





Análise de Circuitos em Corrente Alternada

Módulo 3

Caraterização do Módulo

Apresentação

Este módulo pretende dotar o aluno com conhecimentos sobre as principais caraterísticas da corrente alternada sinusoidal, bem como o estudo exaustivo de circuitos resistivos, capacitivos e indutivos. Introduziremos também o conceito teórico e prático do Osciloscópio Analógico e Digital.

Por conseguinte o módulo é de carácter teórico-prático, devendo decorrer, em parte, em ambiente laboratorial, de forma a permitir aos alunos verificarem e comprovarem os principais efeitos da corrente alternada em cargas resistivas, indutivas e capacitivas.

Objetivos de aprendizagem

Conhecer o conceito de corrente alternada em comparação com o conceito de corrente contínua.

Conhecer e identificar as principais caraterísticas das ondas sinusoidais.

Saber utilizar o gerador de funções e o osciloscópio.

Conhecer o conceito de impedância.

Conhecer o comportamento de condensadores e bobines em corrente alternada.

Analisar e aplicar os circuitos em corrente alternada.

Conhecer a corrente alternada trifásica e quais as suas principais vantagens.

Âmbito de conteúdos

Caraterísticas da corrente alternada sinusoidal:

- Frequência;
- Período;
- Fase;
- Amplitude;
- Amplitude de pico;
- Valor médio;



- Valor eficaz;

Estudo de equipamentos de medida e teste:

- Gerador de funções;
- Osciloscópio;

Equação matemática de uma grandeza sinusoidal.

Notação polar:

- Operações simples com vetores;

Comportamento dos componentes de um circuito em corrente alternada:

- Condensadores;
- Bobines;

Noção de impedância.

Análise de circuitos em corrente alternada:

- Circuitos RC, RL e RLC;

Circuitos série e paralelo:

- Potência em corrente alternada;
- Compensação do fator de potência;
- Cálculo do somatório das potências em corrente alternada;
- Diagramas de impedância, de corrente e de tensões;

Introdução aos sistemas trifásicos e as suas vantagens.

Tensões simples e tensões compostas.



Corrente Alternada

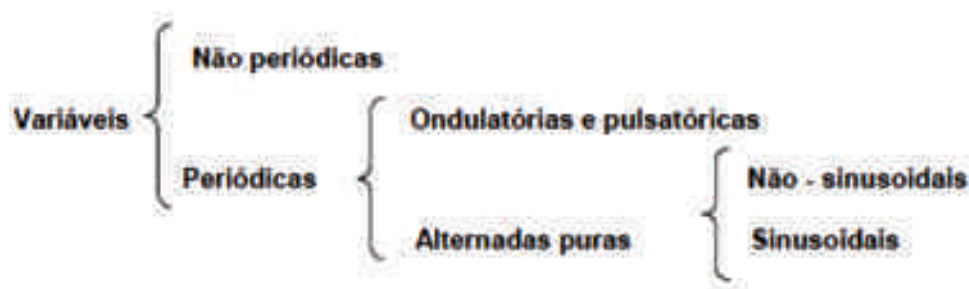
Corrente Alternada versus Corrente Contínua

Desde o início da história da eletricidade que se iniciou a questão da opção entre corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA). A partir de 1882, a CA foi adotada para o transporte e distribuição de energia elétrica em larga escala, pelas seguintes razões:

- A elevação e o abaixamento de tensão são mais simples. Para reduzir as perdas energéticas no transporte de energia elétrica é necessário elevar o valor da tensão. Posteriormente, a distribuição dessa energia elétrica aos consumidores, é necessário voltar baixar essa tensão. Para isso utilizam-se transformadores elevadores e abaixadores de tensão de construção bastante simples e com um bom rendimento. O processo de reduzir e aumentar a tensão em CC é bastante mais complexo, embora comecem a aparecer, hoje em dia, sistemas de eletrónica de potência capazes de executar essa tarefa (embora com limitações de potência).
- Os alternadores (geradores de CA) são mais simples e têm melhor rendimento que os dínamos (geradores de CC).
- Os motores de CA, particularmente os motores de indução são mais simples e têm melhor rendimento que os motores de CC.
- A CA pode transformar-se facilmente em CC por intermédio de sistemas retificadores.

O estudo da energia elétrica que fizemos no módulo anterior assentou nas correntes e tensões contínuas, isto é, nas que mantêm o mesmo sentido (unidirecionais) e o mesmo valor. Existem, no entanto numerosas aplicações em que são diversas as variações em função do tempo, das tensões, correntes e outras grandezas. Assim as grandezas elétricas podem classificar-se em função do tempo como:





Vamos analisar seguidamente todas as opções:

Grandezas constantes

No gráfico a corrente representada é constante pois não varia ao longo do tempo.

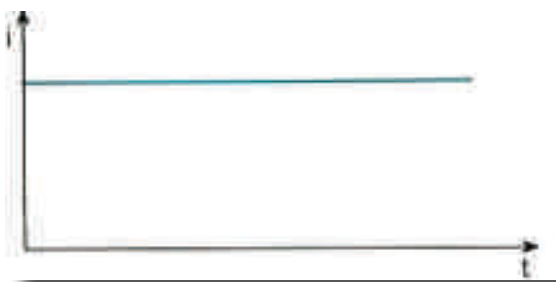


Fig. 1: Corrente constante

Grandezas Variáveis - Não periódicas

A corrente representada possui valores diferentes de instante para instante mas mantém o mesmo sentido.

