

# ELETRICIDADE CA

Carlos Wesley da Mota Bastos

VISITORS  
GALLERY

CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

# ELETRICIDADE CA

Carlos Wesley da Mota Bastos

CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

VISITORS  
GALLERY



## **Autor**

**Carlos Wesley da Mota Bastos**

Graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Elétricos pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC MG). Possui formação pedagógica de Docentes com Licenciatura Plena – Habilitação em Eletrônica pela Faculdade de Ciências da Educação do Centro Universitário de Brasília (UniCEUB). Pós-graduado com especialização em Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias com ênfase no Ensino Médio pela Universidade de Brasília (UnB). Atualmente, é Coordenador Técnico de Rede de Telecomunicações na Operadora Oi, em Brasília/DF, especificamente na área de Operação e Manutenção de Transmissão e Rede Óptica. Desenvolve suas atividades docentes como Professor em Educação Profissional na Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal, na Escola Técnica de Brasília (ETB), nos Cursos Técnicos em Eletrotécnica, Telecomunicações (Presencial e EaD), Eletrônica e Informática.

### **Design Instrucional**

Mariana Carvalho

Ricardo Moura

### **Revisão**

Renata Kuhn

### **Editoração Eletrônica**

Marcelo Moraes

Rebeca Bafica

### **Projeto Gráfico**

NT Editora

### **Capa**

NT Editora

### **Ilustração**

Thiago Ferreira

### **NT Editora, uma empresa do Grupo NT**

SCS Quadra 2 – Bl. C – 4º andar – Ed. Cedro II

CEP 70.302-914 – Brasília – DF

Fone: (61) 3421-9200

sac@grupont.com.br

www.nteditora.com.br e www.grupont.com.br

Bastos, Carlos Wesley da Mota.

Eletricidade CA / Carlos Wesley da Mota Bastos – 1. ed.  
reimpr. rev. – Brasília: NT Editora, 2017.

190 p. il. ; 21,0 X 29,7 cm.

ISBN 978-85-8416-170-6

1. Eletricidade. 2. Tensão elétrica.

I. Título

Copyright © 2017 por NT Editora.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida por qualquer modo ou meio, seja eletrônico, fotográfico, mecânico ou outros, sem autorização prévia e escrita da NT Editora.

## ÍCONES

Prezado(a) aluno(a),

Ao longo dos seus estudos, você encontrará alguns ícones na coluna lateral do material didático. A presença desses ícones o(a) ajudará a compreender melhor o conteúdo abordado e a fazer os exercícios propostos. Conheça os ícones logo abaixo:



### **Saiba mais**

Esse ícone apontará para informações complementares sobre o assunto que você está estudando. Serão curiosidades, temas afins ou exemplos do cotidiano que o ajudarão a fixar o conteúdo estudado.



### **Importante**

O conteúdo indicado com esse ícone tem bastante importância para seus estudos. Leia com atenção e, tendo dúvida, pergunte ao seu tutor.



### **Dicas**

Esse ícone apresenta dicas de estudo.



### **Exercícios**

Toda vez que você vir o ícone de exercícios, responda às questões propostas.



### **Exercícios**

Ao final das lições, você deverá responder aos exercícios no seu livro.

**Bons estudos!**

## Sumário

<b>1 PARÂMETROS DE SINAIS SENOIDAIS .....</b>	<b>9</b>
1.1 Leis fundamentais da eletricidade .....	9
1.2 Sistemas de Corrente Alternada (CA) .....	13
1.3 Geração monofásica de uma tensão alternada.....	17
1.4 Parâmetros e grandezas senoidais.....	19
<b>2 NOÇÕES BÁSICAS DE TRIGONOMETRIA.....</b>	<b>33</b>
2.1 Funções circulares.....	33
2.2 Relações entre as funções trigonométricas.....	44
2.3 Operações envolvendo as funções trigonométricas.....	46
2.4 Funções circulares inversas.....	48
2.5 Resolução de triângulos .....	49
<b>3 CIRCUITOS MONOFÁSICOS PUROS EM CA.....</b>	<b>56</b>
3.1 Leis fundamentais da eletricidade .....	56
3.2 Circuito CA puramente resistivo (R).....	60
3.3 Conceitos e propriedades dos indutores.....	64
3.4 Circuito CA puramente indutivo (L).....	67
3.5 Conceitos e propriedades dos capacitores .....	70
3.6 Circuito CA puramente capacitivo (C).....	73
<b>4 APLICABILIDADE DOS NÚMEROS COMPLEXOS EM ELETRICIDADE CA .....</b>	<b>82</b>
4.1 Vantagens da utilização da álgebra complexa e fasores.....	82
4.2 Conjuntos dos números reais .....	83
4.3 Números imaginários (j) .....	83
4.4 Números complexos (Z).....	85
4.5 Conversões entre as formas de números complexos.....	92
4.6 Notação dos fasores em números complexos.....	96
<b>5 ANÁLISE DE CIRCUITOS MONOFÁSICOS COMPOSTOS EM CA .....</b>	<b>106</b>
5.1 Circuito RL série em CA .....	106
5.2 Circuito RL paralelo em CA .....	110
5.3 Circuito RC série em CA.....	114
5.4 Circuito RC paralelo em CA .....	117
5.5 Circuito RLC série em CA.....	120

<b>6 MÉTODOS PARA ANÁLISE DE CIRCUITOS MONOFÁSICOS EM CA.....</b>	<b>131</b>
6.1 Método das correntes de malhas .....	131
6.2 Noções de matrizes e determinantes .....	135
6.3 Resolução de circuitos CA pelo método das correntes de malhas .....	139
6.4 Método das tensões dos nós .....	141
6.5 Resolução de circuitos CA pelo método das tensões dos nós.....	142
<b>7 POTÊNCIA EM CORRENTE ALTERNADA .....</b>	<b>149</b>
7.1 Potências no domínio do tempo.....	149
7.2 Potência Ativa (P).....	150
7.3 Potência Reativa (Q) .....	155
7.4 Triângulo das potências.....	156
7.5 Correção do fator de potência.....	159
<b>8 CIRCUITOS POLIFÁSICOS .....</b>	<b>166</b>
8.1 Circuitos Bifásicos.....	166
8.2 Circuitos Trifásicos.....	167
8.3 Circuitos Trifásicos Equilibrados.....	170
8.4 Circuitos Trifásicos Desequilibrados .....	174
8.5 Potência nas Cargas Trifásicas Equilibradas.....	176
8.6 Medição da Potência Trifásica.....	178
<b>GLOSSÁRIO .....</b>	<b>186</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>189</b>



Caro(a) estudante,

Seja bem-vindo(a) aos estudos de **Eletricidade CA!**

Esse livro, a fim de nortear o seu aprendizado, possui os seguintes objetivos gerais:

- definir os parâmetros das grandezas alternadas senoidais;
- representar graficamente as grandezas alternadas senoidais;
- trabalhar com as funções trigonométricas aplicadas à Eletricidade CA;
- operar com números complexos e fatores aplicados à Eletricidade CA;
- estudar os circuitos puros monofásicos CA das resistências, indutâncias e capacitâncias;
- estudar as associações de impedâncias em série e em paralelo;
- analisar matematicamente e graficamente circuitos monofásicos CA do tipo: RL, RC, RLC série e paralelo e calcular todos os seus parâmetros;
- conhecer alguns métodos de análise e resolução de circuitos CA;
- estudar a potência CA e suas aplicações no dia a dia;
- compreender e resolver os diversos circuitos trifásicos equilibrados e desequilibrados.

Este componente curricular está dividido em lições, as quais irão te direcionar a vivenciar situações de aprendizagem na área de análise de circuitos elétricos em geral, bem como desenvolver suas competências comportamentais, de atitude, técnica e de cognição, além de algumas habilidades científicas e teóricas para a aplicação prática de técnicas voltadas para as diversas áreas tecnológicas. Enfim, estes estudos irão auxiliar na sua formação profissional como um todo, num contexto de aprendizado contínuo e inovador.

Nossa expectativa, mais uma vez, é que este livro de Eletricidade CA sirva de norteador para a sequência de sua caminhada técnica e pedagógica em prol de uma formação ampla, abrangente e significativa nas descobertas deste mundo fantástico da eletricidade e geral.

**Bons estudos!**





# 1 PARÂMETROS DE SINAIS SENOIDAIS

Está preparado para estudar as principais leis da eletricidade e, ainda, aprender como aplicar os conceitos e definições dos principais parâmetros das grandezas alternadas e suas unidades, a partir do processo da geração da corrente alternada?

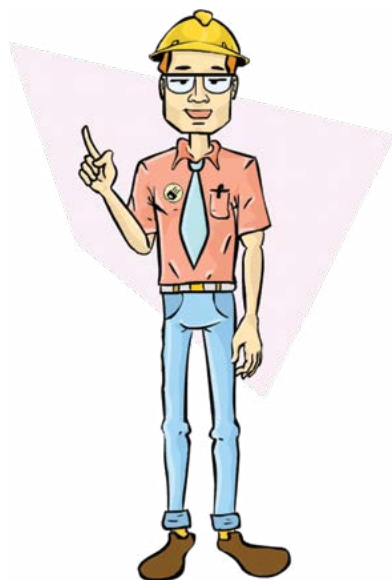
Nesta lição, iremos aprender a identificar, executar e utilizar a representação gráfica destas grandezas, visando compreender melhor os esquemas e diagramas elétricos, como uma das habilidades requeridas na eletricidade em corrente alternada.

## Objetivos

Ao finalizar esta lição, você deverá ser capaz de:

- compreender os principais parâmetros das grandezas alternadas e suas unidades, que serão usados ao longo de todo o curso;
- analisar corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA) através das representações gráficas;
- avaliar as grandezas senoidais da frequência, do período, da velocidade angular, da amplitude, dos valores instantâneos, dos valores médios e dos valores eficazes.

