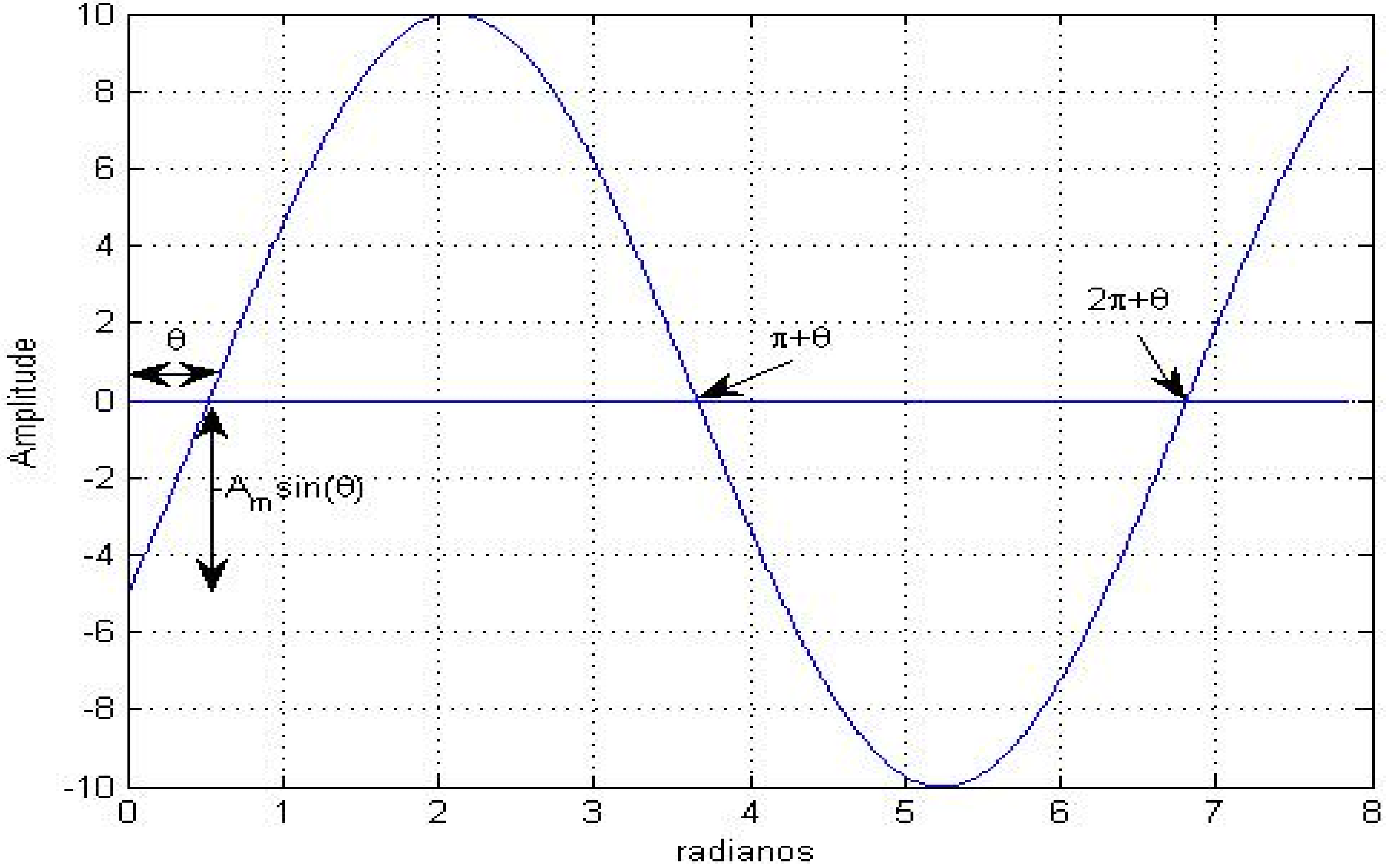
$$e = 10\,sen\left(314\,t + \frac{\pi}{6}\right)$$



RELAÇÕES DE FASE

$$e = 10\,sen\left(314\,t - \frac{\pi}{6}\right)$$

Nesse caso, no qual foi subtraído um ângulo (fase), a função será deslocada para a **direita.**



RELAÇÕES DE FASE

A **relação de fase** entre duas formas de onda indica qual delas está **adiantada** ou **atrasada** e de quantos graus ou radianos.

