PEA3391 - Eletricidade II

Aula - Correntes e Tensões Alternadas Senoidais

Prof. Dr. Fillipe Matos de Vasconcelos

São Paulo - março de 2020

Correntes e Tensões Alternadas Senoidais

Introdução

Introdução

- Circuitos em Corrente Contínua (CC) tensões e correntes não variam ao longo do tempo;
- Circuitos em Corrente Alternada (CA) tensões e correntes variam ao longo do tempo;
- O termo *alternada* indica apenas que o valor da tensão ou da corrente se alterna ao longo do tempo entre dois níveis (vide **Fig. 1**);
- É importante estudarmos sinais CA porque é a tensão fornecida pelas empresa geradoras de energia elétrica.

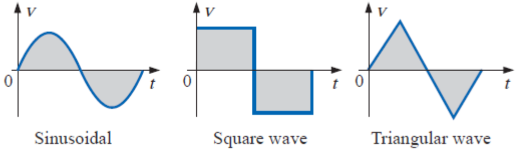
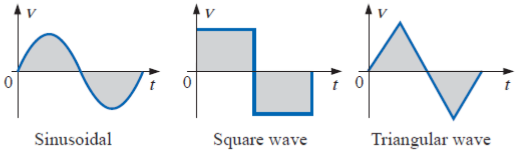


Fig. 1: Formas de ondas alternadas: sinusoidal, onda quadrada e onda triangular.

Introdução

- Concentraremos nossa atenção na tensão alternada senoidal, pois esta é o tipo de tensão gerado nas usinas de energia elétrica em todo o mundo;
- Sistemas elétricos, eletrônicos, de comunicação e indústrias também fazem uso deste tipo de tensão;
- Os diversos teoremas e métodos para circuitos CC também serão aplicados aos circuitos CA.



Formas de ondas alternadas: sinusoidal, onda quadrada e onda triangular.

Tensão Alternada Senoidal: Características e Definições

Geração

- As tensões alternadas podem ser geradas por diversas fontes;
- As usinas geradoras podem ser alimentadas por quedas d'água, óleo, gás ou fissão nuclear, por exemplo;
- Em cada caso, um *gerador CA* (também denominado de *alternador*), vide **Fig. 2**, é o componente mais importante no processo de conversão de energia;

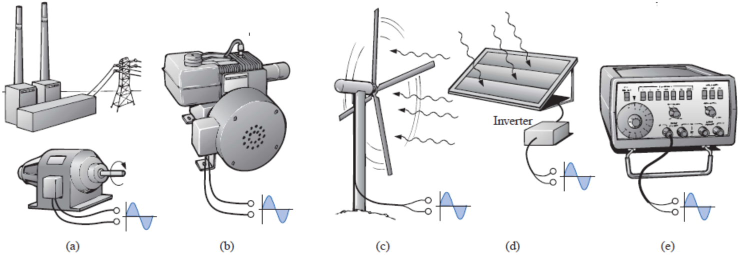


Fig. 2: Fontes de corrente alternada (a) usina geradora; (b) gerador CA portátil; (c) gerador eólico; (d) painel solar; (e) gerador de sinais

Geração

- Na **Fig. 2a** (ex.: hidrelétricas) a energia oriunda é utilizada para girar um *rotor* (construído com pólos magnéticos alternados) envolvido pelos enrolamentos do *estator* (a parte estacionária do gerador), induzindo assim uma tensão no estator definida pela **Lei de Faraday**$(e = N\frac{d\phi}{dt})$ – Gerador CA;
- Na **Fig. 2b** (ex.: gerador portátil a gasolina ou óleo) a energia oriunda é utilizada principalmente em sistemas autônomos, ou seja, onde as linhas de transmissão não foram instaladas – Gerador CA;
- Na **Fig. 2c** (ex.: gerador eólico) as pás da turbina estão diretamente conectadas ao eixo de um Gerador CA para fornecer Tensão CA;
- Na **Fig. 2d** (ex.: painel solar) a energia luminosa absorvida na forma de fótons fornecem Tensão Contínua. Por meio de um sistema eletrônico chamado *inversor*, todavia, a tensão contínua pode ser convertida em alternada – Gerador CC, mas com inversor torna-se um Gerador CA;
- Na **Fig. 2e** (ex.: gerador de funções) as tensões alternadas senoidais podem ser controlados pelo usuários. Formas de ondas com diferentes amplitudes e frequências podem ser obtidas. Este tem um papel fundamental para o estudo dos diversos teoremas, métodos de análises e tópicos a serem apresentados mais a frente no curso – Gerador CA ou Gerador CC.