## 1.1 Leis fundamentais da eletricidade



Para melhor compreender eletricidade CA, é essencial que você tenha sempre em mente algumas leis fundamentais da eletricidade, como a “eletricidade básica”, que você já deve ter visto, certo? Dentre elas, destacamos as leis de Ohm (1ª e 2ª Lei), leis de Kirchhoff (leis das tensões e leis das correntes) e leis do eletromagnetismo (princípio de funcionamento de um gerador, de um motor, de um transformador etc.), pois farão parte de nossas análises o tempo todo.

Irwin (2005) expõe sobre a 1ª Lei de Ohm da seguinte forma:

“A Lei de Ohm recebeu este nome em homenagem ao físico alemão George Simon Ohm, o primeiro a descobrir a relação entre a tensão e corrente em uma resistência. Como consequência desse trabalho pioneiro, a unidade de resistência também recebeu o seu nome. De acordo com a lei de Ohm, a tensão entre os terminais de uma resistência é diretamente proporcional à corrente que a atravessa. A resistência, medida em ohms, é a constante de proporcionalidade entre a tensão e a corrente” (p. 16).

A relação matemática envolvendo a 1ª Lei de Ohm é expressa da seguinte forma:

$$V = RI \text{ ou } I = V/R \text{ ou } R = V/I$$

Em que:

- **V** – tensão elétrica, expressa em volts (V);
- **I** – corrente elétrica, expressa em ampères (A);
- **R** – resistência elétrica, expressa em ohms ( $\Omega$ ).



### Saiba mais

Alguns autores usam outros símbolos e nomenclaturas para representar a tensão elétrica. Para nomenclaturas, alguns usam os termos como: diferença de potencial (d.d.p.), tensão induzida, força eletromotriz e, até mesmo, a “voltagem” (termo em desuso). Já com relação aos símbolos, costumam usar: “U” ou “E” ou “e” ou “ $\epsilon$ ”, porém, isso não é um fator determinante para a nossa caminhada pedagógica. E você pretende usar qual símbolo e nomenclatura? Fique à vontade em sua escolha!



A 2ª Lei de Ohm exprime que a resistência elétrica de um condutor de seção reta uniforme é diretamente proporcional ao comprimento do condutor e inversamente proporcional à área de seção reta (bitola).

A relação matemática envolvendo a 2ª Lei de Ohm é expressa da seguinte forma:

$$R = \rho l/A$$

Em que:

- **R** – resistência elétrica, expressa em ohms ( $\Omega$ );
- **$\rho$**  – resistividade elétrica, constante de proporcionalidade que define a condutividade elétrica (bom condutor, semicondutor ou isolante) de um material, expressa em ohms vezes metro ( $\Omega \cdot m$ , na temperatura de 20°C);
- **l** – comprimento do condutor, expresso em metros (m);
- **A** – área de seção reta (bitola) do condutor, expressa em metros quadrados ( $m^2$ ).

A priori, não iremos usar com frequência a 2ª Lei de Ohm em nossas análises, porém, fique ciente de que esta lei é muito utilizada na eletricidade aplicada como um todo.

O'Malley (1993) conceitua a Lei de Kirchhoff das Tensões da seguinte forma:

“A Lei de Kirchhoff das Tensões, abreviada por LKT, possui três versões equivalentes. A qualquer instante em um laço, tanto no sentido horário quanto no anti-horário:

1. A soma algébrica das quedas de tensão é igual a 0 (zero);
2. A soma algébrica das elevações de tensão é igual a 0 (zero);
3. A soma algébrica das quedas de tensão é igual à soma algébrica das elevações de tensão” (p. 51).

A relação matemática envolvendo a Lei de Kirchhoff das Tensões é expressa da seguinte forma:

$$\Sigma \Delta V_s = \text{zero}$$

ou

$$\Sigma \text{ das elevações das tensões} = \Sigma \text{ das quedas das tensões}$$

**Ampères:**  
unidades de  
medida da cor-  
rente elétrica  
produzidas por  
um circuito de 1  
volt através de  
uma resistência  
de 1 ohm.

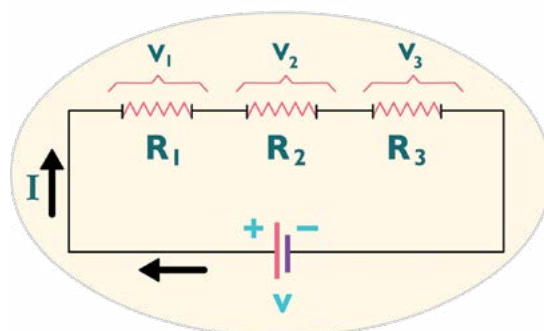
Em que:

- $\Sigma$  – expressão matemática (e/ou estatística) que simboliza “soma”;
- $\Delta$  – expressão matemática (e/ou estatística) que simboliza “variação”;
- $V_s$  – tensões elétricas, expressas em volts (V).

No tocante à Lei das Tensões de Kirchhoff (LTK), consideram-se os seguintes pontos:

- um circuito “série” é caracterizado por possuir a mesma corrente em qualquer ponto do circuito e diferentes tensões;
- um laço ou percurso fechado, ou seja, você finaliza a análise de circuito exatamente no ponto onde iniciou, independentemente do que exista entre os diversos pontos considerados neste caminho fechado;
- a soma algébrica equivale aos sinais positivos e negativos da análise;
- as elevações de tensão têm a ver com o sentido da corrente convencionada, partindo do polo negativo para o polo positivo da fonte;
- as quedas de tensão têm a ver com o sentido da corrente convencionada, partindo do polo positivo para o polo negativo da fonte.

#### Representação de um circuito “série”



Ainda de acordo com O'Malley (1993), conceitua-se a Lei de Kirchhoff das Correntes da seguinte forma:

“A Lei de Kirchhoff das Correntes, abreviada por LKC, possui três diferentes versões:

Em qualquer instante em um circuito:

1. A soma algébrica das correntes que chegam a uma superfície fechada é 0 (zero);
2. A soma algébrica das correntes que saem de uma superfície fechada é 0 (zero);
3. A soma algébrica das correntes que chegam é igual à soma algébrica das correntes que saem de uma superfície fechada” (p. 53).

A relação matemática envolvendo a Lei de Kirchhoff das Correntes é expressa da seguinte forma:

$$\Sigma \Delta I_s = \text{zero}$$

ou

$$\Sigma \text{ das correntes que entram em um nó} = \Sigma \text{ das correntes que saem deste nó}$$

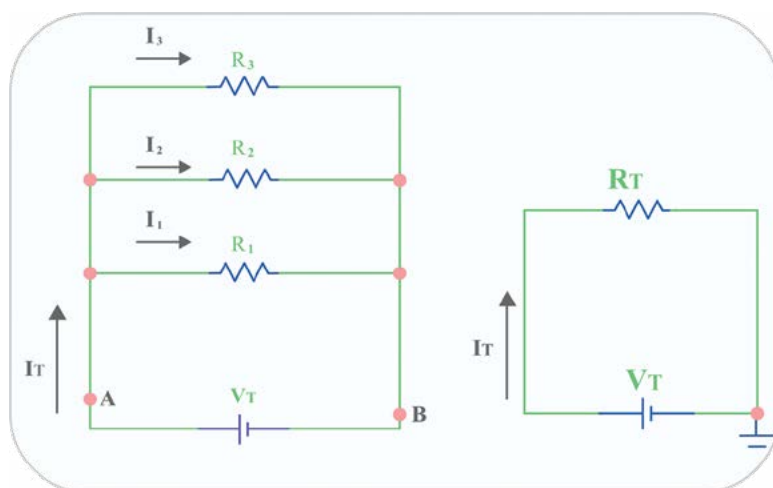
Em que:

- $\Sigma$  – expressão matemática (e/ou estatística) que simboliza “somatória”;
- $\Delta$  – expressão matemática (e/ou estatística) que simboliza “variação”;
- $I_s$  – correntes elétricas, expressas em ampères (A).

No tocante à Lei das Correntes de Kirchhoff (LCK), consideram-se os seguintes pontos:

- um circuito “paralelo” é caracterizado por possuir a mesma tensão em qualquer ponto do circuito e diferentes correntes;
- um “nó” é o ponto de encontro das correntes que fluem em um circuito e pode substituir a expressão “superfície fechada”;
- a soma algébrica equivale aos sinais positivos e negativos da análise;
- a corrente que entra em um nó convencionam-se com o sinal de negativo;
- a corrente que sai em um nó convencionam-se com o sinal de positivo.

#### Representação de um circuito “paralelo”



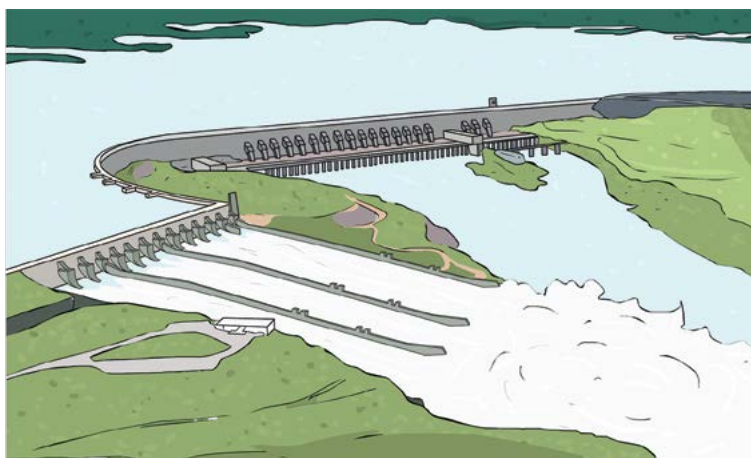
### Circuito do conhecimento

Com base na 1ª Lei de Ohm, é correto afirmar que a tensão é:

- a) inversamente proporcional à corrente.
- b) diretamente proporcional à corrente.
- c) diretamente proporcional ao quadrado da corrente.
- d) inversamente proporcional ao quadrado da corrente.

**Comentário:** a alternativa correta é a letra "d". Como vimos, a tensão e a corrente, de acordo com a 1ª Lei de Ohm, são duas grandezas diretamente proporcionais, ou seja, o aumento ou a diminuição de uma está relacionado ao aumento e à diminuição da outra, daí surge o conceito da resistência elétrica, considerando constante a relação entre a tensão e a corrente.