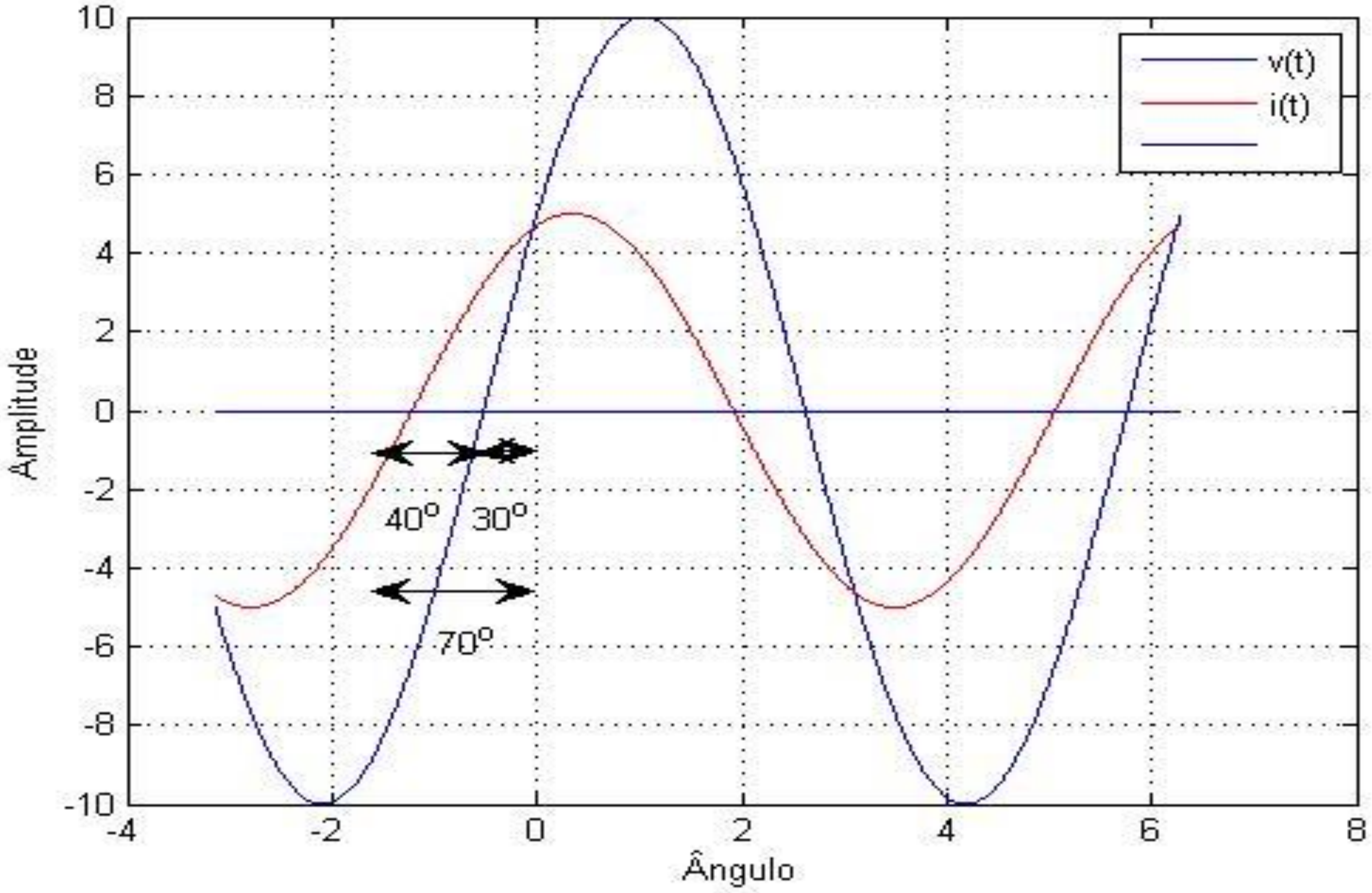
EXEMPLO Qual a relação de fase entre as formas de onda senoidais em cada um dos seguintes pares:

a) $v = 10sen(\omega t + 30^o)$ e $i = 5sen(\omega t + 70^o)$

Neste caso podemos dizer que *i* está adianta **40^0** em relação a v. Podemos visualizar melhor essa relação no gráfico das curvas mostrados a seguir:

RELAÇÕES DE FASE

a) $v = 10sen(\omega t + 30^o)$ e $i = 5sen(\omega t + 70^o)$



RELAÇÕES DE FASE

$b)\, v = 15sen(\omega t + 60^o)$ e $i = 10sen(\omega t - 20^o)$

Nesse caso a curva *i* estará atrasada 20° enquanto que a curva *v* estará adiantada de 60°, ou seja, a defasagem de fase entre as curvas será de 80°.

RELAÇÕES DE FASE

$b)\, v = 15sen(\omega t + 60^o)$ e $i = 10sen(\omega t - 20^o)$

Nesse caso a curva *i* estará atrasada 20° enquanto que a curva *v* estará adiantada de 60°, ou seja, a defasagem de fase entre as curvas será de 80°.

VALOR MÉDIO

- O **valor de pico** é o máximo A_m que a tensão ou corrente podem assumir
- O **valor de pico a pico** é igual ao **dobro** do valor de pico, quando os picos positivos e negativos são simétricos.
- O **valor médio** corresponde à média aritmética de todos os valores numa onda senoidal, seja de tensão ou de corrente, considerando-se meio ciclo.

VALOR MÉDIO

- Prova-se matematicamente que o valor médio é **0.637xvalor de pico**. Essa relação vale para valores de tensão e corrente.

VALOR EFICAZ

- O valor eficaz ou *rms* de **uma forma de onda senoidal de tensão ou de corrente** corresponde à mesma quantidade de tensão ou corrente contínua capaz de produzir a mesma potência dissipada.
- Prova-se matematicamente que:

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad \text{e} \quad I_{rms} = \frac{I_p}{\sqrt{2}}$$

VALOR EFICAZ

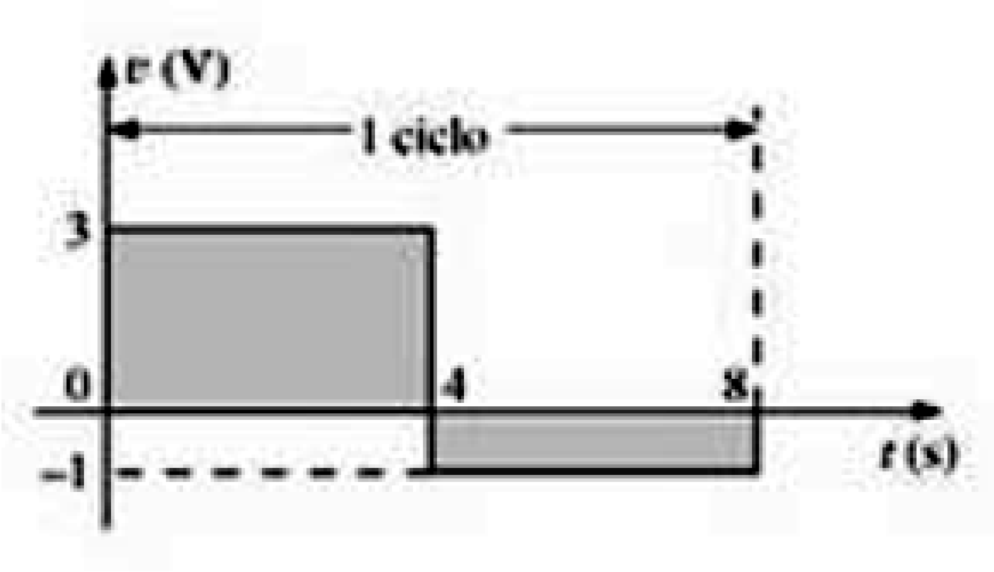
- O valor eficaz de qualquer grandeza, cuja a variação com o tempo é conhecida, pode ser calculado a partir da seguinte equação:

$$A_{rms} = \sqrt{\frac{\int_0^T i^2(t)dt}{T}}$$

Ou

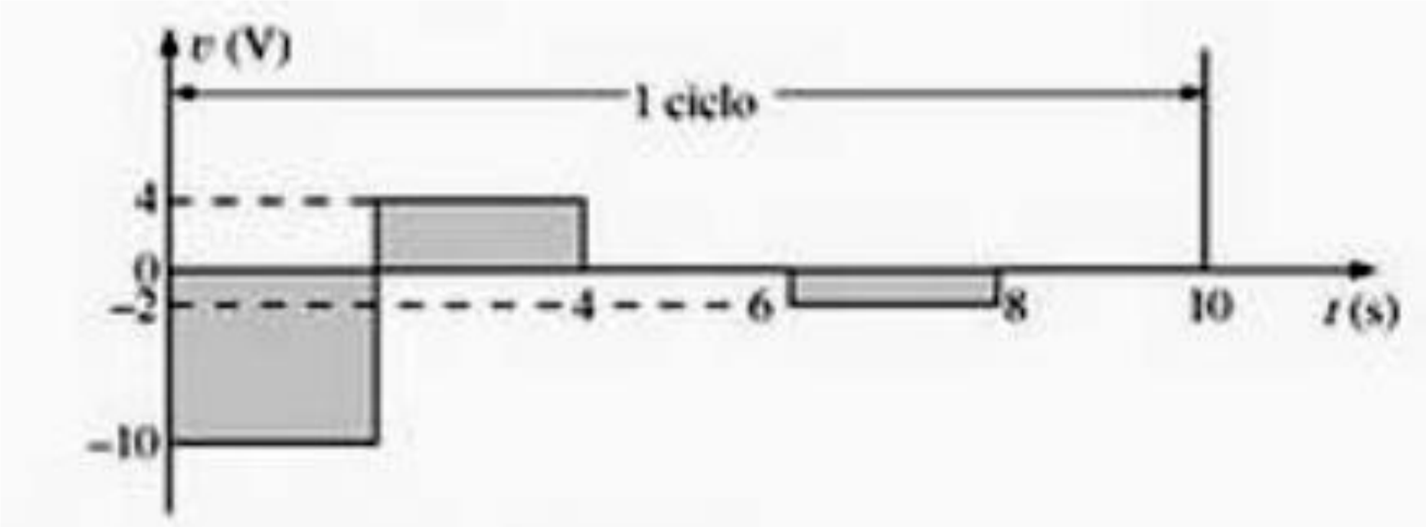
$$A_{rms} = \sqrt{\frac{área(i^2(t))}{T}}$$

EXEMPLO Calcule o valor eficaz da forma de onda vista abaixo:



$$V_{rms} = \sqrt{\frac{3^2 x4 + (-1)^2 x4}{8}} = \sqrt{\frac{40}{8}} = 2.236\ V$$