- A forma de onda senoidal, com seus parâmetros, é vista na **Fig. 3**:

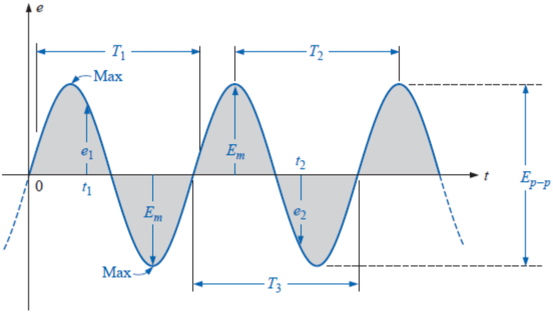


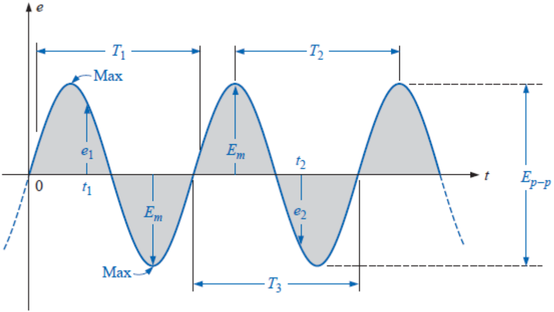
Fig. 3: Parâmetros importantes de uma tensão senoidal.

onde:

Definições

1. **Forma de onda**;
2. **Valor instantâneo**;
3. **Amplitude de pico**;
4. **Valor de pico**;
5. **Valor pico a pico**;
6. **Forma de onda periódica**;
7. **Período**(T);
8. **Ciclo**;
9. **Frequência**(f).

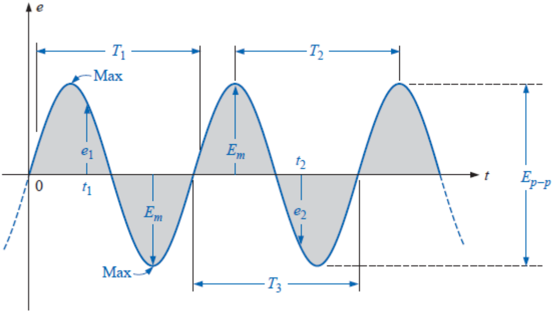
1) **Forma de onda:** Gráfico de uma grandeza em função de uma variável como o tempo, posição, graus, radianos, temperatura, etc.;



Parâmetros importantes de uma tensão senoidal.

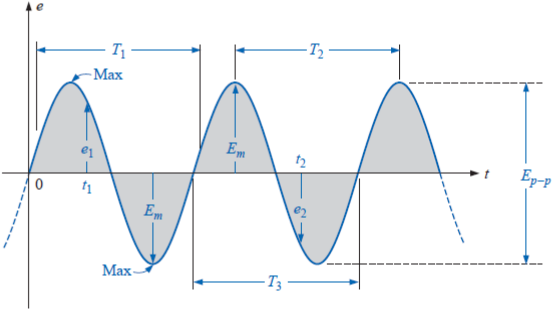
Definições

2) **Valor instantâneo:** Amplitude de uma forma de onda em um instante de tempo qualquer. É representado por letras minúsculas (e_1, e_2);



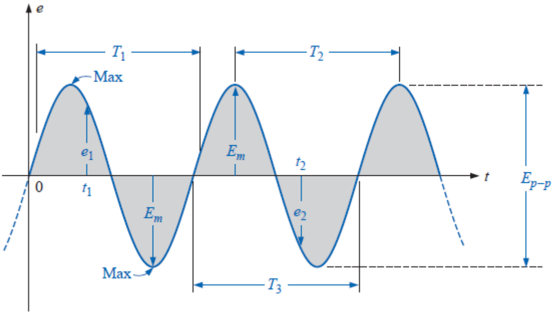
Parâmetros importantes de uma tensão senoidal.

3) **Amplitude de pico:** Valor máximo de uma forma de onda em relação ao valor médio. É representado por letras maiúsculas como E_m para fontes de tensão e V_m para quedas de tensão por meio de uma carga;



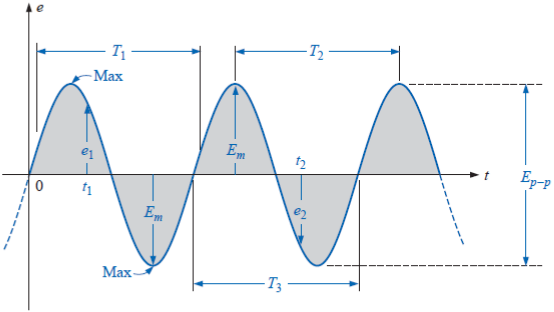
Parâmetros importantes de uma tensão senoidal.

4) **Valor de pico:** Valor máximo de uma função medido a partir do nível zero. No caso da **Fig. 3**, a amplitude de pico e o valor de pico são iguais, pois o valor médio da função é zero volt;



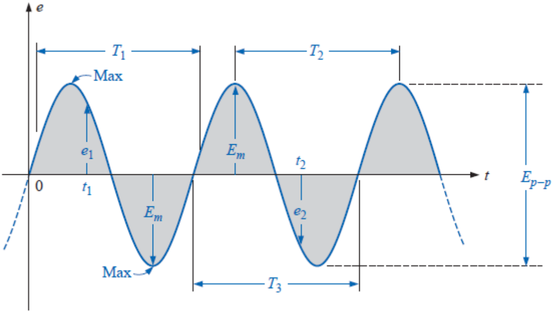
Parâmetros importantes de uma tensão senoidal.

