

Conceitos de Eletricidade

Aula 12 - Tensões e Correntes Alternadas

Apresentação

Nesta aula, veremos como podem ser geradas tensões e correntes alternadas, como essas tensões e correntes se apresentam no nosso cotidiano e, particularmente para sinais de tensões e correntes senoidais, que parâmetros são importantes que conheçamos.

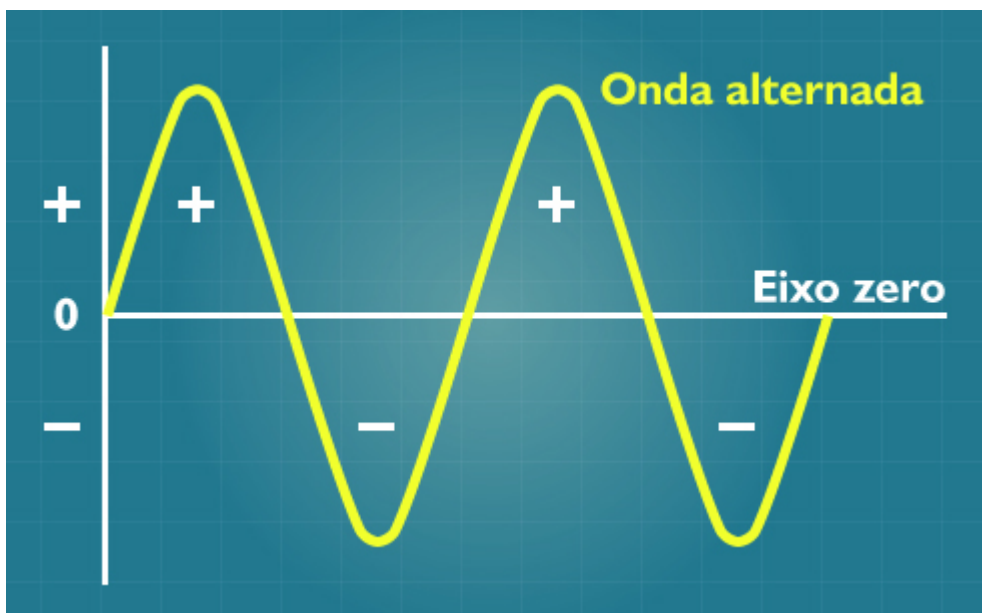
Objetivos

- Definir tensão e corrente alternada.
- Entender como elas são geradas.
- Aprender suas principais características.
- Saber que tipos de cargas podem ser utilizadas num sistema de corrente alternada e como elas influem no comportamento da tensão e da corrente do circuito.

Geração de tensão alternada

Em aulas anteriores foram dadas algumas informações, poucas ainda, diga-se de passagem, mas entendo que são suficientes para termos a noção básica de como são geradas e distribuídas as tensões e correntes alternadas que chegam até nossas casas, comércios e indústrias. Agora chegou o momento de nos aprofundarmos um pouco nas particularidades do modo de tensão e corrente alternadas. Você sabe o que é tensão alternada não é mesmo? Uma tensão é dita alternada quando seu valor varia à medida que sua polaridade inverte no decorrer do tempo. Observe atentamente a **Figura 1**. E então, o que você percebe?

Figura 01 - Forma de onda de tensão alternada.



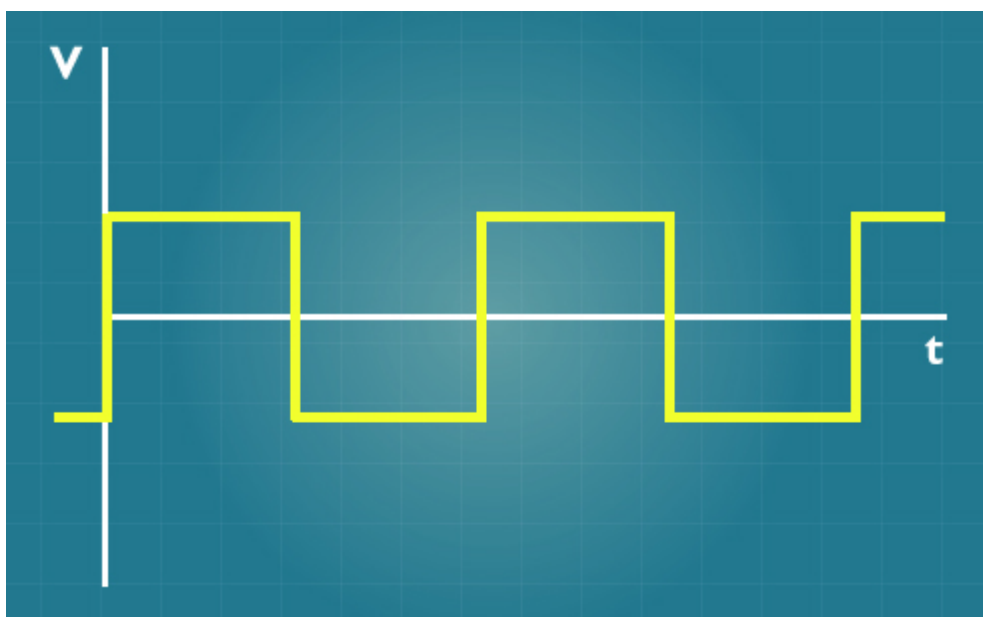
Fonte: Autoria Própria (2004).

Observe que temos uma linha horizontal (eixo zero) que representa o valor de tensão zero, e que as tensões acima ou abaixo desse eixo têm polaridade positiva e negativa, respectivamente.

Sendo assim, você seria capaz de citar uma fonte de tensão alternada? Na tomada da nossa casa, por exemplo, podemos encontrar tais tensões. Nela, no Nordeste brasileiro, encontramos tensões alternadas com valor de 220 V entre fase e neutro. Aliás, fase e neutro, o que vem a ser isso? Veremos ainda nesta aula.