## 1.2 Sistemas de Corrente Alternada (CA)



A maior parte da energia elétrica produzida no Brasil é de origem hídrica, ou seja, gerada e produzida nas usinas hidrelétricas, haja vista a abundância do potencial hidráulico existente em nosso país. Esta energia elétrica é transportada para os grandes centros de consumo (cidades, estados ou, até mesmo, países) através das linhas de transmissão (LTs), utilizando correntes alternadas (CA – Corrente Alternada ou AC – *Alternating Current*). Outro método de geração usado é a corrente contínua (CC – Corrente Contínua ou DC – *Direct Current*), porém, em pequena escala. Na realidade, a corrente contínua tem grande aplicabilidade na análise de circuitos eletrônicos em geral.

O sinal contínuo caracteriza-se por apresentar sempre a mesma polaridade, podendo ser seu valor constante ou variável, definido graficamente por uma reta. O sinal alternado caracteriza-se por apresentar variação da polaridade e de valor ao longo de todo o tempo, definido graficamente por diferentes formas de ondas: senoidal, quadrada, triangular, dente de serra etc. Vamos dar ênfase à forma de onda alternada senoidal.



O surgimento da corrente alternada teve seu início nos EUA, em 1885, com George Westinghouse Jr., que comprou a patente deste desenvolvimento dos franceses L. Gaulard e J. D. Gibbs, com o intuito de construir transformadores (CA), juntamente com seu colega William Stanley.

Stevenson Jr. (1978) afirma que:

“Um dos motivos da rápida aceitação dos sistemas de corrente alternada foi o transformador, que tornou possível a transmissão da energia elétrica em tensão maior do que a de geração ou de utilização. Com uma tensão mais elevada, uma dada potência pode ser transmitida com menor corrente, resultando em menores perdas  $I^2R$  na linha. Um gerador em CA é um dispositivo mais simples que um gerador em CC, o que constitui outra vantagem dos sistemas de corrente alternada” (p. 3).

Nos EUA, a transmissão de energia elétrica ocorre inteiramente em CA, e, na Europa, onde as LTs são mais longas, ainda existem linhas em CC, sejam instalações aéreas ou subterrâneas. No Brasil, utilizam-se alguns poucos elos em CC (visando interligação ou conexão entre sistemas em corrente alternada), porém, na sua grande maioria, a transmissão de energia elétrica é em CA.

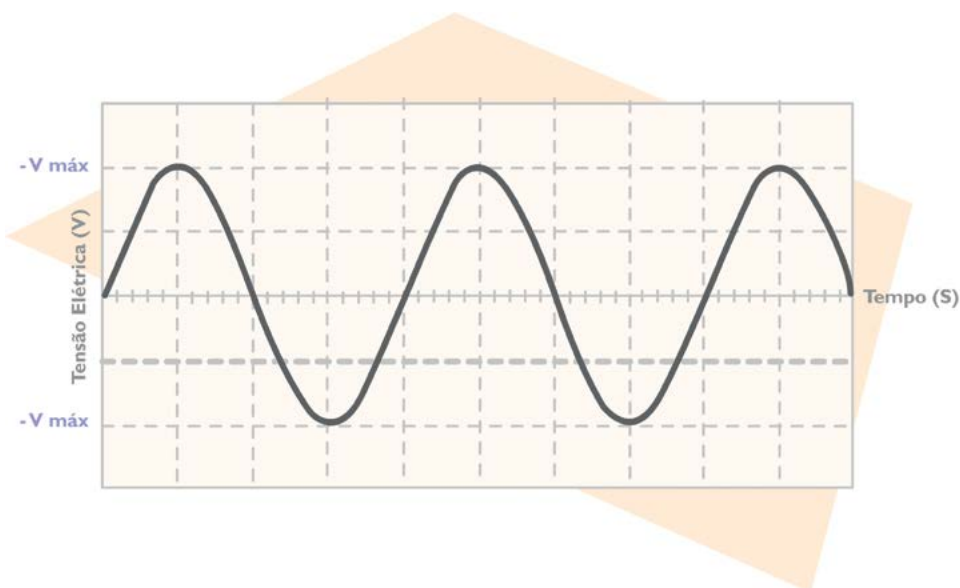


Cabe salientar que as diferenças entre as correntes alternadas (CA) e contínuas (CC) são inúmeras, entre elas: nas formas de ondas, no movimento dos elétrons e na maneira com que elas agem nos circuitos elétricos em geral.

Para o nosso estudo, basta ter uma noção básica dos diferentes padrões de modelos existentes: monofásicos, bifásicos, trifásicos e polifásicos (constituído por duas ou mais tensões iguais, com diferenças de fases fixas). Neste momento, as nossas análises irão envolver apenas os circuitos monofásicos em CA, tendo como referência a forma de onda senoidal para a tensão, corrente, potência e energia elétrica.

#### a) Tensão senoidal

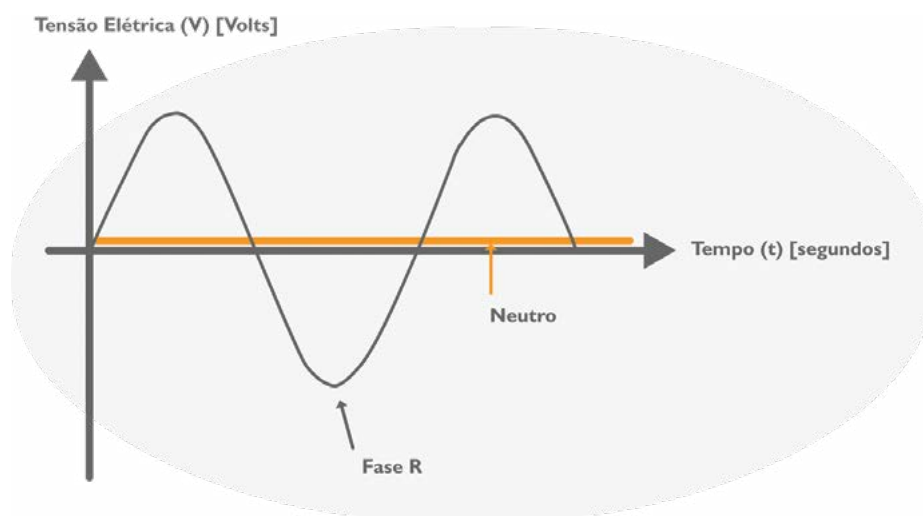
##### Forma de onda de uma tensão senoidal



#### b) Circuito monofásico

Este sistema é constituído de uma fase (R ou A) e um neutro, em que ocorre a diferença de potencial (d.d.p.) entre a origem (zero) e a variação da onda da fase, conforme a figura a seguir.

### Forma de onda de um circuito monofásico

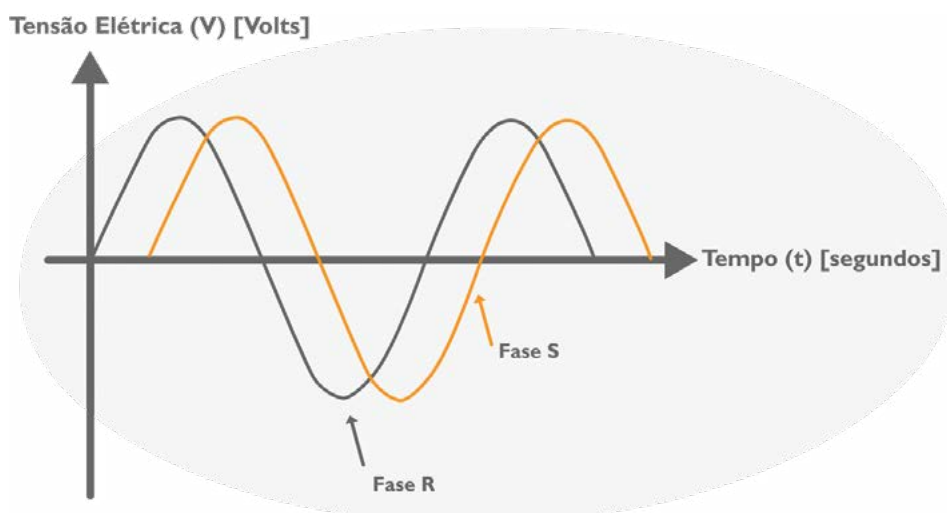


Fonte: Elaborada pelo autor

### c) Circuito bifásico

Este sistema é constituído de duas fases (R, S ou A, B), em que ocorre a diferença de potencial (d.d.p.) entre a variação de uma fase e a variação da onda da outra fase, conforme demonstrado na figura a seguir:

### Forma de onda de um circuito bifásico

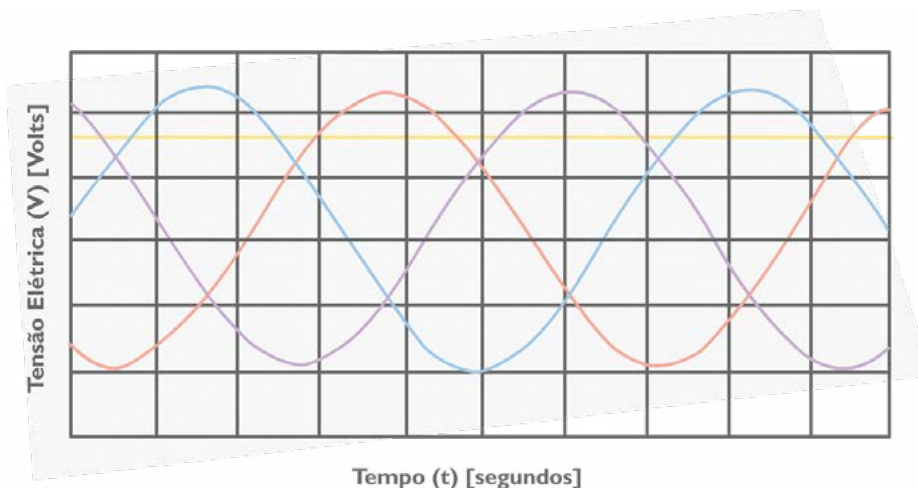


### d) Circuito trifásico

Este sistema é constituído de três fases (R, S, T ou A, B, C), em que ocorre a diferença de potencial (d.d.p.) entre a variação das três fases (R, S, T ou A, B, C), de acordo com a figura a seguir.