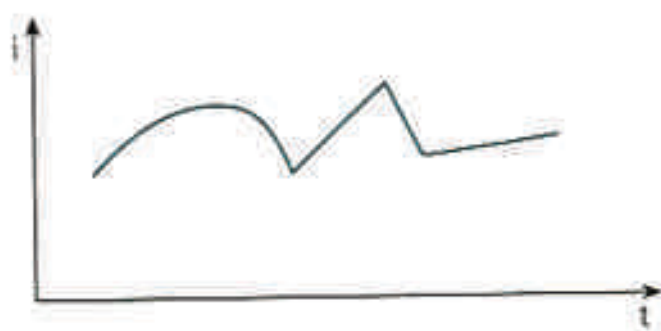


Fig. 2: Corrente variável unidirecional



Grandezas Variáveis - Periódicas

Uma grandeza diz-se periódica quando se verifica uma repetição das suas características ao longo do tempo. No estudo que iremos efetuar, surgir-nos-ão diversas formas de ondas periódicas. Representamos dois tipos de ondas periódicas: as ondulatórias ou pulsatórias e as alternadas puras.

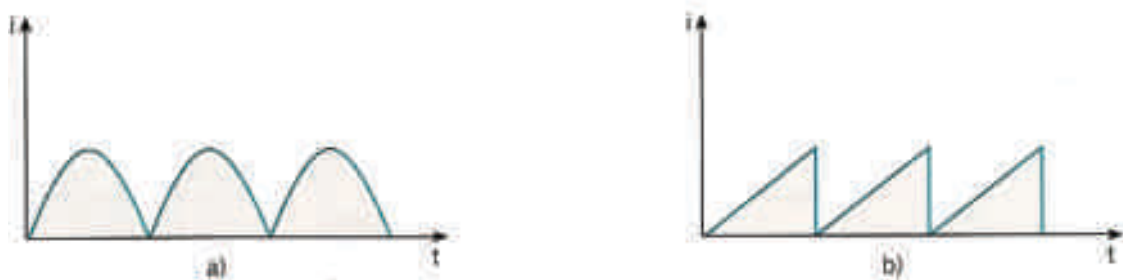


Fig. 3: Corrente ondulatória (a) Corrente unidirecional em dente de serra (b)

As ondas alternadas puras distinguem-se das ondas ondulatórias porque possuem um valor médio algébrico nulo.

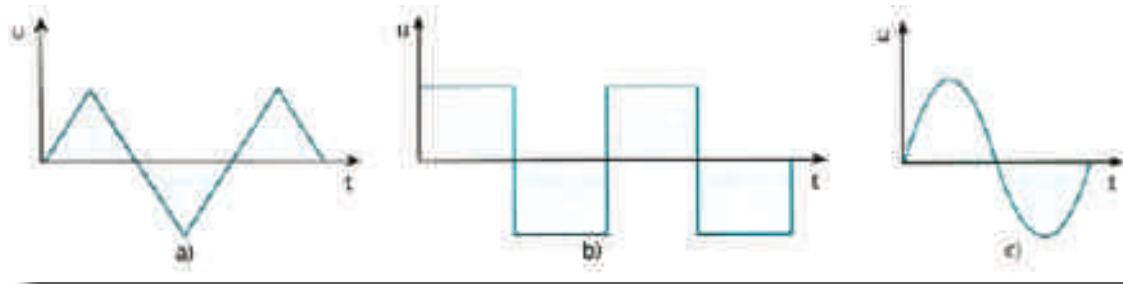


Fig. 4: Tensão alternada triangular (a) Tensão alternada quadrada
(b) Corrente sinusoidal (c)

Numa onda alternada pura, o conjunto dos valores assumidos em cada sentido designa-se por alternância ou semionda. Teremos assim uma alternância positiva e uma alternância negativa.

O conjunto de duas alternâncias consecutivas designa-se por ciclo.

O valor assumido, em cada instante, por uma corrente ou tensão é chamado valor instantâneo, que se representa por uma letra minúscula: i ou u .



Iremos agora tratar do estudo de correntes e tensões alternadas sinusoidais. A sua importância na eletrónica resulta do facto de qualquer sinal periódico alternado se poder considerar como a soma de sinais alternados sinusoidais de frequências múltiplas. Convém, pois, definirmos as grandezas que caracterizam um sinal sinusoidal.



Caraterísticas da corrente alternada sinusoidal

Período

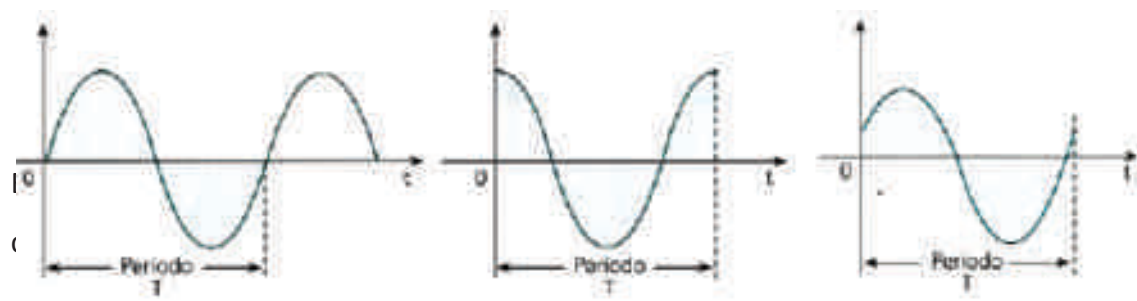


Fig. 5: Período de uma grandeza sinusoidal

É o número de ciclos efetuados num segundo. Representa-se por f e a sua unidade é o Hz (Hertz). A frequência está relacionada com o período da seguinte forma:

$$f = \frac{1}{T}$$

As frequências das ondas dependem da sua utilização. Assim, a energia elétrica é distribuída a 50 Hz, ou seja, apresenta 50 ciclos ou períodos por segundo. A gama das audiofrequências vai de 20 Hz a 20 KHz e comporta o que vulgarmente se designa por eletroacústica. Rádio, televisão, ultra-sons, radar e micro-ondas comportam gamas de frequências que ultrapassam os MHZ (Megahertz) e, por vezes, os GHZ (Giga Hertz).