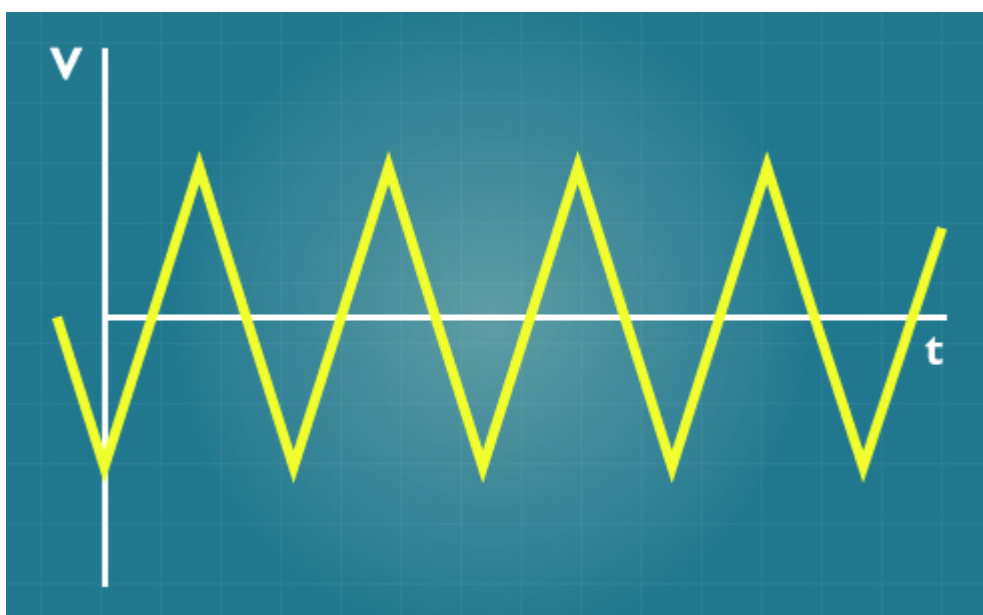
Será que toda tensão alternada tem a forma mostrada acima? Obviamente não. O conceito de tensão alternada é mais abrangente e pode ser universalizado como toda tensão que inverte, periodicamente, sua polaridade. Nas Figuras 2a e 2b temos, por exemplo, duas formas de ondas que caracterizam tensões alternadas, uma quadrada e outra triangular, no entanto, a de nosso maior interesse é a da forma apresentada na Figura 1. Por que será? Daqui a pouco lhe daremos a resposta!

Figura 02a - Tensão alternada em forma de onda quadrada.



Fonte: Autoria Própria (2004).

Figura 02b - Tensão alternada em forma de onda triangular.



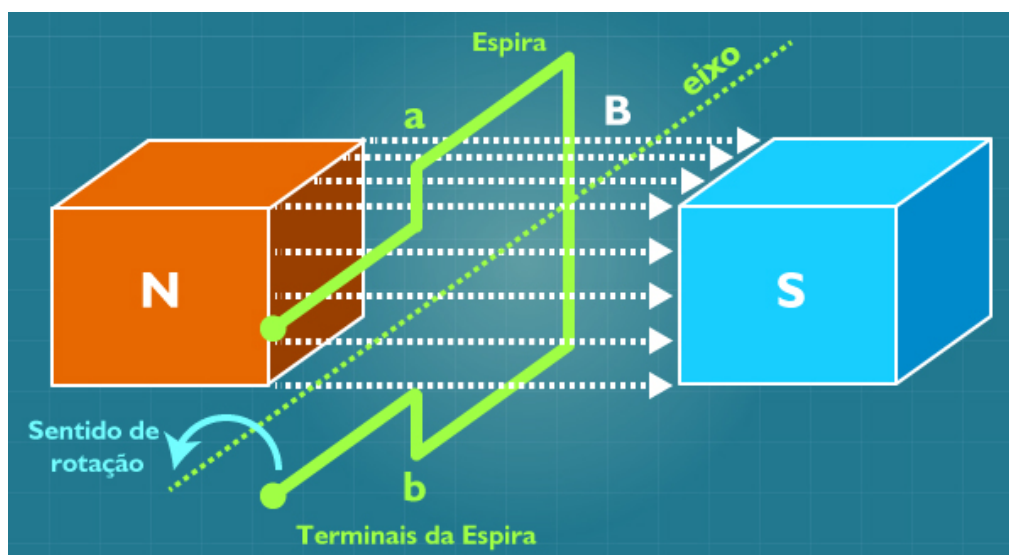
Fonte: Autoria Própria (2004).

Atividade 01

1. Pesquise e relacione algumas vantagens da corrente/tensão alternada.

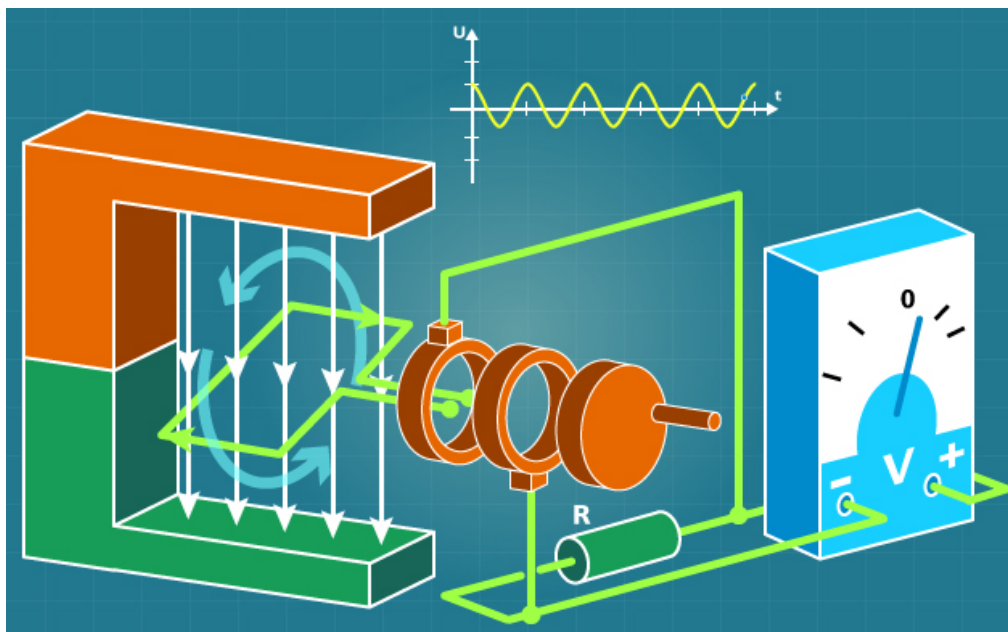
A tensão alternada pode ser produzida por meio de um equipamento gerador chamado alternador. Nele, espiras condutoras giram continuamente, sobre um eixo, de ângulos que variam de 0° a 360° , sob a influência de um campo magnético exercido por dois ou mais polos. Um gerador elementar, com uma única espira e dois polos magnéticos, é mostrado nas Figuras 3a e 3b. À medida que a espira se movimenta, ela induz em seus terminais uma corrente alternada, gerando assim uma tensão alternada senoidal, como pode ser visualizada na Figura 3b.

Figura 03a - Gerador de corrente alternada elementar: espira girando num campo magnético.



Fonte: http://www.larapedia.com/resumos/corrente_alternada.jpg Acesso em: 23 jul. 2014.

Figura 03b - Representação da tensão senoidal resultante a partir de um gerador elementar.