5) **Valor pico a pico:** Diferença entre os valores dos picos positivo e negativo. É a soma dos módulos das amplitudes positiva e negativa. É denotado por E_{p-p} ou V_{p-p};



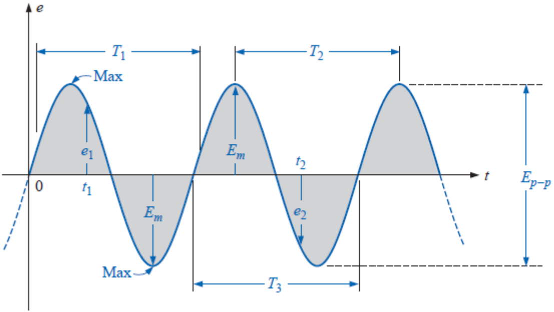
Parâmetros importantes de uma tensão senoidal.

6) **Forma de onda periódica:** Forma de onda que se repete continuamente após um certo intervalo de tempo constante;



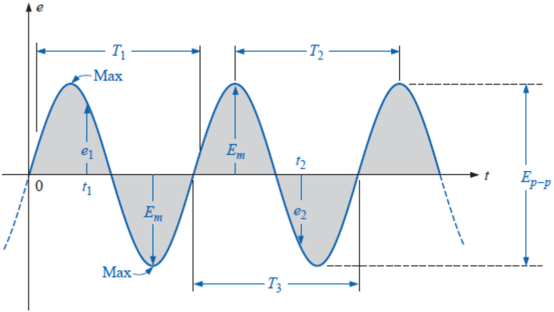
Parâmetros importantes de uma tensão senoidal.

7) **Período(T):** Intervalo de tempo entre repetições sucessivas de uma forma de onda periódica ($T_1 = T_2 = T_3$ na **Fig. 3**);



Parâmetros importantes de uma tensão senoidal.

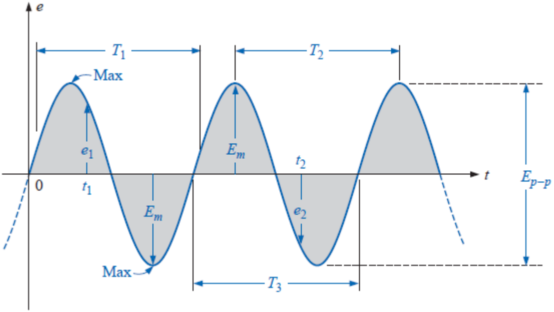
8) **Ciclo:** Parte de uma forma de onda contida em um intervalo de tempo igual a um período;



Parâmetros importantes de uma tensão senoidal.

Definições

9) **Frequência(f):** É o número de ciclos que ocorrem em 1 segundo. A unidade de frequência é dada em Hertz (Hz): 1 Hertz = 1 ciclo por segundo. O padrão do sistema elétrico no Brasil e na América do Norte é de 60 Hz, enquanto que na maior parte da Europa é de 50 Hz. A frequência (f) é inversamente proporcional ao período (T), logo: $f = \frac{1}{T}$.



Parâmetros importantes de uma tensão senoidal

Definições

- **Forma de onda:** Gráfico de uma grandeza em função de uma variável como o tempo, posição, graus, radianos, temperatura, etc.;
- **Valor instantâneo:** Amplitude de uma forma de onda em um instante de tempo qualquer. É representado por letras minúsculas (e_1, e_2);
- **Amplitude de pico:** Valor máximo de uma forma de onda em relação ao valor médio. É representado por letras maiúsculas como E_m para fontes de tensão e V_m para quedas de tensão por meio de uma carga.;
- **Valor de pico:** Valor máximo de uma função medido a partir do nível zero. No caso da **Fig. 3**, a amplitude de pico e o valor de pico são iguais, pois o valor médio da função é zero volt;
- **Valor pico a pico:** Diferença entre os valores dos picos positivo e negativo. É a soma dos módulos das amplitudes positiva e negativa. É denotado por E_{p-p} ou V_{p-p};
- **Forma de onda periódica:** Forma de onda que se repete continuamente após um certo intervalo de tempo constante;
- **Período(T):** Intervalo de tempo entre repetições sucessivas de uma forma de onda periódica ($T_1 = T_2 = T_3$ na **Fig. 3**);
- **Ciclo:** Parte de uma forma de onda contida em um intervalo de tempo igual a um período;
- **Frequência(f):** É o número de ciclos que ocorrem em 1 segundo. A unidade de frequência é dada em Hertz (Hz): 1 Hertz = 1 ciclo por segundo. O padrão do sistema elétrico no Brasil e na América do Norte é de 60 Hz, enquanto que na maior parte da Europa é de 50 Hz. A frequência (f) é inversamente proporcional ao período (T), logo: $f = \frac{1}{T}$.