Amplitude ou Valor máximo

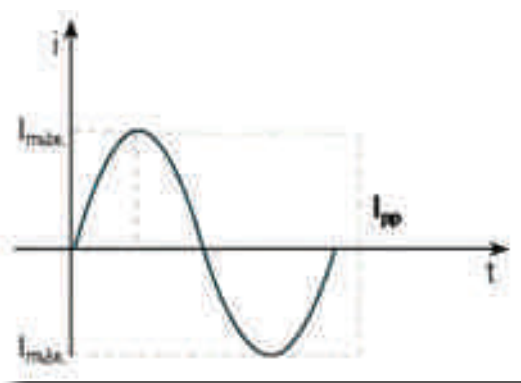


Fig. 6: Representação da amplitude e do valor pico a pico de uma corrente sinusoidal



É o valor instantâneo mais elevado atingido pela grandeza. Há amplitude positiva e amplitude negativa.

Ao valor medido entre os valores de amplitude positiva e amplitude negativa chama-se valor de pico a pico e é dado pela seguinte expressão:

$$I_{pp} = 2 \times I_{máx}$$

Ou no caso das tensões:

$$U_{pp} = 2 \times U_{máx}$$

Valor médio

Teremos aqui que considerar apenas metade do ciclo de uma corrente alternada sinusoidal, pois o valor médio de um ciclo é zero, já que este se repete na parte positiva e na parte negativa.

O valor médio representa o valor que uma corrente contínua deve ter para ser transportada a mesma quantidade de eletricidade, num mesmo intervalo de tempo.

A expressão para determinar o valor médio é dado por:

$$I_{med} = \frac{2}{\pi} \times I_{máx}$$

Se resolvermos o quociente $2/\pi$ teremos:

$$I_{med} = 0,637 \times I_{máx}$$

Para o caso das tensões alternadas sinusoidais:

$$U_{med} = \frac{2}{\pi} \times U_{máx} = 0,637 \times U_{máx}$$



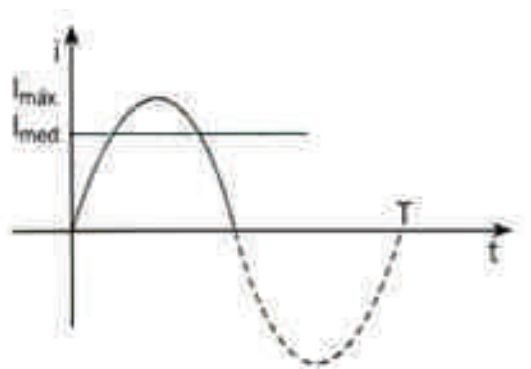


Fig. 7: Valor médio de uma corrente sinusoidal

Valor eficaz

O calor desenvolvido numa resistência é independente do sentido de circulação da corrente.

O valor eficaz de uma corrente alternada é o valor da intensidade que deveria ter uma corrente contínua para, numa resistência, provocar o mesmo efeito calorífico, no mesmo intervalo de tempo.

Por outras palavras, existirá uma corrente contínua que no mesmo intervalo de tempo T, ou seja num período, produzirá a mesma quantidade de calor que a produzida pela corrente alternada.

O valor eficaz representa-se por I ou U (conforme corrente ou tensão). A expressão matemática que define o valor eficaz é:

$$I = \frac{I_{máx}}{\sqrt{2}}$$

Como $1 / \sqrt{2} = 0,707$, temos:

$$I = 0,707 \times I_{máx}$$

Relativamente a tensões alternadas sinusoidais temos:

$$U = \frac{U_{máx}}{\sqrt{2}} = 0,707 \times U_{máx}$$

Para realçar a importância do valor eficaz, refira-se que são valores eficazes que os voltímetros e amperímetros nos indicam ao medirem grandezas sinusoidais.



Exercício:

1. Considere a tensão sinusoidal representada na figura 8. Determine:

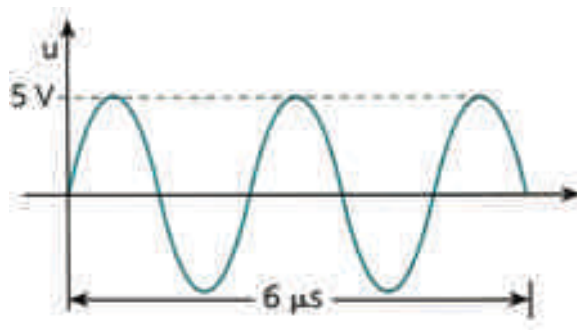


Fig. 8: Tensão sinusoidal em análise

- 1.1. A frequência e o período.
- 1.2. O valor médio de uma alternância.
- 1.3. O valor eficaz.
- 1.4. O tempo que a onda demora a atingir o primeiro pico.



Representação gráfica de uma grandeza sinusoidal

Consideremos uma corrente alternada sinusoidal. Esta terá uma frequência, um determinado período, além disso, existirá um valor máximo e em cada instante teremos um valor instantâneo.