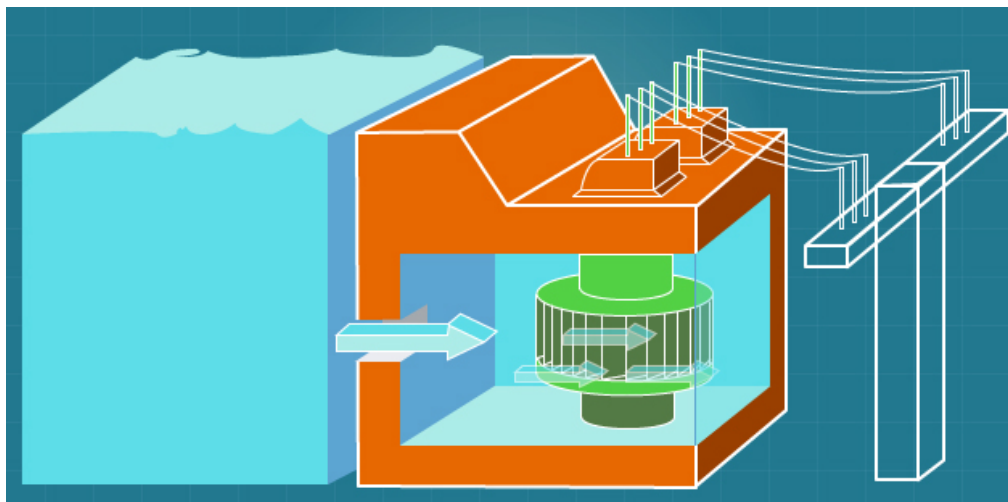
Fonte: <<http://img694.imageshack.us/img694/4561/diapositivo18kigk.gif>> Acesso em: 23 jul. 2014.

A cada volta completa de espira condutora temos o chamado ciclo, no qual a tensão varia de zero até um valor máximo positivo e um valor máximo negativo (ou mínimo se assim o preferir). É exatamente dessa maneira que é produzida a eletricidade nas usinas. No Brasil, grande parte da energia elétrica utilizada é proveniente de geradores das usinas hidroelétricas (lembrem-se da aula de **Teoria geral sobre as fontes de tensão e corrente?** Não? Volte e dê uma revisada). Nessas usinas hidroelétricas, as barragens são responsáveis pelo desnível da água capaz de movimentar grandes pás ligadas ao eixo do gerador de eletricidade. A Figura 4 mostra, de modo criativo, como a água impulsiona as turbinas para geração da corrente alternada pelos alternadores, e a partir daí ser transportada da usina hidroelétrica até as nossas cidades e casas.

Você tem noção de como essa energia é transportada e em que níveis de tensão ocorre o transporte citado? Pois bem, para transporte, por meio das chamadas linhas de transmissão, a tensão gerada é elevada a níveis que chegam, por exemplo, a 750 kV. Assim, quando a energia chega a alguma cidade ou centro de consumo, essa tensão é reduzida para valores bem menores de tensão (13.800V, por exemplo) para ser distribuída aos consumidores, por meio das chamadas linhas de distribuição. Logo, quando chega próximo ao consumidor final (nossas casas, comércio e indústrias) essa tensão é novamente reduzida, agora para valores

aceitáveis pelos equipamentos elétricos que a utilizarão. Esse valor final pode ser, por exemplo, de 220 V entre fase neutro ou de 380 V entre fases. Voltaremos a falar sobre tensões entre fase e neutro e sobre tensões entre fases ainda nesta aula.

Figura 04 - Usina hidroelétrica.



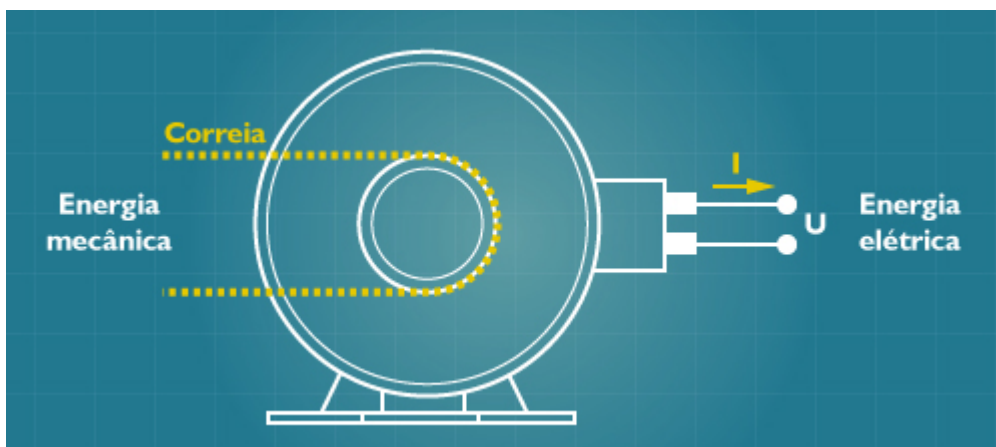
Fonte: GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA (GREF) (1998, p. 78).

Voltando à geração de tensão e corrente induzidas por um alternador, se observar atentamente as figuras 5a e 5b e associar seu interior, contendo várias espiras, com o esquema apresentado para um gerador elementar, você pode entender melhor como se dá esse processo de geração. A tensão elétrica U fornecida na saída do gerador ou, como também se denomina, a força eletromotriz induzida produzida, **fem**, será proporcional, ao número de espiras da bobina usada no gerador, multiplicada pela variação temporal do fluxo magnético ($\frac{\Delta\delta}{\Delta t}$) que atravessa a superfície limitada pela bobina. Sendo o sentido da fem ou da tensão induzida produzida dependente do sentido da variação do campo, mas sempre, em oposição à variação do fluxo. Ou seja,

$$fem = -N \frac{\Delta\delta}{\Delta t}$$

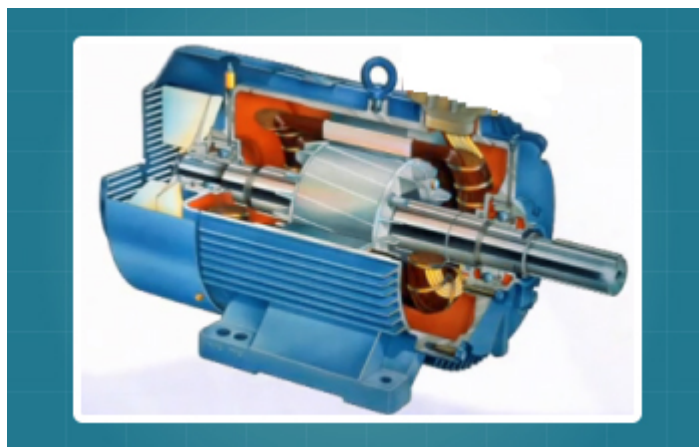
Dessa forma, temos a inversão da tensão ou da corrente, a cada meio ciclo da onda, como representado nas Figuras 6a (forma de onda da tensão gerada) e 6b (forma de onda da corrente gerada). A fórmula, acima descrita, obedece ao que conhecemos como Lei de Faraday.

Figura 05a - Representação de um gerador de tensão e corrente elétrica a partir da ação da força mecânica exercida pelo acionamento da correia.



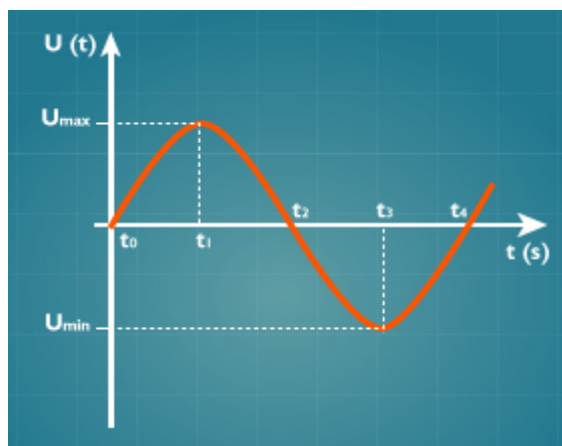
Fonte: Autoria Própria (2014).