### Forma de onda de um circuito trifásico



#### Saiba mais

Você sabe nos informar qual é a tensão elétrica (ou voltagem) de seu estado? Conhece algum outro estado que tenha uma tensão diferente da sua? Você conseguiria explicar as opções de tensão elétrica existentes? Procure uma forma criativa para compartilhar com seus amigos o resultado de seu estudo.



#### Dicas

Consulte links e/ou vídeos e, após assisti-los, faça um comentário em forma de apresentação digital. Além disso, espero que você seja capaz de encontrar uma forma de expressão e manifestar claramente a questão das escolhas de tensão elétrica que passam pelo viés político, econômico e operacional.



Visando contribuir para a sua pesquisa, sugerimos alguns vídeos:

Física – Eletricidade – Instalações 110-220V, do Prof. Luís Carlos, disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=YRYIhRUP6f4>;

O mito dos aparelhos 220V serem mais econômicos que os 110V, disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=k81ru1dQUm4>.

**Viés:** designa qualquer comentário ou análise que seja tendenciosa.



#### Circuito do conhecimento

Uma pessoa mudou-se de Brasília para Belo Horizonte, levando consigo um aquecedor elétrico. A pessoa quer manter a mesma potência elétrica do aquecedor. Sabendo-se que em Brasília a tensão é 220V e, em Belo Horizonte, é 110V, é correto afirmar que ela deve substituir a resistência atual por outra:

- a) oito vezes maior.
- b) oito vezes menor.

c) quatro vezes menor.

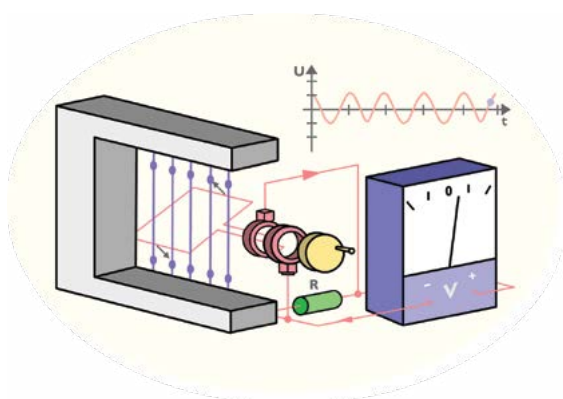
d) quatro vezes maior.

**Comentário:** a alternativa correta é a letra "c". Como estudamos, utilizando a fórmula da potência elétrica em função da tensão e da resistência, tem-se  $P = V^2/R$ , tanto para a localidade de Brasília (220V) quanto para a de Belo Horizonte (110V), e, para se manter a mesma potência, a resistência atual precisa ser 4 vezes menor.

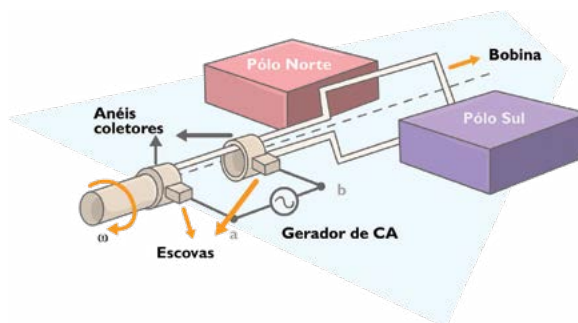
### 1.3 Geração monofásica de uma tensão alternada

As figuras a seguir mostram o princípio de funcionamento de um gerador monofásico em CA. A bobina ou condutor (chamado de enrolamento, na prática) girando no campo magnético sob ação de uma força externa (que pode ser água em movimento, turbina a vapor produzido pela queima de carvão ou mesmo produzido por um reator nuclear, motor diesel ou a gasolina etc.) faz aparecer uma tensão induzida nos terminais da bobina, a qual está ligada a anéis coletores e escovas. Através das escovas é feita a ligação entre o circuito externo e a bobina.

Princípio de funcionamento de um gerador monofásico CA



Princípio de funcionamento de um gerador monofásico CA com escovas e anéis coletores



A força eletromotriz induzida (f.e.m.) obtida nos terminais da bobina ou condutor é dada pela expressão:

$$e = B l v \text{ sen}(\alpha)$$

Em que:

- **e** – valor instantâneo da f.e.m. induzida na bobina ou condutor, expressa em volts (V);
- **B** – indução magnética no campo magnético ou densidade de fluxo magnético ou simplesmente vetor campo magnético, expresso em **tesla** (T);
- **l** – comprimento da parte da bobina ou do condutor inserido no campo magnético, expresso em metros (m);
- **v** – velocidade tangencial da bobina ou do condutor ou simplesmente o valor da velocidade constante que o condutor atravessa o campo magnético, expresso em metros por segundo [m/s];

**Tesla:** é a unidade usada pelo Sistema Internacional de Unidades para densidade de fluxo magnético.

- **sen( $\alpha$ )** – seno do ângulo formado pela direção do movimento do condutor (vetor velocidade) com a direção do campo magnético, expresso em graus ou radianos (ou rad).

Substituindo:  $e$  por  $v$ ;  $B l v$  por  $V_{\text{máx}}$ ;  $e$ ,  $\alpha$  por  $\omega t \pm \theta$ , teremos:

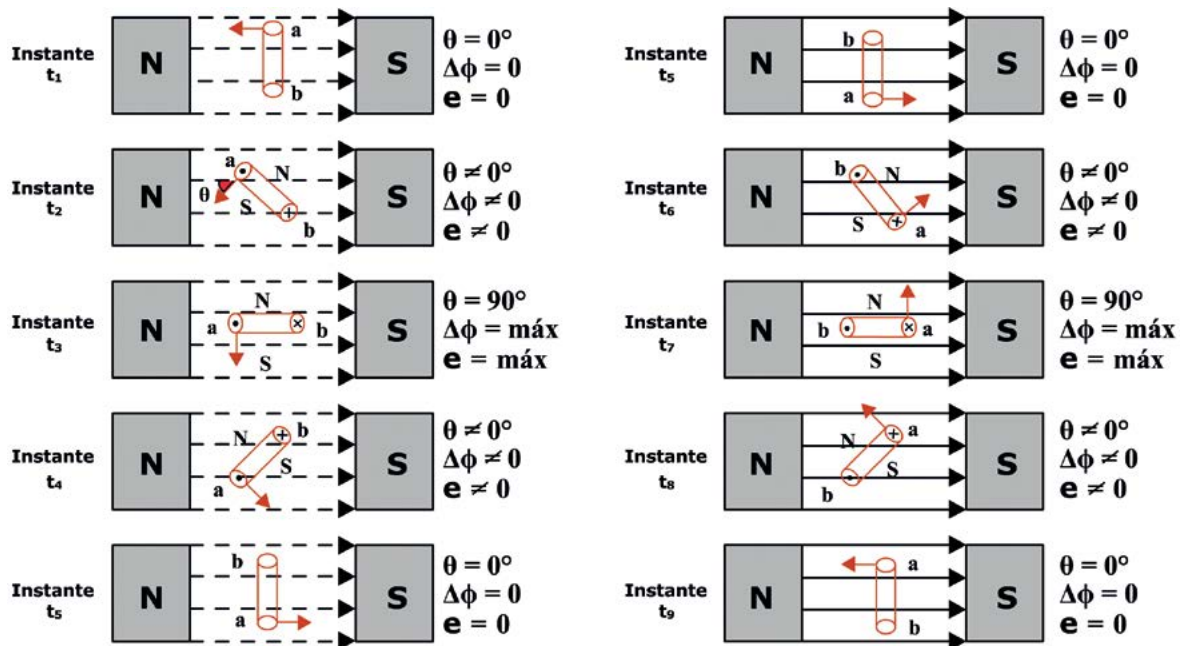
$$v = V_{\text{máx}} \text{sen}(\omega t \pm \theta) \text{ [V]}$$

Em que:

- **$v$**  – tensão induzida num instante (tempo) qualquer, expressa em volts (V);
- **$V_{\text{máx}}$**  – tensão de pico ou tensão máxima ou amplitude, expressa em volts (V);
- **sen** – seno é o indicador de operação matemática trigonométrica para uma função senoidal;
- **$\omega$**  – frequência angular da tensão, também chamada de velocidade angular da bobina ou do condutor, expressa em radianos por segundo (rad/s);
- **$t$**  – tempo ou instante, expresso em segundos (s);
- **$\theta$**  – ângulo de defasagem entre a tensão e a corrente, expresso em graus ( $^\circ$ ) ou radianos (rad).

A equação mostrada anteriormente ilustra que a tensão induzida varia a partir do 0 (zero), ou seja, quando o condutor ou bobina estiver na posição horizontal, quer dizer, paralela à direção das linhas do campo magnético, até o valor máximo ( $V_{\text{máx}}$ ), quando o condutor estiver na posição vertical, isto é, perpendicular à direção das linhas do campo magnético, conforme você verá na próxima imagem.

#### Diferentes posições do condutor no campo magnético de um gerador monofásico CA



#### Saiba mais

É sempre bom lembrar que não geramos corrente elétrica  $e$ , sim, diferença de potencial (d.d.p.), através da geração da força eletromotriz induzida (f.e.m.). Se essa d.d.p., ou simplesmente tensão elétrica, for aplicada em uma carga de um circuito fechado, aí, sim, podemos gerar uma corrente elétrica.

### Dicas

No princípio de funcionamento de um gerador monofásico em corrente alternada, afirmamos que "a bobina ou condutor (enrolamento, na prática) girando no campo magnético, sob ação de uma força externa, faz aparecer uma tensão induzida nos terminais da bobina". Diante dessa exposição, você conseguiria explicar o motivo de surgir nas extremidades da bobina esta diferença de potencial ou tensão induzida? Qual a finalidade dos anéis coletores e escovas de carvão? Sugerimos que você leve em consideração o conceito de carga elétrica, corrente elétrica, condutividade elétrica, ímãs, campo magnético, entre outros. Procure compartilhar esta sua pesquisa com os seus amigos.