Se a onda sinusoidal não começar na origem do referencial, teremos de definir um ângulo ϕ , que é o ângulo que a onda faz com a origem da contagem dos ângulos, no instante inicial.

Vamos também definir velocidade angular ω como sendo o número ω de radianos percorridos por segundo, ou seja traduzindo por uma expressão.

$$\omega = 2\pi \times f$$

Exprime-se em rad/s (radianos por segundo).

Podemos definir a equação da onda sinusoidal, no caso de uma corrente:

$$i = I_{m\acute{a}x} \times \text{sen}(\omega.t + \phi)$$

Em que:

i - Valor instantâneo da corrente em Ampere

$I_{m\acute{a}x}$ - Valor máximo da corrente em Ampere

ω - Velocidade angular em rad / s

t – Tempo em segundos

ϕ - Ângulo inicial

No caso de uma tensão, a equação será:

$$u = U_{m\acute{a}x} \times \text{sen}(\omega.t + \phi)$$

Em que:

u - Valor instantâneo da tensão em Volts

$U_{m\acute{a}x}$ - Valor máximo da tensão em Volts

ω - Velocidade angular em rad / s

t – Tempo em segundos

ϕ - Ângulo inicial



Foi referido que a onda sinusoidal poderá não começar na origem do referencial. Ao ângulo que a onda faz com a origem da contagem dos ângulos, no instante inicial, dá-se o nome de ângulo de defasamento φ .

Deste modo várias serão as possíveis posições iniciais. Para nos apercebermos destas posições, consideremos duas correntes sinusoidais, i_1 e i_2 , da mesma frequência.

Sejam: $i_1 = I_{1\text{máx}} \times \text{sen}.\omega t$ $i_2 = I_{2\text{máx}} \times \text{sen}.\omega t + \phi$

Como verificamos, a corrente i_2 está desfasada em relação i_1 a de um ângulo φ ; porque os vetores que representam as correntes sinusoidais rodam no sentido direto, i_2 está avançada em relação a i_1 .

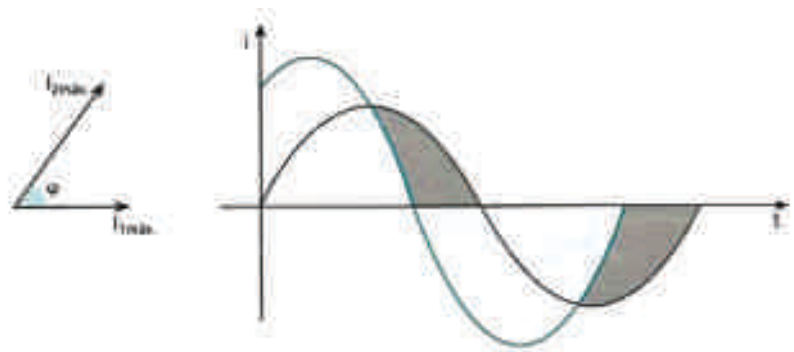


Fig. 9: Representação vetorial e cartesiana de duas correntes sinusoidais

Existem casos específicos para os valores deste ângulo que passaremos a analisar:

1. Grandezas em fase

As duas correntes assumem valores máximos e têm zeros simultaneamente. O ângulo de defasamento φ é nulo.

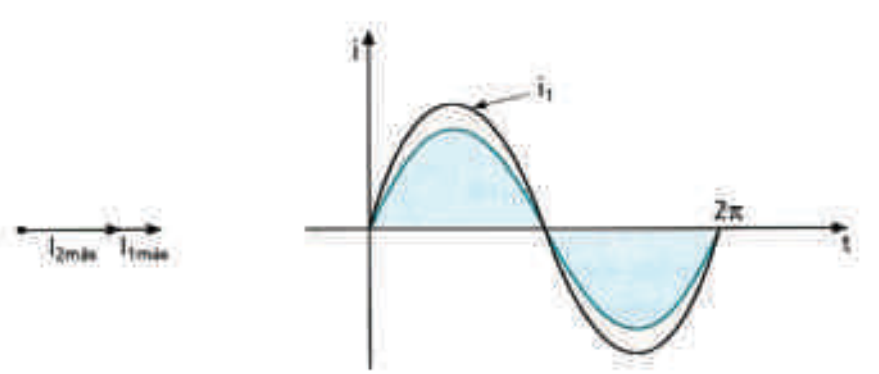


Fig. 10: Representação vetorial e cartesiana de duas correntes em fase



2. Grandezas em quadratura

Quando uma das grandezas atinge o valor máximo, a outra anula-se. O ângulo de defasamento ϕ é de 90° .

No gráfico (a) representado na figura seguinte, a tensão está avançada 90° em relação à corrente. Ou seja, enquanto a tensão já se encontra na origem do referencial, a corrente ainda está no seu valor máximo negativo. Na segunda representação (b), a tensão está atrasada em relação à corrente. Ou seja, enquanto a corrente já se encontra no seu valor máximo positivo, a tensão ainda está a anular-se na coordenada do gráfico correspondente a $u = 0$.