Figura 05b - Representação em corte de um gerador de tensão.



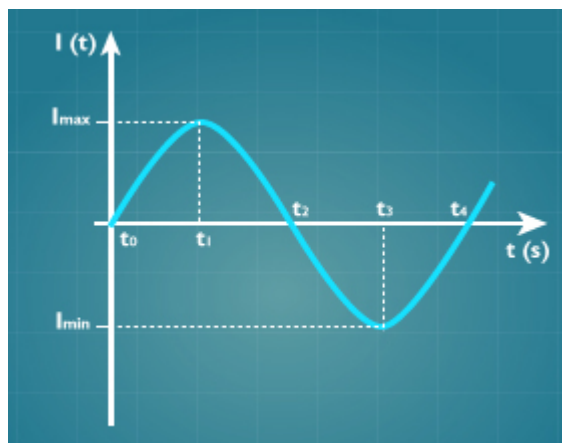
Fonte: <http://www.alterima.com.br/wa_upload/images/gerador_azul.png> Acesso em: 23 jul. 2014.

Figura 06a - Forma de onda de tensão alternada senoidal.



Fonte: Aatoria Própria (2014).

Figura 06b - Forma de onda de corrente alternada senoidal.



Fonte: Aatoria Própria (2014).

Após o instante inicial t_0 ($U = 0$ para a forma de onda representada na Figura 6a e $I = 0$ para a forma de onda representada na Figura 6b), verifica-se que a intensidade da tensão e da corrente assume, a cada instante, valores correspondentes a uma onda senoidal de valores máximos U_{\max} e I_{\max} para ciclos positivos (tensões e correntes maiores que 0) e mínimos U_{\min} e I_{\min} para ciclos negativos (tensões e correntes menores que 0), respectivamente.

Os valores instantâneos da tensão ou da corrente, obviamente, acompanham as formas senoidais apresentadas. Assim, a passagem, na curva, de valores positivos para valores negativos significa, na prática, que a tensão e a corrente variam de sentido. Logo, duas meias ondas com alternância positiva e negativa constituem um ciclo.

Atividade 02

1. Observando a representação de um gerador, mostrado na Figura 5a, apresente um modelo representativo de um motor elétrico, sabendo que um motor transforma energia elétrica em energia mecânica.

Atividade 03

1. Pesquise e relacione outras maneiras de movimentar turbinas para geradores de eletricidade.

Características da tensão e corrente alternada senoidal

Para continuarmos nosso estudo devemos conhecer alguns parâmetros ou valores, delimitados em seguida, que se aplicam tanto à tensão quanto à corrente alternada senoidal (observe a Figura 7).

- **Valor de pico:** é o valor máximo de tensão (V_{\max}) e corrente (I_{\max}) que a onda pode admitir, tanto no ciclo positivo como no negativo. Dessa forma, você poderá também ouvir alguns termos do tipo “pico-a-pico”, mas não se desespere! É apenas o valor correspondente ao dobro do valor de pico, pois representa a grandeza do pico positivo ao negativo simetricamente.
- **Valor médio:** é o valor médio da onda alternada durante meio ciclo. Assim, o valor de tensão média é expresso por $U_m = 0,637U_{\max}$.
- **Valor eficaz:** também chamado de RMS (*root mean square*), corresponde ao valor de corrente ou tensão alternada capaz de produzir a mesma potência/efeito que os valores contínuos produziram. O valor de tensão eficaz é expresso por:

$$U_{ef} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Como,

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \simeq 0,707$$

Então pode dizer que,

$$U_{ef} \simeq 0,707U_{max}$$

Assim o valor de corrente eficaz é expresso por:

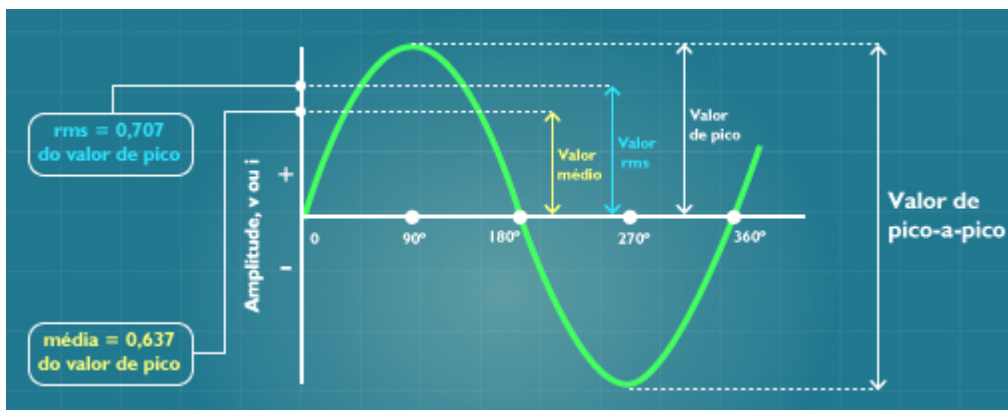
$$I_{ef} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \Rightarrow I_{ef} \simeq 0,707I_{max}$$

Nota de esclarecimento

Uma pergunta pertinente feita com muita assiduidade é a seguinte: se o valor da corrente alternada está variando continuamente, quando se afirma que a intensidade de corrente que percorre um circuito alternado é de, por exemplo, 5 A, a que valor isso corresponde?

A resposta, que resulta de experiências realizadas e que são baseadas no efeito Joule, é a seguinte: o valor da corrente alternada informada corresponde na prática àquele que, percorrendo uma resistência, libera a mesma quantidade de calor, caso essa mesma resistência, nas mesmas condições de funcionamento, fosse percorrida por uma corrente contínua. Ou seja, é o seu valor eficaz.

Figura 07 - Valores de amplitude para uma onda de tensão alternada.



Fonte: <http://dei-s1.dei.uminho.pt/tp5_TA_2005_2006.pdf> Acesso em: 28 jul. 2014.

Curiosidade

Os valores eficazes de tensão e corrente são vastamente utilizados para efetuar a calibração da maioria dos instrumentos de medida. Já teve a oportunidade de constatar essa afirmação no estudo de equipamentos de medição? Ainda não? Então, procure em aulas sobre a análise e uso de equipamentos de medição de tensão e corrente e tente fazer essa constatação.