### Circuito do conhecimento

"Parte da eletricidade que estuda a interação entre os fenômenos elétricos e os fenômenos magnéticos". A descrição anterior refere-se:

- a) à cinemática.
- b) à eletrostática.
- c) à eletrodinâmica.
- d) ao eletromagnetismo.

**Comentário:** a alternativa correta é a letra "d". Como vimos, o eletromagnetismo está associado a fenômenos magnéticos, como a brincadeira de infância com o ímã, a atração deste com um pedaço de ferro, quando sempre dizemos que "os opostos se atraem", entre tantas outras descobertas feitas no passado e que, hoje, são de grande serventia para o mundo fantástico da eletricidade.



## 1.4 Parâmetros e grandezas senoidais

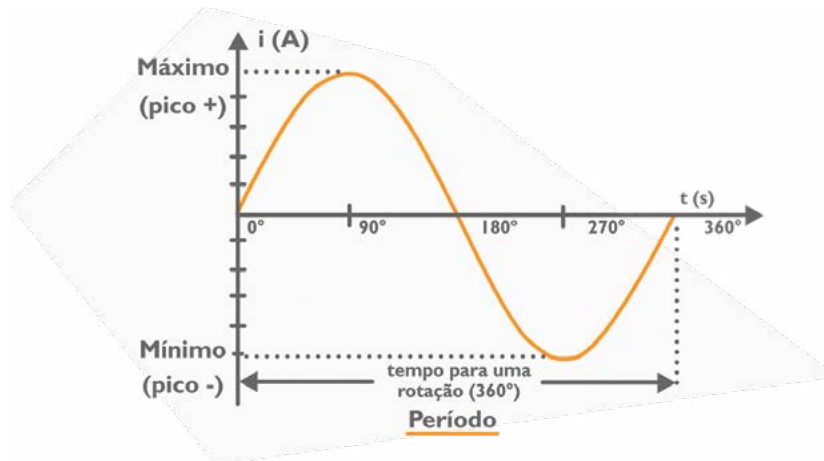
**Onda senoidal (ou cossenoidal):** é uma onda periódica e/ou variável ou um sinal senoidal que pode representar uma tensão elétrica, uma corrente elétrica, uma potência elétrica, uma energia elétrica etc.

A onda cosseno é tão importante quanto uma onda seno, pois ela apresenta o mesmo aspecto, formato e características de uma onda senoidal. A única diferença é na defasagem (relação de fase) de seu ângulo, ou seja, a onda cossenoidal está  $90^\circ$  ou  $\pi/2$  rad adiantada em relação à onda seno; ou a onda seno está  $1/4$  do período atrás da onda cosseno.

$$\text{Exemplo: } v = 20 \text{ sen}(377t + 90^\circ) = 20 \text{ cos}(377t) \text{ V.}$$

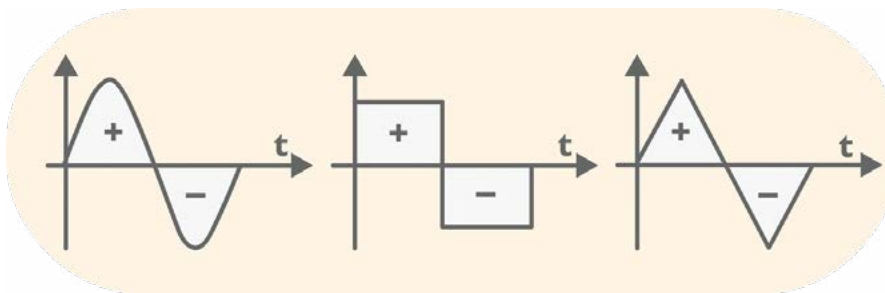
**Forma de onda:** é um gráfico que representa tensão, corrente, potência e energia elétrica, conforme demonstra a figura:

### Forma de onda senoidal alternada e periódica



Além da forma de onda senoidal, existem outros tipos, tais como: onda quadrada, dente de serra, triangular, retangular etc., conforme mostra a figura a seguir:

### Diferentes formas de onda alternadas e periódicas



**Tensão CA (ou Corrente CA):** varia senoidalmente com o tempo. Esta é uma tensão (corrente) periódica, já que ela varia com o tempo de forma a se repetir continuamente. A tensão é expressa em volts (V) e a corrente é expressa em ampères (A).



#### Saiba mais

As formas de onda de tensão acima do eixo do tempo, em uma parte de cada período, são positivas, ou seja, durante esses tempos, as tensões correspondentes possuem as mesmas polaridades da referência de polaridade considerada. As formas de onda de tensão abaixo do eixo do tempo, em uma parte de cada período, são negativas, ou seja, durante esses tempos, as tensões correspondentes possuem polaridades opostas à referência de polaridade considerada.

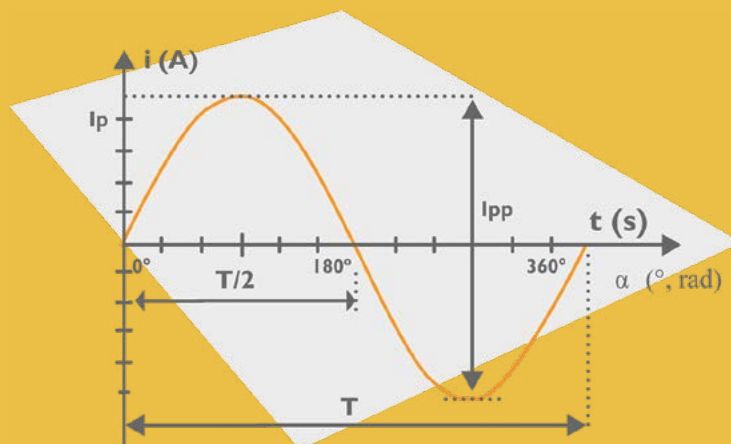
Para os gráficos de corrente, tais correntes circulam na direção de referência, quando as formas de onda estão acima do eixo do tempo, e em direção oposta, quando as formas de onda estão abaixo do eixo do tempo.

**Ciclo:** é a sequência de valores representados pela senoide, em função dos valores produzidos pelo movimento do condutor nos dois sentidos. Em termos gráficos, é a menor parte não repetitiva de uma forma de onda periódica, podendo variar de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  ou de  $0$  rad a  $2\pi$  rad.

### Importante

Qualquer uma das metades da senoide que compõe o ciclo é chamada de alternância, meio ciclo, semiciclo ou, ainda, meia onda. Já um ciclo completo, chamamos de onda completa, conforme mostra a figura:

#### Forma de onda completa de uma senoide



**Período (T):** é o tempo necessário para a onda completar um ciclo, ou seja, é a duração de um ciclo.

A relação matemática que o expressa é:

$$T = 1/f \text{ [segundos](s)}$$

**Frequência (f):** é o número de ciclos produzidos em cada segundo, ou seja, é o número de vezes que a forma de onda se repete em um período.

A relação matemática que a expressa é:

$$f = 1/T \text{ [ciclos/segundos ou hertz](Hz)}$$

### Saiba mais

A maior parte da energia elétrica gerada no Brasil é de 60Hz. Alguns países usam frequências diferentes, que vão desde 25 até 125Hz, sendo que o outro valor de frequência mais padronizado na Europa e América do Sul é de 50Hz. Em aplicações especiais, como aviões e equipamentos militares, a frequência da energia elétrica pode variar de 400 a 1.000Hz.

### Dicas

Você sabe que para cada aplicação de diferentes áreas técnicas, temos uma faixa de frequências específica, que comumente chamamos de "Faixas do Espectro Eletromagnético de Frequências"?

Diante desta informação, pesquise e construa uma tabela com as diferentes faixas de frequências utilizadas na audição humana, nas operadoras de telefonia fixa e móvel, nas emissoras de rádio e de televisão, nas sessões de infravermelho, nos raios X, a que muitas vezes somos submetidos, entre outras aplicações.

**Comprimento de onda ( $\lambda$ ):** é a distância percorrida por uma onda periódica completa que corresponde à razão entre a velocidade da onda da luz ( $3 \times 10^8$  m/s) e sua frequência (Hz).

A relação matemática que expressa este comprimento é:

$$\lambda = v/f \text{ [metros] (m)}$$



### Importante

Representamos o comprimento de onda pela letra grega  $\lambda$ , chamada de lambda.

**Frequência (velocidade) angular ( $\omega$ ):** é a velocidade angular da bobina ou um condutor dentro do campo magnético. Em termos gráficos, é o ângulo formado pela direção do movimento do condutor com a direção do campo, correspondendo a um arco descrito pelo condutor.

As relações matemáticas que expressam essa frequência são:

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

ou

$$\omega = 2\pi/T \text{ (rad/s)}$$



### Saiba mais

Para a frequência industrial da rede do Brasil, que é de 60Hz, teremos uma frequência angular de 377rad/s, ou seja,  $f = 60\text{Hz}$ ,  $\omega = 2\pi f = 377\text{rad/s}$ .

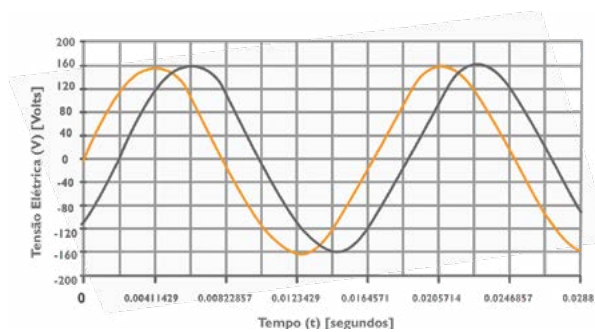
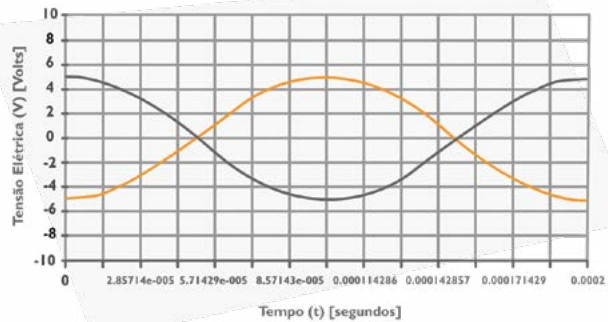
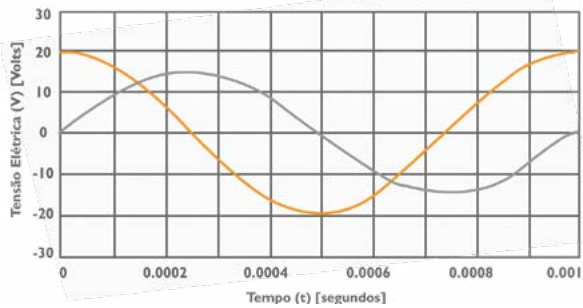


### Importante

Representamos a frequência angular pela letra grega  $\omega$ , chamada de ômega.