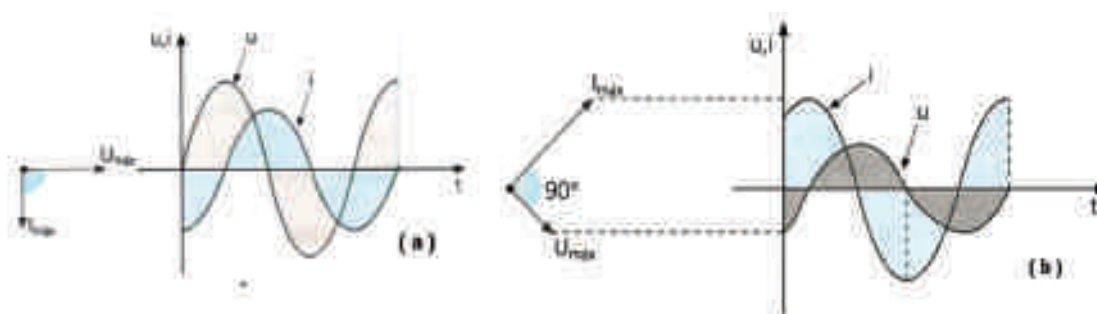


Fig. 11: Representação vetorial e cartesiana de uma tensão e uma corrente sinusoidal em quadratura

3. Grandezas em oposição

Os vetores representativos das grandezas têm a mesma direção mas sentidos opostos. O ângulo de defasamento ϕ é de 180° .

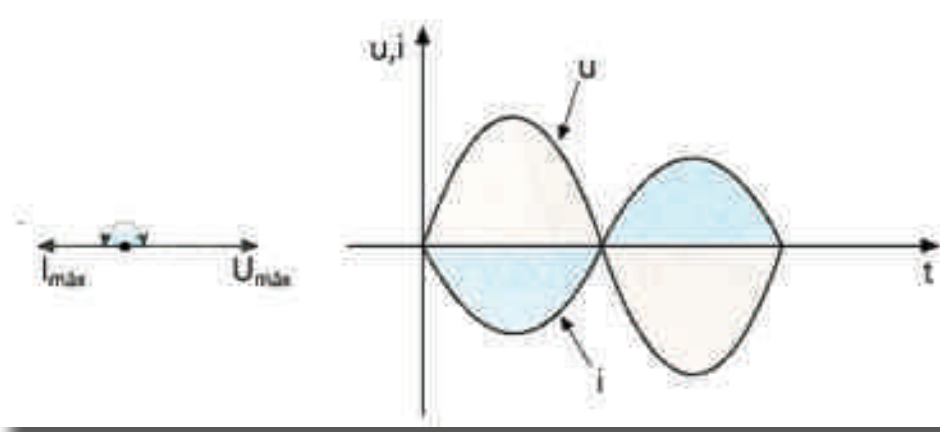


Fig. 12: Representação vetorial e cartesiana de duas correntes em oposição de fase



Exercício

1. Uma corrente alternada sinusoidal tem a seguinte expressão analítica, calcule:

$$i = 10 \times \text{sen.}(157t + \phi)$$

- 1.1. O valor máximo da corrente.
- 1.2. O valor eficaz da corrente.
- 1.3. O valor da velocidade angular.
- 1.4. A frequência do sinal sinusoidal.



Noção de Impedância

Se realizarmos a experiência de verificação da lei de Ohm mas aplicando agora grandezas alternadas, chegaremos à conclusão que se mantém constante o quociente U / I . A este quociente chamamos impedância do circuito, ao qual aplicamos a tensão alternada e que se representa por Z . A sua unidade é igualmente o Ω - Ohm.

Assim, a lei de Ohm assume a forma, que é designada por Lei de Ohm generalizada.

$$U = Z \times I$$

A diferença entre Z e R deve-se ao facto de Z depender da frequência. Assim, em corrente alternada, a relação entre a tensão e a corrente depende, para uma dada frequência, da impedância Z e ângulo de desfasamento φ .

Por definição designar-se-á:

- $Z \cdot \cos \varphi$ - por resistência R
- $Z \cdot \sin \varphi$ - por reactância X

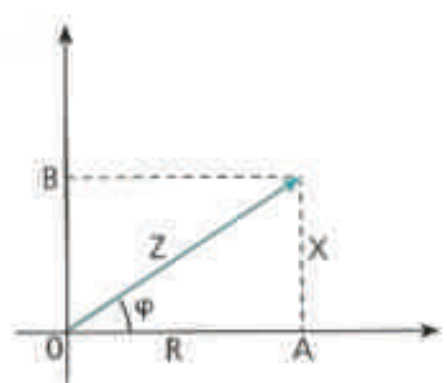


Fig. 13: Representação gráfica da resistência e reactância

De seguida, estudaremos os circuitos em que surgem correntes alternadas sinusoidais, que são formadas por resistências, bobinas e condensadores. Veremos, em primeiro lugar, os circuitos ideais, ou seja, os constituídos apenas por resistências, por bobinas puras (sem resistência) e por condensadores puros (sem resistência de perdas). Tal não acontece na realidade. No entanto, algumas destas três grandezas, que formam os elementos reais (resistência, reactância indutiva e reactância capacitiva), assumem



valores tão baixos que podem desprezar-se face aos restantes. É o caso, por exemplo, das lâmpadas de incandescência que podem, sem grande erro, ser consideradas como resistências puras.

Circuito puramente resistivo

Ao aplicarmos uma tensão alternada sinusoidal à resistência de ohm, qual será a forma de onda da corrente no circuito?

Aplicando a Lei de Ohm aos sucessivos instantes e uma vez que $Z = R$ (pois o circuito é considerado um circuito ideal e, desta forma a outra componente da impedância, ou seja a reactância, será nula), facilmente se verifica:

- À medida que a tensão aumenta, a corrente também aumenta já que se relacionam pela Lei de Ohm; $U = R \times I$.
- Quando a tensão aplicada muda de polaridade, também a intensidade de corrente muda de sentido.