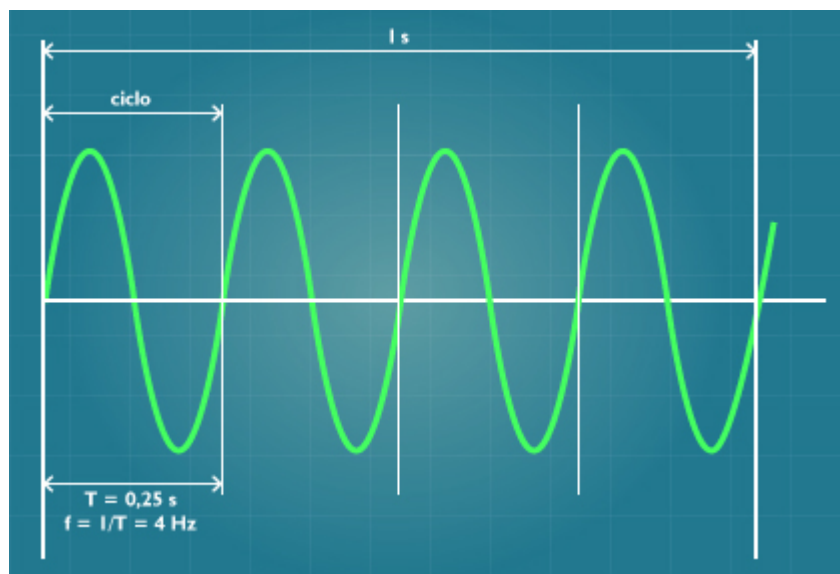
Outros parâmetros que devem ser levados em consideração ao se estudar tensão e corrente alternadas são a frequência e o período da onda alternada. Assim, a frequência (f) representa o número de ciclos que a onda realiza em um segundo, dado em Hertz, e o período (T) é o tempo necessário para completar um ciclo. Observe a Figura 8, representativa de um sinal de tensão de frequência de 4 Hz, e perceba que o período é o inverso da frequência.

Curiosidade

O nome Hertz diz respeito ao físico alemão Heinrich Hertz, que deu importantes contribuições ao mundo na área de física eletromagnética.

No Brasil, a frequência da tensão fornecida – seja ela 380 V, 220 V ou 110 V – é 60 Hz, ou seja, a cada $1/60$ segundos (aproximadamente 16,6 ms) temos um ciclo completo de tensão ou de corrente.

Figura 08 - Representação da frequência e período para um sinal de 4Hz.



Fonte: Autoria Própria (2014).

Atividade 04

1. Pesquise as frequências das tensões em outros países. Será que todos os países do mundo trabalham com tensões com $f = 60 \text{ Hz}$?

Atividade 05

1. Considerando as informações anteriores, em um segundo, quantas vezes a tensão fornecida no Brasil varia de sentido e se anula? 120 vezes? Será?

Nota informativa

Os termos polo positivo (terminal positivo) e polo negativo (terminal negativo), é usado em um circuito elétrico de corrente contínua, para pontos ou fios em que se apresenta uma diferença de potencial ou tensão. Essas designações dão lugar a nomenclaturas como fase-neutro e fase-fase para circuitos elétricos de corrente alternada.

O neutro, normalmente aterrado, apresenta-se para nós, em contato com a terra, com diferencial de potencial 0. Isso será trabalhado quando formos falar de instalações elétricas ou de aterramento em aula específica.

Atividade 06

1. Os múltiplos mais utilizados em frequência são o MHz e o KHz. A quantos Hertz correspondem essas grandezas?

Medição angular / onda senoidal

Como os ciclos de tensão e corrente se dão pela rotação de uma espira em torno de uma circunferência, é bom revisarmos, a seguir, as divisões angulares de uma circunferência.

- Uma volta completa ao redor de uma circunferência, 360°.
- Meia volta ao redor de uma circunferência, 180°.
- Um quarto de volta ao redor de uma circunferência, 90°.
- Em radianos, $360^\circ = 2\pi$ radianos.

Como as formas de onda da tensão e da corrente alternadas são a senoidal, seus valores instantâneos podem ser descritos pelas funções matemáticas: $U = U_{max} \text{sen}(\theta)$, para a tensão $I = I_{max} \text{sen}(\theta)$ para a corrente, com θ variando de 0° a 180° nos semiciclos positivos e de 180° a 360° nos semiciclos negativos

Tipos de cargas em sistemas de tensão alternada

Observa-se, na prática, que as formas de onda de corrente e de tensão em sistemas alternados nem sempre estão em fase, isto é, nem sempre atingem ao mesmo tempo os seus valores máximos, mínimos e nulos. Quando isso acontece

diz-se que os sinais de tensão e corrente estão defasados de certo ângulo α . Em corrente contínua não existe diferença de fase, uma vez que a tensão está sempre em fase com a corrente ($\alpha = 0^\circ$).

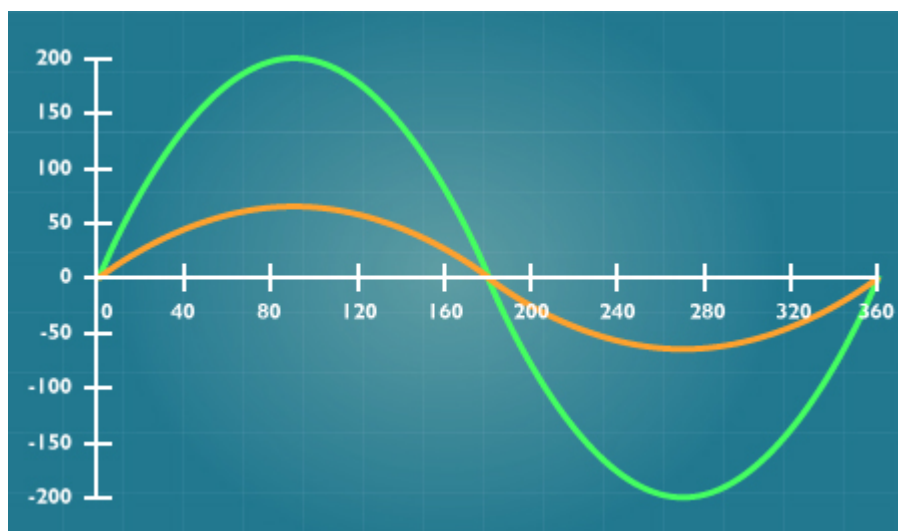
Entretanto, qual a causa desses defasamentos entre a tensão e a corrente em sistemas de corrente alternada (CA)? A resposta está na carga que é adicionada ao circuito elétrico. Fundamentalmente, existem três tipos de cargas básicas a serem alimentadas por sistemas de tensão alternada: resistiva, capacitiva e indutiva. Sendo muito frequente a presença de cargas com associações de resistores a capacitores e indutores.

Lembre-se da lei de Ohm, em que:

$$I = \frac{U}{R}$$

Com base nessa lei, temos que uma carga resistiva funciona como uma limitadora de corrente, dissipando a energia a ela fornecida. Observe a **Figura 9** e veja que, a corrente, ao alimentar uma carga puramente resistiva, inicia e termina seu ciclo junto à tensão.

Figura 09 - Representação da corrente (laranja) e tensão (verde) em uma carga resistiva.