EXEMPLO 1: Calcule o período de uma forma de onda periódica cuja frequência é:

1. 60 Hz.
2. 1000 Hz.

Solução:

Definições

EXEMPLO 1: Calcule o período de uma forma de onda periódica cuja frequência é:

1. 60 Hz.
2. 1000 Hz.

Solução:

1) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60} = 0,01667$ s ou $16,67$ ms

Definições

EXEMPLO 1: Calcule o período de uma forma de onda periódica cuja frequência é:

1. 60 Hz.
2. 1000 Hz.

Solução:

1) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60} = 0,01667$ s ou $16,67$ ms

2) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1000} = 10^{-3}$ s ou 1 ms

EXEMPLO 2: Determine a frequência da forma de onda vista na figura a seguir:

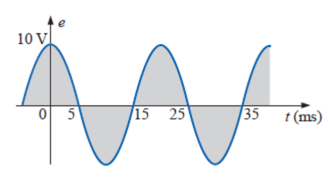


Fig. 4: Função Senoidal do Exemplo 2.

Solução:

EXEMPLO 2: Determine a frequência da forma de onda vista na figura a seguir:

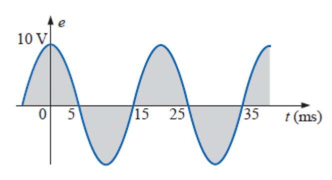


Fig. 4: Função Senoidal do Exemplo 2.

Solução:
A partir da figura,
$T = (25\,ms - 5\,ms) = 20\,ms$,
logo:
$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \times 10^{-3} s} = 50Hz$

Definições de Polaridade e Sentido

- Por convenção, é necessário definir uma polaridade para a tensão alternada senoidal e um sentido para a corrente alternada senoidal;
- Em cada caso, a polaridade e o sentido da corrente serão correspondentes ao semiciclo positivo da forma de onda (vide **Fig. 5**).

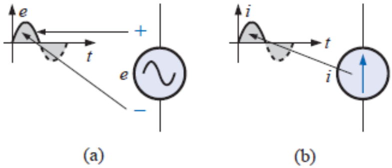


Fig. 5: (a) Fonte de tensão alternada senoidal; (b) fonte de corrente alternada senoidal.

- As duas grandezas são representadas por letras minúsculas para indicar que variam com o tempo.

A Senóide

A Senóide

- Os termos definidos anteriormente podem ser aplicados a qualquer função periódica, seja ela contínua ou descontínua;

Considere a seguinte afirmação:

A senóide é a única forma de onda cuja forma não se altera ao ser aplicada a um circuito contendo resistores, indutores e capacitores.

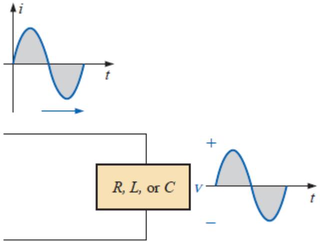


Fig. 6: A senóide é a única forma de onda que não se altera ao ser aplicada a um circuito contendo resistores, indutores e capacitores.

A Senóide

- O número π é a razão entre o comprimento (C) da circunferência de um círculo e o seu diâmetro($2\,r$), sendo r o raio;
- Assim, $\boldsymbol{C = 2\,\pi\,r}$;
- $\pi = 3,1415926535\ldots$

Tab. 1: Relação entre graus e radianos

Radiano		Graus
$\mathbf{0}$	=	0°
$\boldsymbol{\frac{\pi}{2}}$	=	90°
$\boldsymbol{\pi}$	=	180°
$\boldsymbol{\frac{3\pi}{2}}$	=	270°
$\boldsymbol{2\,\pi}$	=	360°
$\mathbf{1}$	=	$57{,}296^{\circ}$

Tab. 2: Conversão entre graus e radianos

$$\textbf{Radiano} = \boldsymbol{\frac{\pi}{180}} \times \textbf{(Graus)}$$

$$\textbf{Graus} = \boldsymbol{\frac{180}{\pi}} \times \textbf{(Radianos)}$$

Exemplos:

90º: Radianos $= \frac{\pi}{180} \times (90) = \boldsymbol{\pi/2}$ **rad**

30º: Radianos $= \frac{\pi}{180} \times (30) = \boldsymbol{\pi/6}$ **rad**

$\boldsymbol{\frac{\pi}{3}}$ **rad:** Graus $= \frac{180}{\pi} \times \frac{\pi}{3} = \mathbf{60^{\circ}}$

$\boldsymbol{\frac{3\pi}{2}}$ **rad:** Graus $= \frac{180}{\pi} \times \frac{3\pi}{2} = \mathbf{270^{\circ}}$

A Senóide

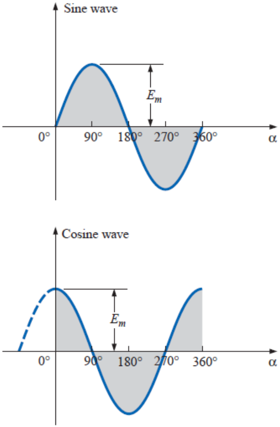


Fig. 7: Gráficos das funções seno e co-seno com o eixo horizontal em graus.