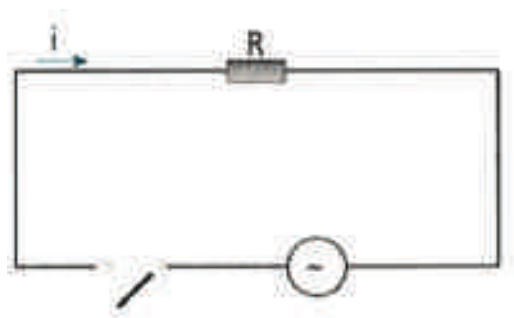


Fig. 14: Resistência pura alimentada em corrente alternada

As curvas representativas da tensão e corrente estão em fase, ou seja, a um máximo de tensão corresponde um máximo da corrente, o mesmo sucedendo para os zeros.



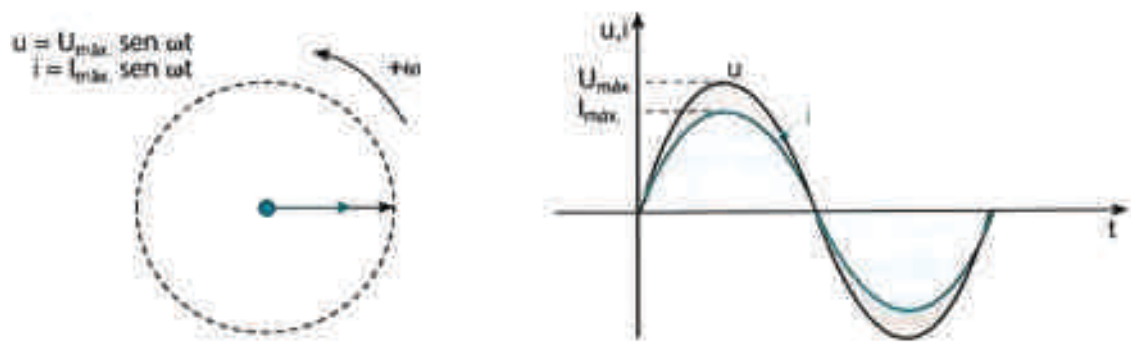


Fig. 15: Representação algébrica, vetorial e cartesiana da tensão e respetiva corrente numa resistência de ohm.

Circuito puramente indutivo

Reactância indutiva.

Neste circuito a oposição à circulação da corrente é feita pela f.e.m. de autoindução da bobina e chama-se reactância indutiva (X_L) e exprime-se em Ω .

Qual será a relação entre os valores eficazes da tensão e da corrente?

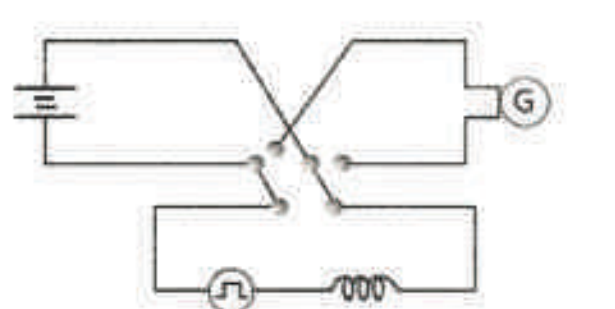


Fig. 15: Bobina alimentada a corrente contínua ou corrente alternada

Quando o interruptor se fecha alimentando o circuito em c.c. a corrente não surge de imediato. Pela lei de Lenz, a corrente induzida no circuito tem um sentido cujos efeitos se opõem à causa que a originou.



Ao abrir-se o interruptor, a corrente não cessa pelas mesmas razões. A diminuição da corrente é pois retardada. É o que se representa na figura 16, onde o fecho do interruptor se efetua no instante t_1 , só atingindo a corrente um valor final após o intervalo $t_3 - t_1$ na diminuição da corrente, esta só se anula após o intervalo de tempo $t_4 - t_2$.

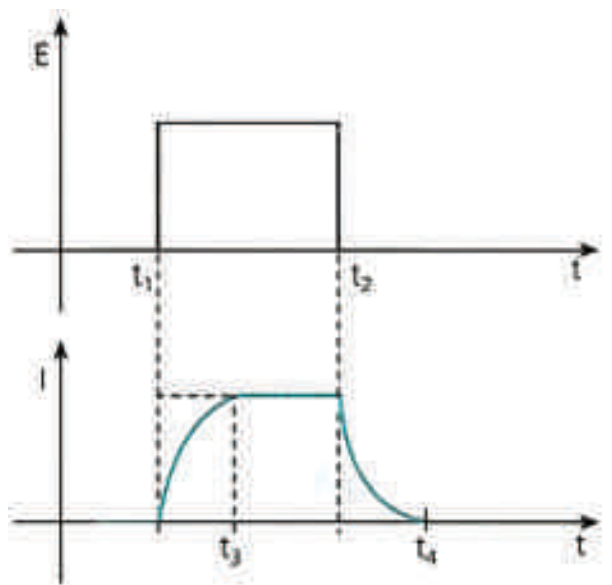


Fig. 16: Forma de onda num circuito puramente alimentado a corrente contínua

Em corrente alternada, os efeitos da autoindução são constantes.

Dependerá a reactância da frequência?

Como se representa na parte A da figura 17, com uma grande frequência, num pequeno período a corrente não tem tempo de atingir o seu valor máximo, pois a tensão aplicada inverte-se. Na parte B, a corrente atinge um valor mais elevado, já que o período da tensão aplicada é maior. Logo, quanto maior a frequência, menor será a corrente elétrica.