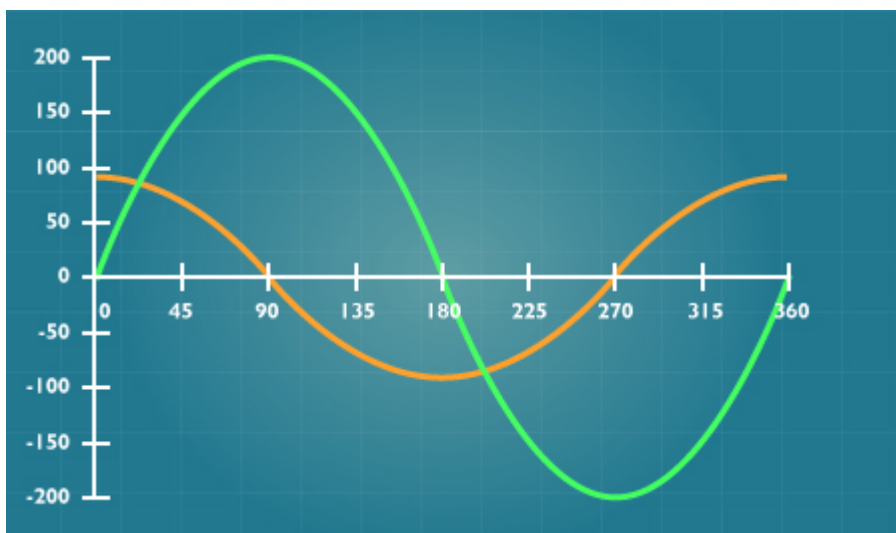


Fonte: Autoria Própria (2014).

As cargas capacitivas, você se lembra do funcionamento dos capacitores? Caso não se lembre, é interessante voltar e recordar a aula **Dispositivos Passivos em Circuitos Elétricos**. Essa aula fala de dispositivos passivos, que são aqueles que na

presença de tensão alternada armazenam energia sob forma de campo elétrico. Uma carga puramente capacitiva produz uma limitação e um atraso (90°) da tensão em relação à corrente (Figura 10). Esse tipo de carga não realiza trabalho, como a resistiva que dissipa calor, apenas armazena e devolve energia sob a forma de campo elétrico.

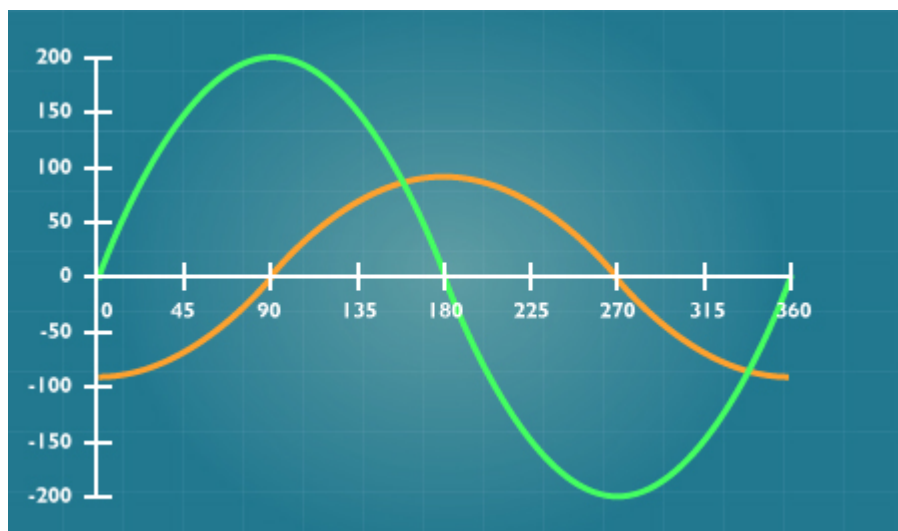
Figura 10 - Representação do defasamento de 90° entre corrente (laranja) e tensão (verde) em uma carga capacitiva.



Fonte: Autoria Própria (2014).

Por fim, as cargas indutivas são aquelas que na presença de tensão alternada armazenam energia sob a forma de campo magnético. Uma carga puramente indutiva produz limitação e atraso (90°) da corrente em relação à tensão (Figura 11). Esse tipo de carga não realiza trabalho, como a resistiva que dissipa calor, apenas armazena e devolve energia sob a forma de campo eletromagnético. Caro (a) aluno (a), você lembra do funcionamento dos indutores? Caso não lembre, é importante voltar e recordar a aula sobre dispositivos passivos.

Figura 11 - Representação do defasamento 90° entre corrente (laranja) e tensão (verde) em uma carga indutiva.



Fonte: Autoria Própria (2014).

Curiosidade

Cargas capacitivas não realizam trabalho e são utilizadas normalmente como filtros, como elementos auxiliares de partida de motores monofásicos e como compensadores de reações indutivas (atraso da corrente em relação à tensão).

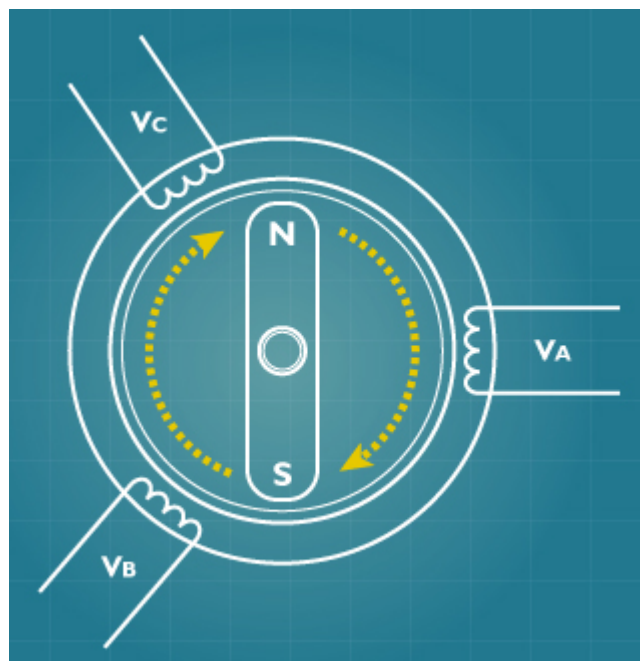
Tensão alternada trifásica

Primordialmente, os sistemas elétricos destinavam-se exclusivamente ao suprimento de sistemas de iluminação e, substancialmente, à corrente contínua. Gradativamente, com o surgimento dos geradores CA (corrente alternada) e de dispositivos, tais como os transformadores que possibilitaram a transmissão e a distribuição de energia elétrica em níveis de tensão muito maiores e em longas distâncias, os sistemas elétricos em corrente alternada foram substituindo os de corrente contínua. Nesse contexto evolutivo, os sistemas em corrente alternada, inicialmente de fase única ou monofásicos (fase-neutro), por questões econômicas e de facilidade de uso, deram origem aos sistemas elétricos polifásicos (sistemas elétricos com múltiplas fases, cada fase de mesma amplitude, mas defasadas por

um ângulo de $360^\circ/n$, em que n corresponde ao número de fases). Dentre os sistemas polifásicos, por questões econômicas e construtivas dos geradores, se sobressai e se universaliza os **sistemas elétricos trifásicos**, que como o próprio nome indica, é constituído de três fases, de mesma amplitude e frequência, porém defasadas eletricamente de 120° .