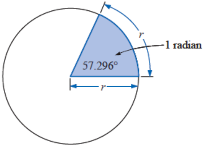


Fig. 8: Definição de radiano.

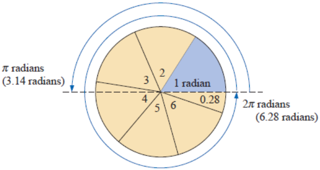


Fig. 9: 360º equivale a 2 π radianos.

A Senóide – Velocidade Angular

A velocidade com que o vetor gira em torno do centro é denominada de **velocidade angular**, sendo determinada como:

$$\text{Velocidade angular} = \frac{\text{ângulo percorrido (graus ou radianos)}}{\text{tempo (segundos)}}$$

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

$$\alpha = \omega\, t$$

A Senóide – Velocidade Angular

- O tempo necessário para completar uma revolução é igual ao período (T) da forma de onda senoidal.
- O número de radianos que corresponde a este intervalo de tempo é de $2\,\pi$. Substituindo, tem-se que:
- $\omega = \frac{2\,\pi}{T}$
- Isto significa que quanto menor o período da forma de onda, maior a velocidade angular;
- Como $f = \frac{1}{T}$, definimos de maneira mais usual que:

$$\boldsymbol{\omega = 2\,\pi\,f} \ \text{(rad/s)}$$

A Senóide – Velocidade Angular

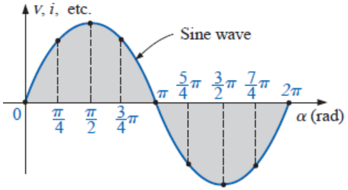


Fig. 10: Gráfico da função seno com o eixo horizontal em radianos.

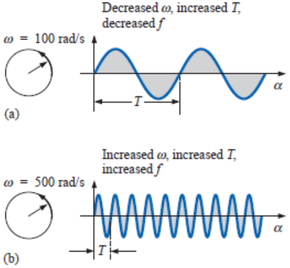


Fig. 11: Ilustração da influência do valor de ω sobre a frequência e o período.

- Quanto maior a frequência da forma de onda senoidal, maior a velocidade angular do vetor.

A Senóide – Velocidade Angular

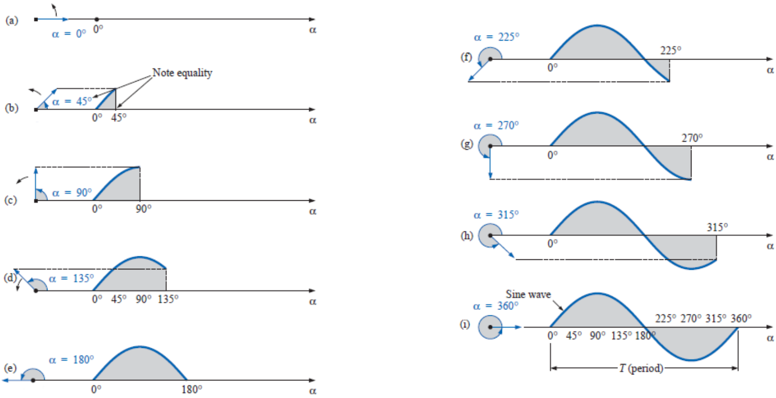


Fig. 12: Geração de uma forma de onda senoidal usando as projeções de um vetor girante.

A Senóide – Velocidade Angular

EXEMPLO 3: Determine a velocidade angular relativa a uma forma de onda senoidal cuja frequência é de 60 Hz.

Solução:

A Senóide – Velocidade Angular

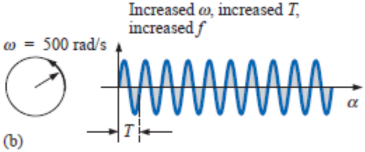
EXEMPLO 3: Determine a velocidade angular relativa a uma forma de onda senoidal cuja frequência é de 60 Hz.

Solução:

$\omega = 2\,\pi f = (2\,\pi)(60) = \mathbf{377\ rad/s}$

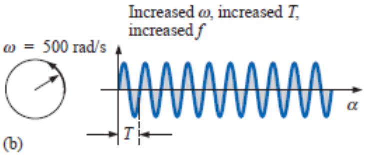
A Senóide – Velocidade Angular

EXEMPLO 4: Determine a frequência e o período da senoide da figura abaixo.



Solução:

EXEMPLO 4: Determine a frequência e o período da senoide da figura abaixo.