**Ângulo de fase ou defasagem ( $\theta$ ):** indica a relação de tempo para tensões e corrente CA, ou seja, indica a diferença de fase entre duas tensões, duas correntes, combinações destas ou, até mesmo, entre dois ou mais sinais senoidais quaisquer, conforme ilustrado nas figuras a seguir. Essa diferença é expressa usualmente em graus ( $^\circ$ ), podendo ser expressa também em radianos (rad).

## Defasagem entre duas tensões



### Importante

Representamos o ângulo de fase ou defasagem pela letra grega  $\theta$ , chamada de thêta.

Veja o exemplo:

Considere as duas senoides representadas por uma tensão alternada  $v(t)$  e por uma corrente alternada  $i(t)$ . Determine a relação de fase entre ambas:

$$v(t) = 120 \text{ sen}(754t + 60^\circ) \text{ V}$$

$$i(t) = 6 \text{ sen}(754t - 30^\circ) \text{ A}$$

$$\theta \text{ Resultante} = [\theta v(t)] - [\theta i(t)]$$

$$\theta \text{ Resultante} = [+60^\circ] - [-30^\circ] = [+90^\circ]$$

Conclusão: a senoide da tensão  $v(t)$  está adiantada  $90^\circ$  em relação à senoide da corrente  $i(t)$ , ou a senoide da corrente  $i(t)$  está atrasada  $90^\circ$  em relação à senoide da tensão  $v(t)$ .

### Saiba mais

Para estabelecer a diferença de fase entre duas senoides, ou seja, encontrar a diferença entre os ângulos de fase destas, é fundamental satisfazer três condições básicas, sendo elas:

a) as duas senoides devem possuir a mesma frequência. Caso isto não aconteça, a relação de fase não é possível;



b) as duas senoides devem ter a mesma forma de onda, ou seja, ambas o seno ou ambas o cosseno. Caso alguma delas seja diferente, basta converter uma delas para a mesma forma de onda. Cabe lembrar que a onda seno está atrasada  $90^\circ$  em relação à onda cosseno, ou a onda cosseno está adiantada  $90^\circ$  em relação à onda seno. Cabe lembrar que, se somarmos  $90^\circ$  ao ângulo de uma onda seno, esta será alterada para uma onda cosseno, ou simplesmente usando a identidade trigonométrica:  $\text{sen}(x + 90^\circ) = \text{cos}(x)$ . Se você quiser fazer o contrário, ou seja, transformar a onda cosseno em onda seno, basta subtrair  $90^\circ$  ao ângulo da onda cosseno, ou usando a identidade trigonométrica:  $\text{cos}(x - 90^\circ) = \text{sen}(x)$ ;

c) as duas senoides devem ter o mesmo sinal de amplitude, ou seja, ambas positivas ou ambas negativas. Caso alguma delas tenha um sinal diferente, basta alterar o sinal, convertendo uma delas para a mesma forma de onda. Cabe lembrar que, se somarmos  $180^\circ$  ao ângulo de uma senoide, alteramos o seu quadrante, ou simplesmente usamos as identidades trigonométricas:  $\text{cos}(x \pm 180^\circ) = -\text{cos}(x)$  ou  $\text{sen}(x \pm 180^\circ) = -\text{sen}(x)$ .

Veja o exemplo:

Considere as duas senoides representadas pelas tensões alternadas e determine a relação de fase entre ambas:

$$v_1(t) = 120 \text{ sen}(377t - 50^\circ) \text{ V}$$

$$v_2(t) = -150 \text{ cos}(377t + 120^\circ) \text{ V}$$

A 1ª condição está satisfeita, ou seja,  $\omega = 377 \text{ rad/s}$  para as duas senoides.

A 2ª condição não está satisfeita, ou seja, a onda de  $v_1(t)$  é senoidal e  $v_2(t)$  é cossenoidal, daí, vamos converter a cossenoide  $v_2(t)$  para a senoide, da seguinte forma:

$$\text{De: } v_2(t) = -150 \text{ cos}(377t + 120^\circ) \text{ V}$$

$$\text{Para: } v_2(t) = -150 \text{ sen}(377t + 120^\circ - 90^\circ) \text{ V}$$

$$\text{Resultando em: } v_2(t) = -150 \text{ sen}(377t + 30^\circ) \text{ V}$$

A 3ª condição também não está satisfeita, ou seja, o sinal da onda de  $v_1(t)$  é positivo e de  $v_2(t)$  é negativo, daí, vamos converter o sinal negativo da amplitude da senoide  $v_2(t)$  para o sinal positivo, da seguinte forma:

$$\text{De: } v_2(t) = -150 \text{ sen}(377t + 30^\circ) \text{ V}$$

$$\text{Para: } v_2(t) = +150 \text{ sen}(377t + 30^\circ + 180^\circ) \text{ V}$$

$$\text{Resultando em: } v_2(t) = +150 \text{ sen}(377t + 210^\circ) \text{ V}$$

Após satisfazer as 3 condições, podemos fazer a defasagem das duas senoides:

$$v_1(t) = 120 \text{ sen}(377t - 50^\circ) \text{ V}$$

$$v_2(t) = 150 \text{ sen}(377t + 210^\circ) \text{ V}$$

$$\theta_{\text{Resultante}} = [\theta v_1(t)] - [\theta v_2(t)]$$

$$\theta_{\text{Resultante}} = [-50^\circ] - [+210^\circ] = [-160^\circ]$$

Conclusão: a senoide  $v_2(t)$  está adiantada  $160^\circ$  em relação à senoide  $v_1(t)$  ou a senoide  $v_1(t)$  está atrasada  $160^\circ$  em relação à senoide  $v_2(t)$ .

**Valor máximo (pico) de uma tensão ou corrente senoidal ( $V_{\text{máx}}$ ):** é o valor máximo que a tensão ou corrente atinge, no sentido positivo ou negativo. Em uma forma de onda, a amplitude é a distância do eixo horizontal ao ponto mais alto da onda acima do eixo, ou ao ponto mais baixo da onda

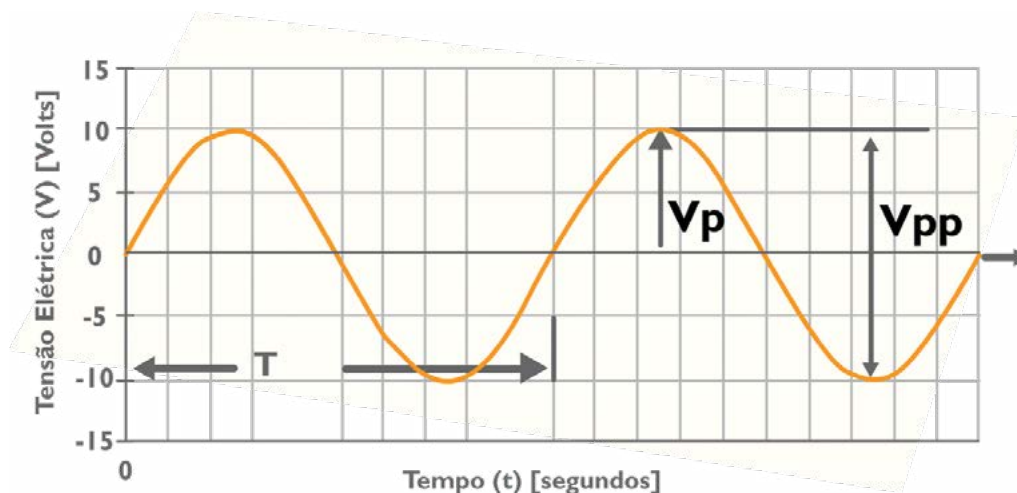
abaixo do eixo. O valor máximo ( $V_{\text{máx}}$ ) é também conhecido como amplitude (A) ou, comumente, valor de pico ( $V_p$ ). A distância entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo da onda chamamos de valor de pico a pico ( $V_{pp}$ ), conforme mostra a figura a seguir.

As relações matemáticas que expressam estes conceitos são:

$$V_{\text{máx}} = VP = A$$

$$V_{pp} = 2 \cdot V_{\text{máx}} \text{ ou } V_{pp} = 2 \cdot V_p$$

**Forma de onda de uma tensão senoidal com indicação do valor de pico e de pico a pico**



**Valor Médio em um semiciclo de uma tensão ou corrente senoidal ( $V_{\text{méd}}$ ):** o valor médio de uma tensão ou corrente senoidal é a média aritmética de todos os valores instantâneos durante meio ciclo (semiciclo ou alternância). Durante meio ciclo, a tensão ou corrente varia de 0 (zero) até o valor de pico e retorna a 0 (zero) novamente; portanto, o valor médio deve estar situado entre 0 (zero) e o valor de pico. Para uma onda senoidal pura, que é a forma de onda mais comum em circuitos CA, o valor médio em um semiciclo é 0,637 vezes o valor de pico.

As relações matemáticas que expressam estes conceitos são:

$$V_{\text{méd}} = 0,637 \cdot V_{\text{máx}} \text{ ou } I_{\text{méd}} = 0,637 \cdot I_{\text{máx}}$$

ou

$$V_{\text{méd}} = 63,7\% \text{ de } V_{\text{máx}} \text{ ou } I_{\text{méd}} = 63,7\% \text{ de } I_{\text{máx}}$$

### Importante

Se uma tensão máxima ou de pico apresentar 100V, a tensão média de um semiciclo será 63,7V.