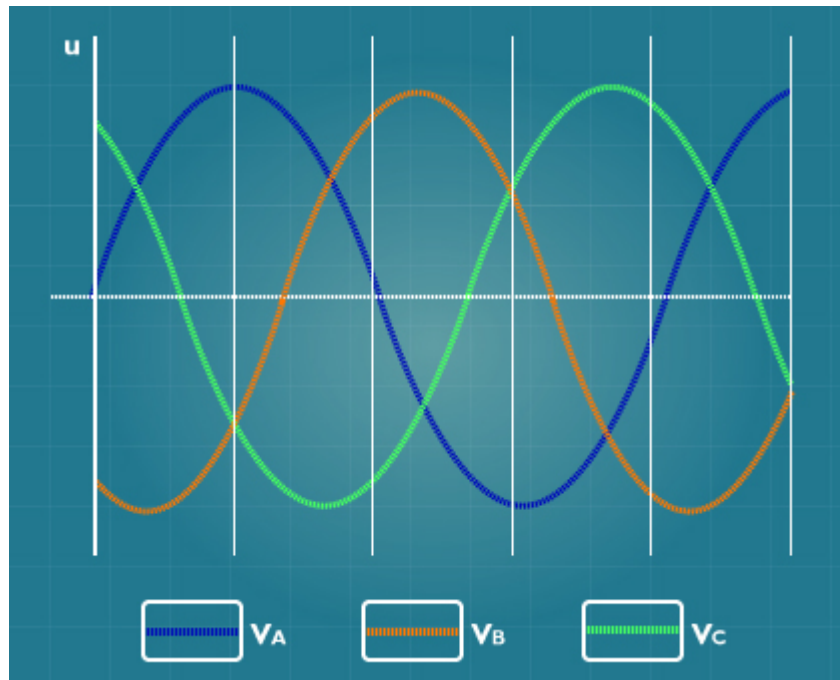
Um sistema trifásico pode ser produzido conforme o esquema simplificado mostrado na Figura 12. Contrariamente ao modelo elementar apresentado nas figuras 3a e 3b, os três enrolamentos são estáticos e, necessariamente, devem apresentar o mesmo número de espiras enquanto o rotor (campo magnético girante) se movimenta. As três fases geradas são frequentemente representadas pelas letras A, B e C ou R, S e T. Observa-se, pela Figura 13, representativa das três fases geradas, de mesma amplitude e frequência, defasadas de 120° que, em qualquer instante t , o somatório das tensões e correntes é sempre nulo.

Figura 12 - Gerador trifásico.



Fonte: Autoria Própria (2014).

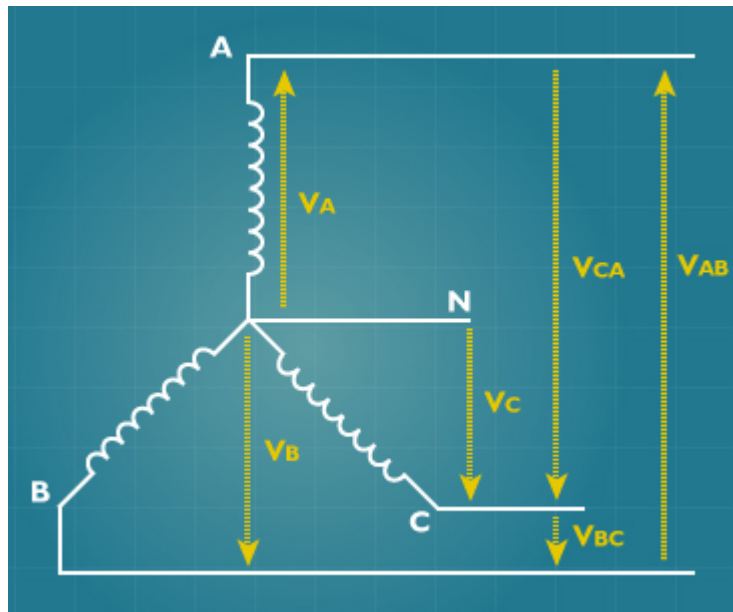
Figura 13 - Representação das tensões de saída de um gerador trifásico.



Fonte: Autoria Própria (2014).

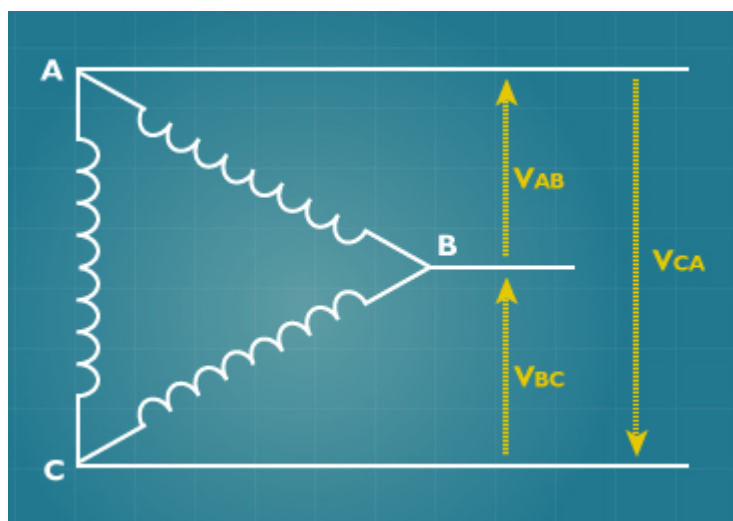
Assim, os sistemas trifásicos têm ainda a possibilidade de atender cargas monofásicas, bifásicas e trifásicas, embora a aplicação das duas primeiras possam trazer desbalanceamentos de carga e, portanto, desequilíbrios nas correntes e tensões presentes no sistema. As figuras 14 e 15 representam duas possíveis conexões de saída de um gerador trifásico. A primeira é conhecida como conexão em estrela ou em Y a quatro fios, já a segunda é conhecida como conexão triangular ou em Δ . Portanto, na conexão em Y temos três tensões entre fase e neutro, conhecidas por tensões de fase (V_A , V_B , V_C) e três tensões entre fases, conhecidas por tensões de linha (V_{AB} , V_{BC} e V_{CA}), essas últimas, presentes também numa conexão em Δ .

Figura 14 - Conexão trifásica estrela ou em Y.



Fonte: Autoria Própria (2014).

Figura 15 - Conexão trifásica triangular ou em Δ .



Fonte: Autoria Própria (2014).