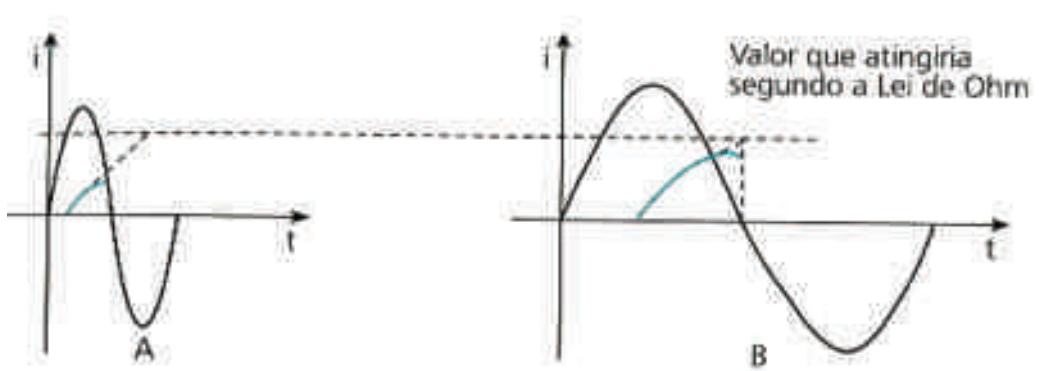


Fig. 17: Gráfico da corrente para tensões aplicadas de diferentes frequências



Sendo a oposição à circulação de corrente a reactância indutiva X_L , segundo a lei de ohm:

$$U = X_L \cdot I$$

Sendo o valor de X_L dado por:

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

Com :

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

Temos:

$$X_L = \omega \cdot L$$

Em que:

X_L - Reactância indutiva - Ohm (Ω)

f - Frequência - Hertz (HZ)

L - Coeficiente de autoindução ou indutância - Henry (H)

ω - Velocidade angular - Radiano por segundo (rad/s)

Ao ser aplicada tensão à bobina, a corrente não surgirá imediatamente pois, como vimos, surgirá no circuito, devido à autoindução, uma corrente com um sentido tal que faz retardar o aparecimento da corrente principal no circuito.

Esta apenas surgirá quando a tensão atingir o seu valor máximo. Ainda devido aos fenómenos de autoindução, a corrente irá aumentar enquanto a tensão decresce, e atinge um máximo quando a tensão aplicada é nula. A tensão inverte-se, a corrente começa a diminuir, mas esta diminuição é retardada e anula-se quando a tensão atinge o seu máximo negativo, ou seja, um quarto de período mais tarde.

O desfasamento será de $\pi/2$ radianos ou seja 90° . A corrente está atrasada $T/4$ em relação à tensão.



Fig. 18: Circuito puramente indutivo e representação algébrica, vetorial, cartesiana da tensão aplicada e da corrente que o percorre



Exercício:

Uma f.e.m. de 10 V de valor eficaz e 50 Hz de frequência é aplicada a uma bobina de 0.1 H. Determine a reactância indutiva da bobina e a corrente que a percorre.

Circuito puramente capacitivo

Como será o comportamento do condensador ao ser-lhe aplicada uma tensão alternada sinusoidal?

A lâmpada inserida no circuito da figura 19 brilha constantemente. A justificação reside na carga e descarga do condensador, existindo uma corrente no circuito.

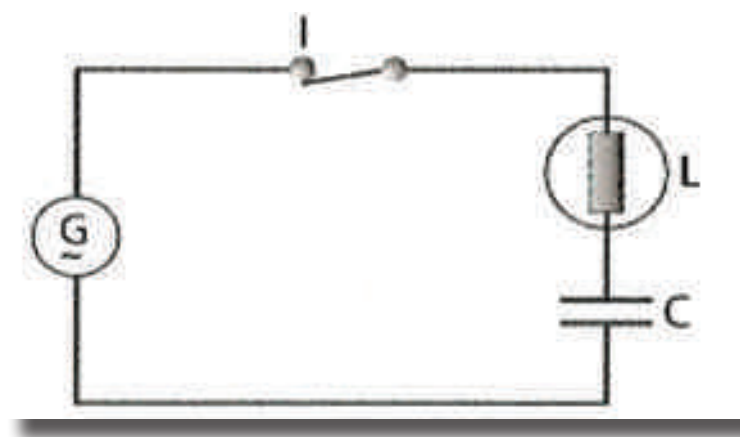


Fig. 19: Condensador alimentado a corrente alternada

De que dependerá então a intensidade de corrente num circuito capacitivo?

Verificaremos esta questão recorrendo a uma alimentação não sinusoidal. Começaremos por analisar a influência da frequência no valor da intensidade de corrente.

Pela verificação da figura 20, podemos constatar que no circuito com frequência mais elevada, o valor médio da corrente é mais elevado, pois a tensão é invertida antes que a corrente tenha tempo de atingir um baixo valor durante a carga do condensador. Para a baixa frequência, o valor médio da corrente é inferior à situação anterior, pois a corrente de carga, antes da tensão se inverter, tem tempo de atingir valores reduzidos.