O valor médio de uma senoide para um ciclo completo é 0 (zero), porque, em um período, as áreas negativa e positiva se cancelam na soma.

De acordo com Cavalcanti (2012), existe outra forma de se calcular o valor médio de uma onda senoidal, que é realizada da seguinte forma:

“O valor médio (em um semiciclo) pode ser determinado também dividindo-se a superfície limitada por uma alternância (ou semiciclo), pelo comprimento da alternância considerado no eixo dos tempos. Demonstra-se matematicamente

que a área em questão é igual ao dobro do valor máximo da senoide. Como o comprimento a que nos referimos é igual a  $\pi$  radianos, podemos escrever que  $E_m = 2 E_{m\text{máx}}/\pi$ , em que:  $E_m$  é o valor médio da tensão e  $I_m = 2 I_{m\text{máx}}/\pi$ ,  $I_m$  é o valor médio da corrente" (p. 85).



## Circuito do conhecimento

Supondo uma frequência angular  $\omega = 377\text{rad/s}$  para um circuito monofásico em corrente alternada, ache a frequência ( $f$ ), em Hz, e o período ( $T$ ), em ms, da onda senoidal:

- a)  $f = 377\text{Hz}$  e  $T = 2,65\text{ms}$ .
- b)  $f = 120\text{Hz}$  e  $T = 8,33\text{ms}$ .
- c)  $f = 60\text{Hz}$  e  $T = 16,67\text{ms}$ .
- d)  $f = 754\text{Hz}$  e  $T = 1,32\text{ms}$ .

**Comentário:** a alternativa correta é a letra "c". Como vimos, devemos usar para o cálculo da frequência  $\omega = 2\pi f$  rad/s ou  $f = 2\pi/\omega$  Hz e para o do período  $\omega = 2\pi/T$  rad/s ou  $T = \omega/2\pi$  ms.

**Valor eficaz ou valor rms de uma tensão ou corrente alternada ( $V_{\text{ef}}$ ):** o valor eficaz de uma tensão ou corrente senoidal é o valor que elas deveriam ter, se fossem constantes (como em corrente contínua), ou seja, é um valor que provoca a produção da mesma quantidade de calor (dissipação), num circuito contendo apenas resistências, em CC de igual valor. Portanto, uma corrente alternada com valor eficaz igual a 1A produz o mesmo calor num resistor  $R = 10\Omega$  que uma corrente contínua de 1A. Para uma onda senoidal pura, o valor eficaz é 0,707 vezes o valor de pico, ou seja,  $V_{\text{ef}} = 0,707 V_{\text{máx}}$  ou  $V_{\text{ef}} = V_{\text{máx}}/\sqrt{2}$ , conforme mostrado na figura a seguir.

As relações matemáticas que expressam estes conceitos são:

$$V_{\text{ef}} = 0,707 \cdot V_{\text{máx}} \text{ ou } I_{\text{ef}} = 0,707 \cdot I_{\text{máx}}$$

ou

$$V_{\text{ef}} = 70,7\% \text{ de } V_{\text{máx}} \text{ ou } I_{\text{ef}} = 70,7\% \text{ de } I_{\text{máx}}$$

ou

$$V_{\text{ef}} = V_{\text{máx}}/\sqrt{2} \text{ ou } I_{\text{ef}} = I_{\text{máx}}/\sqrt{2}$$



### Saiba mais

O valor eficaz é conhecido, também, como valor rms (*root-mean-square*), que é a raiz quadrada do valor médio dos quadrados de todos os valores instantâneos da tensão ou corrente durante um ciclo.

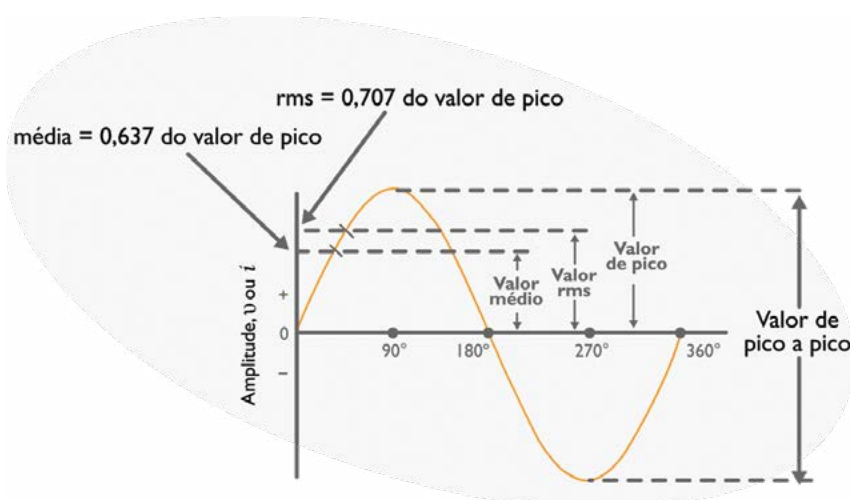
**Root-mean-square:** em matemática, a raiz do valor quadrático médio ou rms (do inglês *root mean square*) ou valor eficaz é uma medida estatística da magnitude de uma quantidade variável. Pode-se calcular para uma série de valores discretos ou para uma função variável contínua.

### Importante

Os voltímetros (instrumentos que medem a tensão elétrica) e os amperímetros (instrumentos que medem a corrente elétrica) usualmente leem valores eficazes ou rms, ou seja, se não for feita nenhuma referência contrária, todos os valores que calcularmos ou definirmos para as tensões e correntes serão sempre valores eficazes.

O termo em inglês *root mean square* significa valor quadrático médio, no qual devemos elevar ao quadrado (*square*) a tensão ou corrente periódica, encontrar a média (*mean*) dessa onda quadrática em um período e, por fim, encontrar a raiz (*root*) quadrada dessa área.

**Forma de onda de uma tensão ou corrente, com indicação do valor médio (em um semiciclo), do valor eficaz (ou rms), do valor de pico e do valor de pico a pico**



### Dicas

Visando aprofundar um pouco mais sobre este tópico, sugiro que faça pesquisas em artigos e *links* de vídeos da seguinte forma: "parâmetros de sinais senoidais".

Para contribuir com a sua pesquisa, sugerimos alguns vídeos:

- Física – Amplitude, período, frequência e comprimento de onda, disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=gkJ1BrA7tHo>;
- Circuitos elétricos – Corrente alternada, disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=-gltDBG-0k8>;
- Corrente alternada, disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=RSc3IXOkdRk>;
- 1ª e 2ª Leis de Kirchhoff, disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=eb0wsTjyoME>;
- Sinal de corrente alternada no osciloscópio analógico, disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=wOm-xaC-Lzo>;
- Tensão alternada, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=MJmj7YrTcRQ>.

## Resumindo

Nesta lição, revisamos alguns princípios e fundamentos de grande aplicabilidade na Eletricidade, bem como o processo de geração da tensão e da corrente alternada. Para melhor compreensão, utilizamos o princípio de funcionamento de um gerador monofásico em CA e, a partir daí, descobrimos uma série de parâmetros e grandezas que servirão como base para a análise dos circuitos elétricos em geral.

Além dos valores instantâneos e máximos das tensões e correntes alternadas, estudamos os valores eficazes, chamados de valores *rms*, que são expressos da seguinte forma:  $V_{ef} = 0,707 \cdot V_{máx}$  ou  $I_{ef} = 0,707 \cdot I_{máx}$  ou  $V_{ef} = 70,7\% \text{ de } V_{máx}$  ou  $I_{ef} = 70,7\% \text{ de } I_{máx}$  ou  $V_{ef} = V_{máx} / \sqrt{2}$  ou  $I_{ef} = I_{máx} / \sqrt{2}$ . Além disso, aprendemos que o valor médio de uma onda senoidal em um ciclo é igual a 0 (zero), pois a parte positiva se anula com a parte negativa e o valor médio de uma onda senoidal de tensão e de corrente em um semiciclo ou alternância positiva é  $0,636 V_{máx}$  e  $0,636 I_{máx}$ , respectivamente.

Veja se você se sente apto a:

- relacionar os principais parâmetros das grandezas alternadas e suas unidades, que serão usados ao longo de todo o curso;
- calcular corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA) através das representações gráficas;
- medir as grandezas senoidais da frequência, do período, da velocidade angular, da amplitude, dos valores instantâneos, dos valores médios e dos valores eficazes.

Finalizamos a nossa primeira lição, que tratou sobre as principais leis da eletricidade e os conceitos e definições dos principais parâmetros das grandezas alternadas e suas unidades, a partir do processo da geração da corrente alternada. Esperamos que você tenha gostado! Nos encontramos na próxima lição!



## Exercícios

**Questão 1** – Aplicando os conceitos de período e frequência, calcule o período e a frequência de uma tensão elétrica periódica que apresenta 32 ciclos num tempo de 120ms, respectivamente:

- a)  $T = 3,75s$  e  $f = 0,267Hz$ .
- b)  $T = 2,67 \times 10^{-3}s$  e  $f = 375Hz$ .
- c)  $T = 3,75 \times 10^{-3}s$  e  $f = 266,67Hz$ .
- d)  $T = 2,67 \times 10^{-6}s$  e  $f = 375 \times 10^{-3}Hz$ .

**Questão 2** – Você sabe que na construção de um gráfico para representar a grandeza de uma onda periódica, seja tensão, corrente, potência ou energia elétrica, utiliza-se o eixo vertical? E que o eixo horizontal é utilizado para representar os valores de tempo e/ou ângulos ou arcos descritos pela bobina ou condutor inserido no campo magnético?