Solução:

$\omega = 2\,\pi f = \frac{2\,\pi}{T}$

$T = \frac{2\,\pi}{\omega} = \frac{2\,\pi}{500} = \mathbf{12,57\ ms}$ e $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{12{,}57 \times 10^{-3}} = \mathbf{79,58\ Hz}$

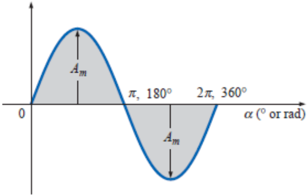
Expressão Geral para Tensões ou Correntes Senoidais

Expressão Geral para Tensões ou Correntes Senoidais

- A senoide é expressa como $\boldsymbol{A_m}$ **sen** $\boldsymbol{\alpha}$, ou, genericamente dada por: $\boldsymbol{A_m}$ **sen** $\boldsymbol{(\omega t)}$,
- onde $\boldsymbol{A_m}$ é o valor de pico da onda, $\boldsymbol{\alpha}$ é o ângulo de fase, $\boldsymbol{\omega}$ é a velocidade angular e $\boldsymbol{t}$ é o tempo.
- No caso das grandezas elétricas:

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

- onde as letras maiúsculas com índice m representam amplitudes e as letras minúsculas i e e representam os valores instantâneos de corrente e de tensão, respectivamente.



Relações de Fase

- As relações de fase são as expressões matemáticas que consideram o deslocamento horizontal da forma de onda, sendo que:

se $A_m \operatorname{sen}(\omega t + \theta)$

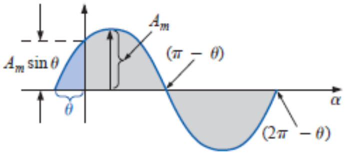


Fig. 13: Definição do deslocamento de fase de uma função senoidal que corta o eixo horizontal à esquerda da origem com inclinação positiva.

se $A_m \operatorname{sen}(\omega t - \theta)$

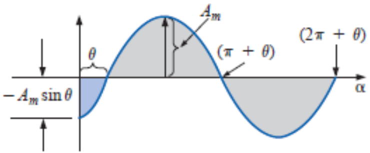


Fig. 14: Definição do deslocamento de fase de uma função senoidal que corta o eixo horizontal à direita da origem com inclinação positiva.

- Se a forma de onda corta o eixo horizontal com inclinação positiva e adiantada de 90º ($\pi/2$), o gráfico é chamado de função **cosseno**, isto é:

$$\text{sen}(\omega t + 90^{\underline{o}}) = cos(\omega t)$$
$$\text{sen}(\omega t) = cos(\omega t - 90^{\underline{o}})$$

- A **função cosseno** é dita adiantada de 90º da **função seno**, ou
- A **função seno** é dita atrasada de 90º da **função cosseno**, ou
- Dizemos também que elas estão **defasadas** de 90º uma da outra.

Relações de Fase

Não devemos esquecer que

- O **seno** é uma **função ímpar**, i.e.,

$$\text{sen}(-\alpha) = -\text{sen}(\alpha)$$

- O **cosseno** é uma **função par**, i.e.,

$$\cos(-\alpha) = \cos(\alpha)$$

Relações de Fase

Além disso, tem-se que

$$\cos(\alpha) = \text{sen}(\alpha + 90^{\underline{o}})$$
$$\text{sen}(\alpha) = \cos(\alpha - 90^{\underline{o}})$$
$$-\text{sen}(\alpha) = \text{sen}(\alpha \pm 180^{\underline{o}})$$
$$-\cos(\alpha) = \text{sen}(\alpha + 270^{\underline{o}}) = \text{sen}(\alpha - 90^{\underline{o}})$$

etc.

Relações de fase

EXEMPLO 5: Qual é a relação de fase entre as formas de onda senoidais no seguinte par:

$$v = 10\,\mathrm{sen}(\omega t + 30^{\underline{o}})$$
$$i = 5\,\mathrm{sen}(\omega t + 70^{\underline{o}})$$

Solução:

Relações de fase

EXEMPLO 5: Qual é a relação de fase entre as formas de onda senoidais no seguinte par:

$$v = 10\,\text{sen}(\omega t + 30^{\underline{o}})$$
$$i = 5\,\text{sen}(\omega t + 70^{\underline{o}})$$

Sol ˜

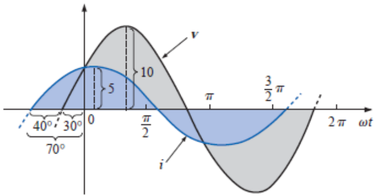


Fig. 15: i adiantada de $40^{\underline{o}}$ em relação a v.

Logo, tem-se que $\boldsymbol{i}$ **está adiantada 40º em relação a** $\boldsymbol{v}$**, ou** $\boldsymbol{v}$ **está atrasada 40º em relação a** $\boldsymbol{i}$

Valor Médio

Valor Médio

$$\text{Valor médio} = \frac{\text{área sob a curva}}{\text{comprimento da curva}}$$

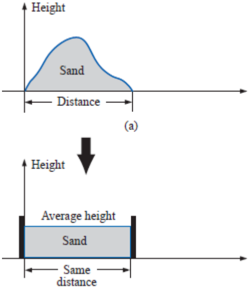


Fig. 16: Definição do valor médio.