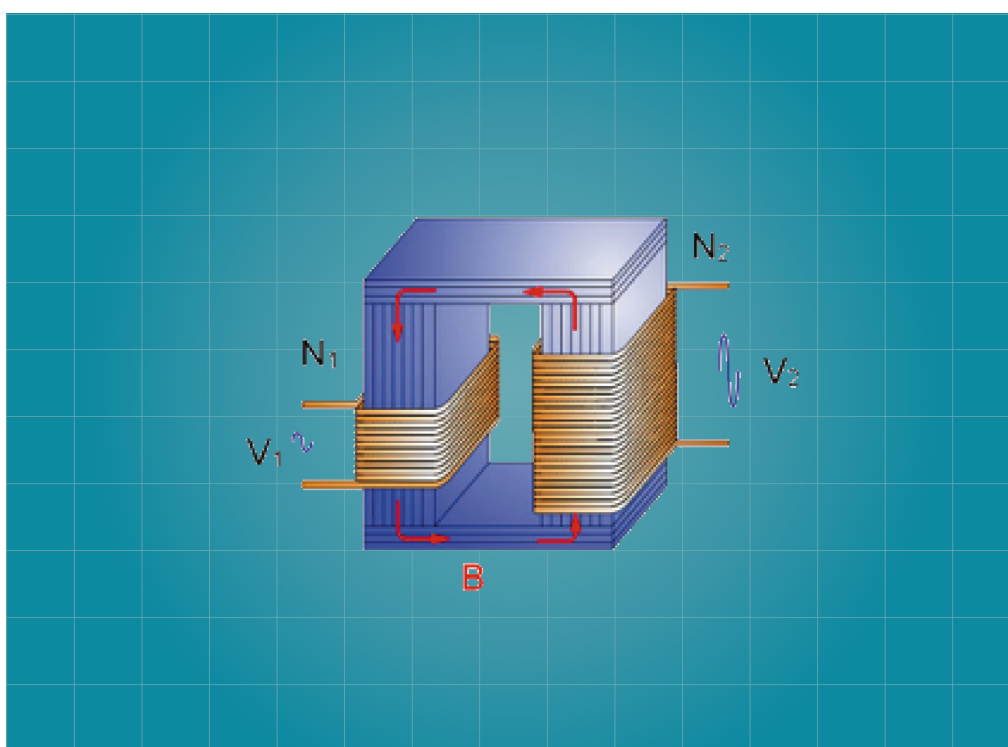
O Transformador

Já que falamos tanto em transformador, vamos rapidamente mostrar como se caracteriza. O transformador é basicamente constituído por dois enrolamentos por fase, denominados de enrolamento primário, com N_p espiras, e de enrolamento secundário, com N_s espiras, usado especificamente quando se deseja modificar o

valor de uma tensão alternada em outro, em que a relação de tensão entre primário e secundário é dada por $N_p/N_s = V_p/V_s$. Dá para se compreender que podemos ter transformadores abaixadores de tensão e elevadores de tensão, bastando para isso o correto dimensionamento do número de espiras do primário e do número de espiras do secundário do transformador.

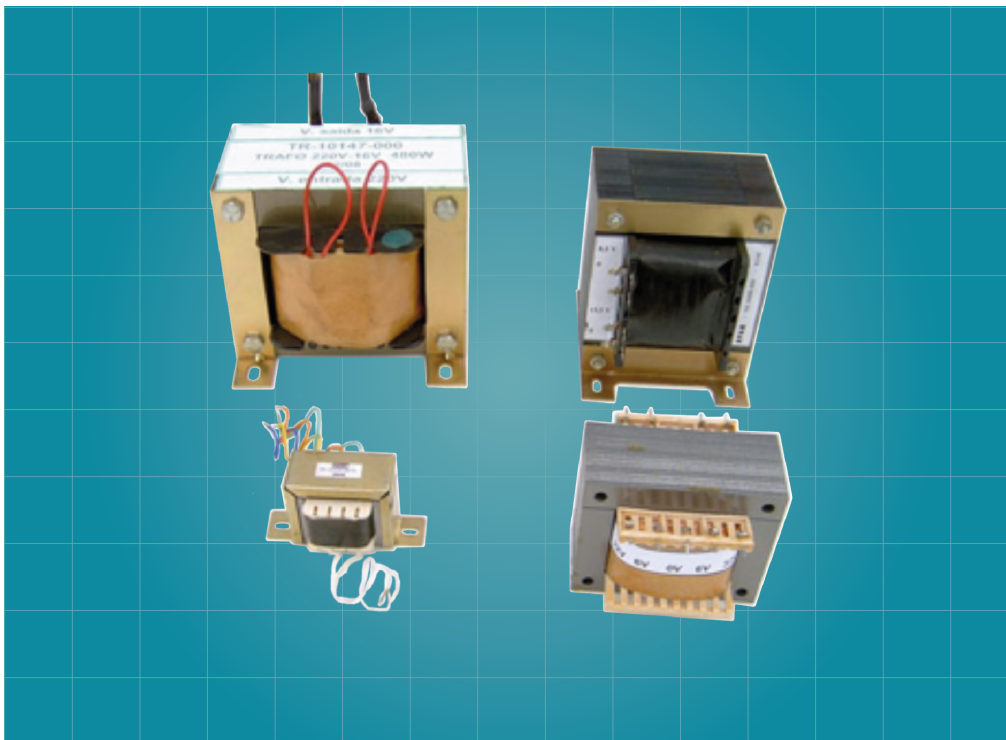
Para visualizar tensões e correntes alternadas, ver suas formas de onda, defasamentos e poder medir com precisão alguns dos parâmetros comentados nesta aula, o equipamento adequado de bancada é o osciloscópio, que veremos com detalhes em uma aula futura.

Figura 16 - Esquema do transformador monofásico.



Fonte: <<http://www.lgengenharia.com.br/wp-content/uploads/2015/04/Transformador-01.jpg>>

Figura 17 - Exemplos de transformadores monofásicos.



Fonte: <<http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2011/01/transformadores.jpg>>

Figura 18 - Exemplos de transformador trifásico.



Fonte: <<http://www.itb.ind.br/img/transformadores-monofasicos-g.jpg>>

Resumo

Nesta aula, você aprendeu o que é tensão e corrente alternada e como funciona seu processo de geração. Do mesmo modo, aprendeu também as principais características que devem ser levadas em consideração ao se trabalhar com sistemas alternados. Em seguida, analisamos juntos os tipos de cargas que podem ser alimentados com sistemas alternados, assim como, o que é a tão comentada tensão trifásica e qual a função do transformador.

Autoavaliação

1. Qual a diferença entre a tensão alternada e a tensão contínua?
2. Como ocorre a geração de tensão alternada? Exemplifique.
3. Qual a diferença entre V_{pico} e $V_{pico-a-pico}$?
4. Como se dividem as cargas nos sistemas de tensão alternada?
5. O que é tensão RMS?

Referências

COELHO, Alfredo. **Apostila de física**: formação geral – IV Unidade. Itabuna, BA: Colégio Estadual José Brandão, 2009.

GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA (GREF). Instituto de Física da USP. **Leituras de física**: eletromagnetismo. 1998. Disponível em: <<http://www.if.usp.br/gref/eletro/eletro4.pdf>>. Acesso em: 1 jan. 2011.

SERRALHEIRO, Werter. **Eletricidade**. CEFET-SC. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAezhoAF/apostila-eletricidade-basica>>. Acesso em: 13 fev. 2014.