Diante do exposto, é correto afirmar que os resultados da conversão de  $75^\circ$  e  $5\pi/3rad$ , de graus para radianos e vice-versa, serão, respectivamente, iguais a:

- a)  $75^\circ = 0,2618rad$  ou  $\pi/12rad$  e  $5\pi/3rad = 10^\circ$ .
- b)  $75^\circ = 1,3090rad$  ou  $5\pi/12rad$  e  $5\pi/3rad = 300^\circ$ .
- c)  $75^\circ = 0,7854rad$  ou  $\pi/4rad$  e  $5\pi/3rad = 2,5^\circ$ .
- d)  $75^\circ = 2,0944rad$  ou  $6\pi/9rad$  e  $5\pi/3rad = 458,3662^\circ$ .

**Questão 3** – Analisando a expressão matemática da onda da tensão senoidal  $v = 311,13 \text{ Sen}(377t + 60^\circ) \text{ V}$ , ache os seguintes parâmetros: a tensão máxima ou de pico; a velocidade ou frequência angular; o ângulo de fase; a tensão eficaz ou *rms*; a tensão média em um semiciclo; a amplitude da onda; a frequência em Hz; e, o período, respectivamente:

- a)  $V_{\text{máx}} = 622,26V$ ;  $\omega = 754rad/s$ ;  $\theta = 120^\circ$ ;  $V_{\text{ef}} = 440V$ ;  $V_{\text{méd}} = 395,74V$ ;  $A = +/-V_{\text{máx}} = +/-622,26V$ ;  $f = 120Hz$ ; e,  $T = 33,4ms$ .
- b)  $V_{\text{máx}} = 220V$ ;  $\omega = 377rad/s$ ;  $\theta = 377^\circ$ ;  $V_{\text{ef}} = 220V$ ;  $V_{\text{méd}} = 197,87V$ ;  $A = +/-V_{\text{máx}} = +/-311,13V$ ;  $f = 60Hz$ ; e,  $T = 19,8ms$ .
- c)  $V_{\text{máx}} = 422,26V$ ;  $\omega = 668rad/s$ ;  $\theta = 150^\circ$ ;  $V_{\text{ef}} = 660V$ ;  $V_{\text{méd}} = 395,74V$ ;  $A = +/-V_{\text{máx}} = +/-622,26V$ ;  $f = 120Hz$ ; e,  $T = 21,8ms$ .
- d)  $V_{\text{máx}} = 311,13V$ ;  $\omega = 377rad/s$ ;  $\theta = 60^\circ$ ;  $V_{\text{ef}} = 220V$ ;  $V_{\text{méd}} = 197,87V$ ;  $A = +/-V_{\text{máx}} = +/-311,13V$ ;  $f = 60Hz$ ; e,  $T = 16,7ms$ .

**Questão 4** – Considere as duas senoides representadas por uma tensão alternada  $v(t)$  e por uma corrente alternada  $i(t)$ . Determine a relação de fase (defasagem) entre ambas:  $v(t) = 129,2 \text{ Sen}(800t + 80^\circ)V$  e  $i(t) = 12,6 \text{ Sen}(800t - 70^\circ)A$ . Sobre esta relação, é correto afirmar que:

- a) o ângulo  $v(t)$  está adiantado  $150^\circ$  do ângulo  $i(t)$ .
- b) o ângulo  $v(t)$  está adiantado  $10^\circ$  do ângulo  $i(t)$ .



Parabéns, você finalizou esta lição!

Agora responda às questões ao lado.

c) o ângulo  $v(t)$  está atrasado  $150^\circ$  do ângulo  $i(t)$ .

d) o ângulo  $v(t)$  está atrasado  $10^\circ$  do ângulo  $i(t)$ .

**Questão 5** – Com base na expressão da tensão elétrica  $v(t) = 80 \text{ Sen } 300\pi t \text{ V}$  em  $t = 2 \text{ ms}$ , é correto afirmar que:

Obs.: Pode usar a calculadora no modo radiano (RAD ou R).

a)  $v(t) = 96,08 \text{ V}$ .

b)  $v(t) = 86,08 \text{ V}$ .

c)  $v(t) = 76,08 \text{ V}$ .

d)  $v(t) = 66,08 \text{ V}$ .

**Questão 6** – Uma corrente senoidal possui um pico de  $60 \text{ mA}$  e uma frequência angular ( $\omega$ ) de  $95 \text{ rad/s}$ . Com base nos dados apresentados, é correto afirmar que a corrente instantânea em  $t = 26 \text{ ms}$  será igual a?

OBS.: Use a calculadora no modo radiano (RAD ou R).

a)  $i(t) = 25,8 \text{ mA}$ .

b)  $i(t) = 37,3 \text{ mA}$ .

c)  $i(t) = 46,7 \text{ mA}$ .

d)  $i(t) = 52,4 \text{ mA}$ .

**Questão 7** – Com relação ao processo de geração da corrente alternada monofásica, analise as seguintes afirmativas.

I. A corrente alternada (CA) cresce instantaneamente até um valor máximo e permanece com esse valor até que o circuito seja aberto.

II. Quando a bobina de um gerador CA gira, uma tensão é produzida nas extremidades da bobina. Esta tensão é transferida para um circuito externo através de anéis coletores e das escovas.

III. Como uma onda senoidal corresponde a uma volta completa da armadura do gerador, existe  $180^\circ$  nessa onda senoidal.

IV. Os pontos de valores máximos estão em  $0^\circ$ ,  $180^\circ$  e  $360^\circ$ . Esses pontos são aqueles onde a armadura corta as linhas de força e, portanto, a tensão é máxima.

V. A amplitude ou valor de pico é o máximo valor positivo ou negativo de uma tensão ou corrente CA.

É correto dizer que:

a) apenas a afirmativa V está correta.

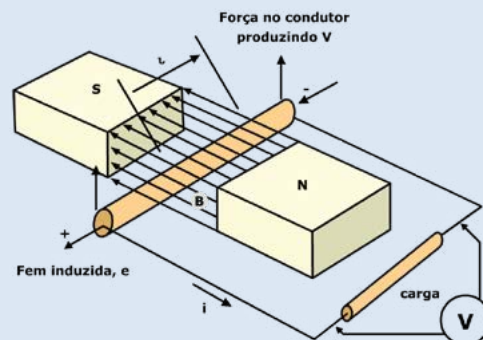
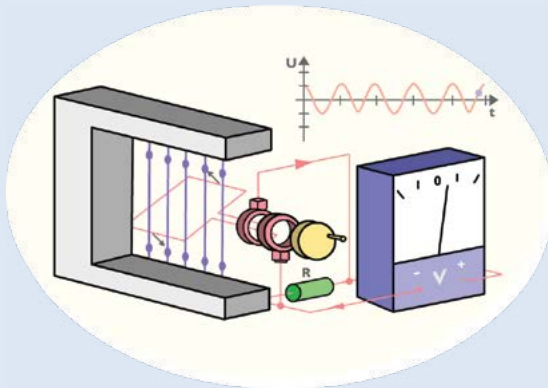
b) as afirmativas I, III e IV estão corretas.

c) as afirmativas II, III e V estão corretas.

d) as afirmativas II e V estão corretas.

**Questão 8** – Considere as figuras a seguir, que representam o básico de um gerador CA com um alternador para a geração de uma tensão senoidal  $v(t) = V_{\text{máx}} \text{Sen } \omega t$  V, com um condutor (que, na prática, é uma bobina) girado no campo magnético por uma turbina ou qualquer outra fonte de energia mecânica.

Imagine esse condutor no alternador rodando a uma frequência de 60Hz, e uma tensão induzida cujo pico é de 40V. Com base nessa situação, é correto afirmar que a tensão induzida de 18ms após o condutor passar por uma posição horizontal, caso a tensão nele esteja aumentando, será igual a:



OBS.: Use a calculadora no modo Radiano (RAD ou R).

- a)  $v(t) = 4,73\text{V}$ .
- b)  $v(t) = 19,28\text{V}$ .
- c)  $v(t) = 24,01\text{V}$ .
- d)  $v(t) = 38,56\text{V}$ .

**Questão 9** – Com base no que estudamos, analise as seguintes afirmativas.

I. Um circuito “série” é caracterizado por possuir a mesma tensão em qualquer ponto do circuito e diferentes correntes.

II. O período é o número de ciclos produzidos em cada segundo, ou seja, é o número de vezes que a forma de onda se repete em um período.

III. Ângulo de fase ou defasagem ( $\theta$ ) indica a soma de fase entre duas tensões, correntes ou combinações destas.

IV. Em um gerador CA com um alternador para a geração da tensão senoidal, a tensão induzida varia a partir do 0 (zero), ou seja, quando o condutor ou bobina estiver na posição horizontal, ou seja, paralela à direção das linhas do campo magnético, até o valor máximo ( $V_{\text{máx}}$ ), quando o condutor estiver na posição vertical, ou seja, perpendicular à direção das linhas do campo magnético.

V. Um circuito “paralelo” é caracterizado por possuir a mesma tensão em qualquer ponto do circuito e diferentes correntes.

VI. Sobre o processo de surgimento da corrente elétrica em um gerador CA, cabe salientar que não geramos corrente elétrica e, sim, diferença de potencial (d.d.p.), através da geração da força eletromotriz induzida (f.e.m.); com essa d.d.p., ou simplesmente tensão elétrica, aplicada em uma carga de um circuito fechado, aí, sim, geramos uma corrente elétrica.



É correto dizer que:

- a) as afirmativas I, II e III estão corretas.
- b) as afirmativas I, IV e VI estão corretas..
- c) as afirmativas IV, V e VI estão corretas.
- d) as afirmativas II, III e V estão corretas.

**Questão 10** – Sabemos que os voltímetros (instrumentos que medem a tensão elétrica) e os amperímetros (instrumentos que medem a corrente elétrica) usualmente leem valores eficazes ou *rms*, ou seja, se não for feita nenhuma referência contrária, todos os valores que calcularmos ou definirmos para as tensões e correntes serão sempre valores eficazes. Diante disso, usualmente como devemos inserir um voltímetro e um amperímetro em um circuito elétrico?

- a) Ambos em série no circuito.
- b) Ambos em paralelo no circuito.
- c) O voltímetro deve ser colocado em paralelo e o amperímetro em série com o circuito.
- d) O amperímetro deve ser colocado em paralelo e o voltímetro em série com o circuito.