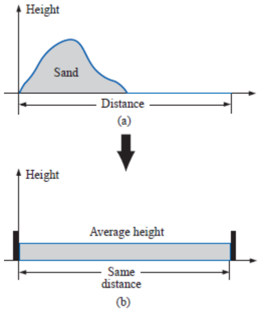


Fig. 17: Influência da largura sobre o valor médio.

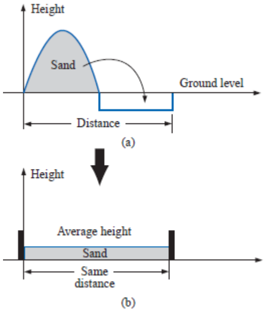
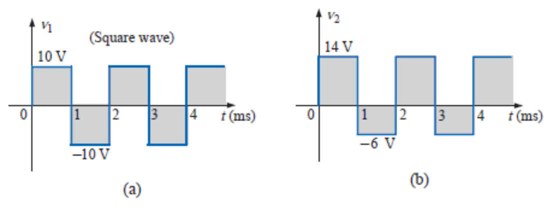


Fig. 18: Influência das depressões (valores negativos) sobre o valor médio.

Relações de fase

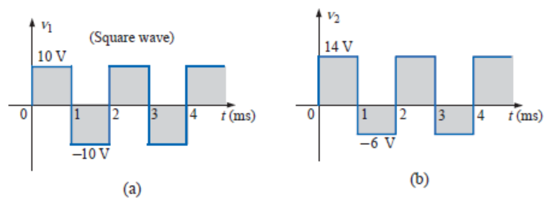
EXEMPLO 6: Determine o valor médio das formas de onda vistas a seguir.



Solução:

Relações de fase

EXEMPLO 6: Determine o valor médio das formas de onda vistas a seguir.



Solução:

(a) Por inspeção, o valor médio é **nulo**.

(b) $V_{\text{médio}} = \frac{14\times1-6\times1}{2} = \mathbf{4\ V}$

Se um **voltímetro CC** realizasse a leitura da forma de onda (b), o valor medido seria de **4 V**.

Valor Eficaz

- O **Valor Eficaz** corresponde a amplitude de uma corrente alternada senoidal necessária para fornecer a mesma potência que uma corrente contínua.

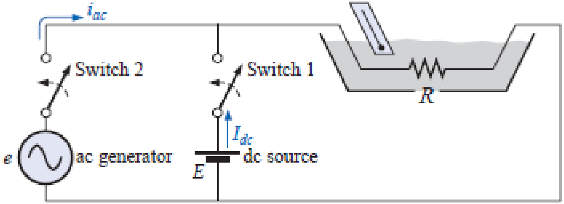


Fig. 19: Arranjo experimental para estabelecer uma relação entre grandezas CC e CA.

Valor Eficaz

- A potência instantânea fornecida pela fonte de corrente alternada é dada por:

$$P_{ca} = R\,(i_{ca})^2 = R\,(I_m \operatorname{sen} \omega t)^2 = R\,(I_m^2 \operatorname{sen}^2 \omega t)$$

mas

$$\operatorname{sen}^2 \omega t = \tfrac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t) \text{ (identidade trigonométrica)}$$

Logo

$$P_{ca} = R\,I_m^2 \left[\tfrac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t)\right], \text{ ou}$$

$$\boldsymbol{P_{ca} = \frac{R\,I_m^2}{2} - \frac{R\,I_m^2}{2} \cos 2\omega t}$$

- A potência média fornecida pela fonte alternada corresponde apenas **ao primeiro tempo**, já que o valor médio de um cosseno é **zero**.
- Igualando a potência média fornecida pela fonte CA à potência fornecida pela fonte CC, tem-se que:

$$P_{\text{médio(ca)}} = P_{cc}$$

$$\frac{R\,I_m^2}{2} = R\,Icc^2$$

$$\boldsymbol{I_m = \sqrt{2}\,Icc \text{ ou } I_{cc} = \frac{Im}{\sqrt{2}} = 0,707\,I_m}$$

Valor Eficaz

"O valor equivalente CC de uma tensão ou corrente senoidal vale $\mathbf{0,707 (= \frac{1}{\sqrt{2}})}$ do seu valor máximo."

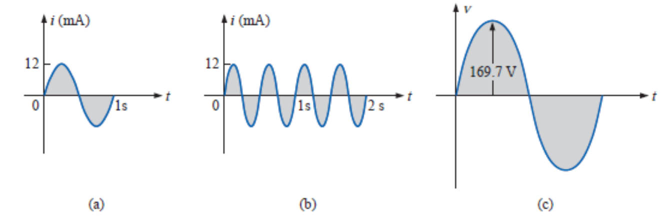
$$\boldsymbol{I_{cc} = \frac{Im}{\sqrt{2}} = 0,707\, I_m}, \text{ ou}$$

$$\boldsymbol{I_{eficaz} = \frac{Im}{\sqrt{2}} = 0,707\, I_m}, \text{ e}$$
$$\boldsymbol{E_{eficaz} = \frac{Em}{\sqrt{2}} = 0,707\, E_m}$$

Valor Eficaz

- Para dar um exemplo, seria necessária uma corrente alternada de amplitude de pico de $\sqrt{2} \times 10 = \mathbf{14,4\ A}$ para fornecer ao resistor da **Fig. 19** a mesma potência que uma corrente contínua de **10** A.
- Uma outra designação muito comum para Valor Eficaz é o **valor médio quadrático** – ***root-mean-square***, ou **rms**;
- Ao longo deste curso adotaremos em muitos momentos o termo **rms** porque ele é muito comum no meio educacional e industrial.