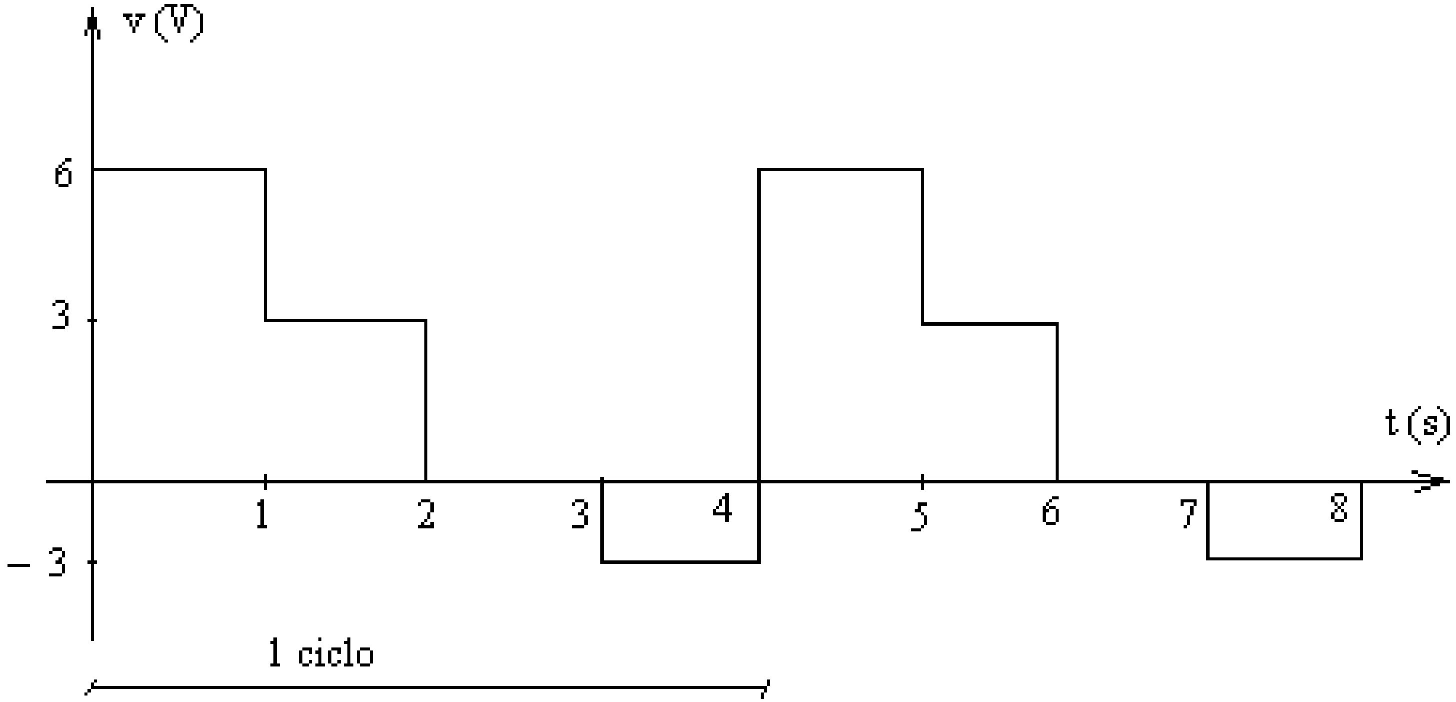
EXEMPLO Calcule o valor eficaz da forma de onda vista abaixo:



$$V_{rms} = \sqrt{\frac{(-10)^2 x2 + (4)^2 x2 + 0^2 x2 + (-2)^2 x2 + 0^2\ x2}{10}} = \sqrt{\frac{240}{10}} = 4.899\ V$$

ATIVIDADE ESTRUTURADA Nº 1

Para a forma de onda mostrada na figura abaixo, determine o valor eficaz da tensão:



Bibliografia

Boylestad, Robert L. **Introdução a Análise de Circuitos**. São Paulo, . 10ª Ed. LTC, 2014.

DOS SANTOS, Alex Ferreira. **Eletricidade Aplicada.** 1 ed, 2016.