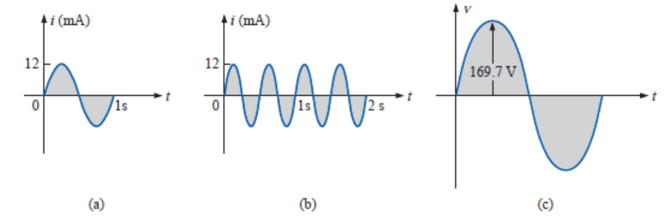
EXEMPLO 7: Calcule os valores eficazes para as formas de onda senoidais vistas a seguir.



Solução:

Valor Eficaz

EXEMPLO 7: Calcule os valores eficazes para as formas de onda senoidais vistas a seguir.



Solução:

(a) e (b) $I_{rms} = 0,707 \times (12 \times 10^{-3}) = 8,484$ mA.

(c) $V_{rms} = 0,707 \times (169,73) = 120$ V (tensão das tomadas).

Valor Eficaz

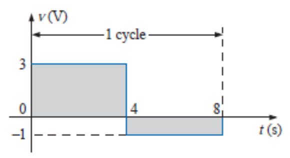
- Genericamente, o **valor eficaz** é calculado por:

$$\boldsymbol{I_{eff} = I_{rms} = \sqrt{\frac{\int_0^T i^2(t)\,dt}{T}}}, \text{ ou}$$

$$\boldsymbol{V_{eff} = V_{rms} = \sqrt{\frac{\int_0^T v^2(t)\,dt}{T}}}$$

Valor Eficaz

EXEMPLO 8: Calcule o valor eficaz da forma de onda vista na figura a seguir.



Solução:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{(3)^2 \times (4) + (1)^2 \times (4)}{8}} = \sqrt{\frac{(9) \times (4) + (1) \times (4)}{8}} = \sqrt{\frac{40}{8}} = 2,236 \text{ V}.$$

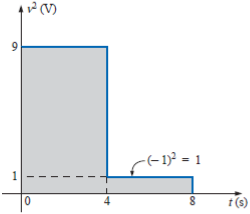


Fig. 20: Forma de onda da figura do enunciado elevada ao quadrado.

Valor Eficaz

- Uma situação interessante é aquela na qual uma forma de onda possui **uma componente contínua e outra alternada**;
- Suponha $V_{cc} = 6$ V e $V_m = 1,5$ V;
- **Uma questão que surge é: Qual é o valor eficaz da tensão V_{rms}?**
- É intuitivo pensar que é a soma dos valores rms:

$$V_{rms} = 0,707 \times (1,5) + 6 = 1,06 + 6 = \mathbf{7,06\ V};$$

ERRADO!!!!

- O valor rms é, na verdade, dado por:

$$\boldsymbol{V_{rms} = \sqrt{{V_{cc}}^2 + V_{ca(rms)}^2}}$$

- Logo:

$$V_{rms} = \sqrt{6^2 + 1,06^2};$$
$$V_{rms} = \sqrt{37,124};$$
$$\boldsymbol{V_{rms} = 6,1\ \mathbf{V}};$$

CERTO!!!!

Medidores e Instrumentos de Corrente Alternada

- Frequencímetro (*Trektonx, Inc.*)

- Fornece resultados em forma digital para ondas senoidais, quadradas e triangulares no intervalo de 5 Hz a 100 MHz, com amplitudes de 30 mV a 42 V.

- Amp-Clamp (*Simpson Instruments, Inc.*)

- É um instrumento capaz de medir CA na faixa de ampères sem necessidade de interromper o circuito;
- A bobina existente a extremidade do aparelho é aberta apertando-se um 'gatilho' e colocada em torno do condutor cuja corrente se deseja medir;
- Por meio da ação de um transformador, a intensidade da corrente eficaz aparece numa escala adequada;
- A precisão do instrumento é de $\pm 3\%$ do valor final da escala para uma frequência de 60 Hz, numa escala de 6 A a 300 A.

Medidores e Instrumentos de Corrente Alternada

- Osciloscópio de dois canais (*Tektronix, Inc.*)

- Fornece a representação gráfica do sinal na tela te um tubo de raios catódicos;
- Auxilia na análise de defeitos e também para medir amplitudes, frequências, períodos, componentes contínuos, etc.

PEA3391 - Eletricidade II

Aula - Correntes e Tensões Alternadas Senoidais

Prof. Dr. Fillipe Matos de Vasconcelos

São Paulo - março de 2020