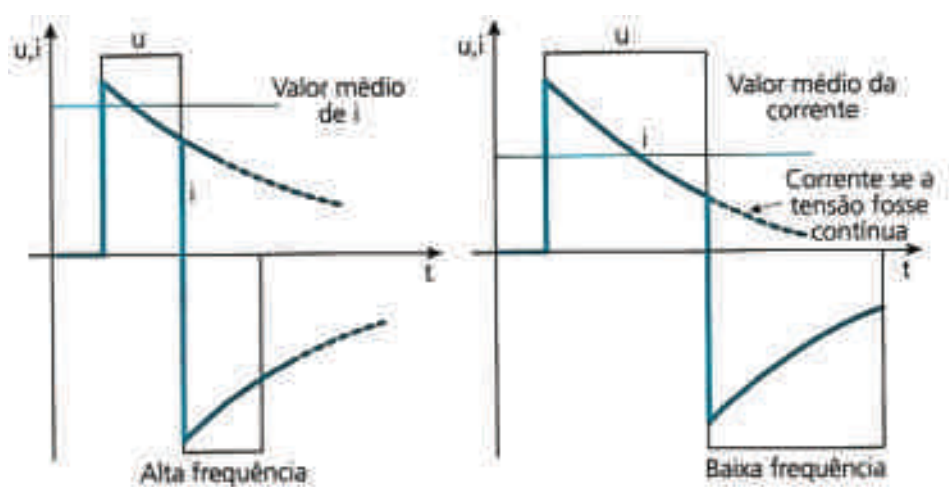


Fig. 20: Resposta de um condensador a uma onda retangular de diferentes frequências

Deste modo, e para determinada capacidade, a corrente média no circuito será tanto maior quanto maior for a frequência da tensão aplicada.

Verifiquemos agora a influência da capacidade no valor da intensidade de corrente. Os dois condensadores devem possuir a mesma resistência. De modo análogo, a carga adquirida não chega a carregar o condensador, mantendo-se a corrente com valores elevados quando se dá a inversão de polaridade da tensão aplicada.

O valor médio de corrente será tanto maior quanto maior for o valor da capacidade do condensador.

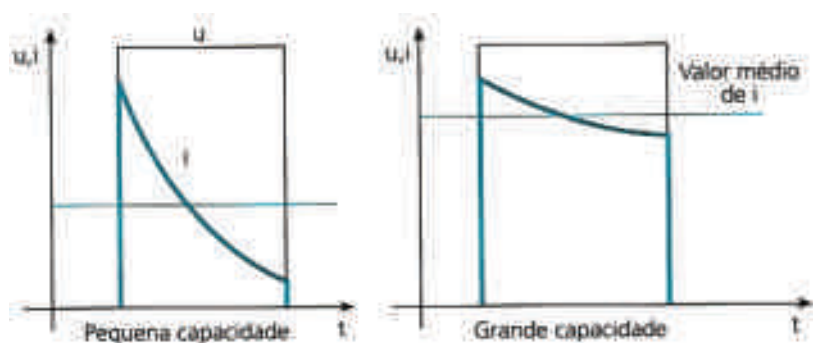


Fig. 21: Valor da corrente num circuito com condensadores de diferentes capacidades

Assim sendo, a corrente será tanto maior quanto for a frequência, a capacidade e a tensão aplicada.



Sendo a oposição à circulação de corrente a reactância capacitiva X_c , segundo a lei de ohm:

$$U = X_c \cdot I$$

Sendo o valor de X_c dado por:

$$X_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

Com:

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

Temos:

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

Em que:

X_c – reactância capacitiva - Ohm (Ω)

f - frequência - Hertz (HZ)

C - Capacidade - Farad (F)

ω - Velocidade angular - Radiano por segundo (rad/s)

Ao iniciar a carga de um condensador, a diferença de potencial nos seus terminais é zero, tendo, ao contrário, a corrente o seu valor máximo. À medida que a carga vai aumentando, aumenta a tensão nos seus terminais, diminuindo consequentemente a corrente, até se anular, o que sucede quando a d.d.p. aos terminais do condensador atinge o máximo valor.

Na descarga, as curvas decrescem simultaneamente. No instante em que se inicia a descarga, a tensão parte do seu máximo positivo e a corrente do seu mínimo valor (zero). O condensador descarrega-se quando as armaduras têm igual número de eletrões, atingindo nesta altura a corrente o seu máximo negativo.

A tensão atinge o zero, enquanto a corrente já o havia atingido 90° antes. A corrente está avançada 90° em relação à tensão.



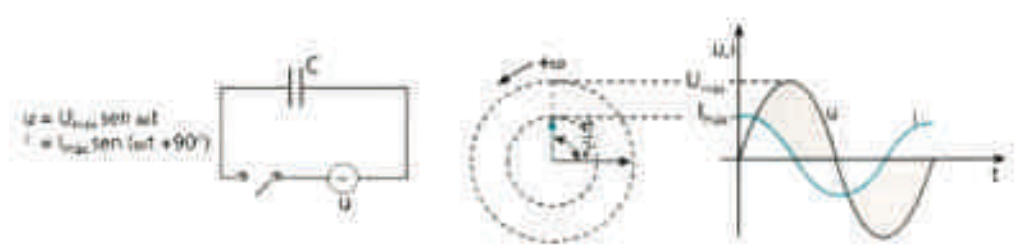


Fig. 22: Circuito puramente capacitivo e representação algébrica, vetorial e cartesiana da tensão aplicada e da corrente que o percorre

Exercício:

1. Calcule a reactância de um condensador de capacidade $1\mu\text{F}$, quando ligado num circuito à frequência de:
 - a. 100 Hz
 - b. 5000 Hz
2. Que corrente fluiria no circuito em cada um dos casos, se a tensão fosse de 10 V?



Circuitos RL

Será um circuito constituído por uma bobina real que é equivalente a uma bobina pura (ideal) em série com uma resistência.



Fig. 23: Bobina real e circuito equivalente

Vejamos como relacionar a tensão com a corrente num circuito em série RL.

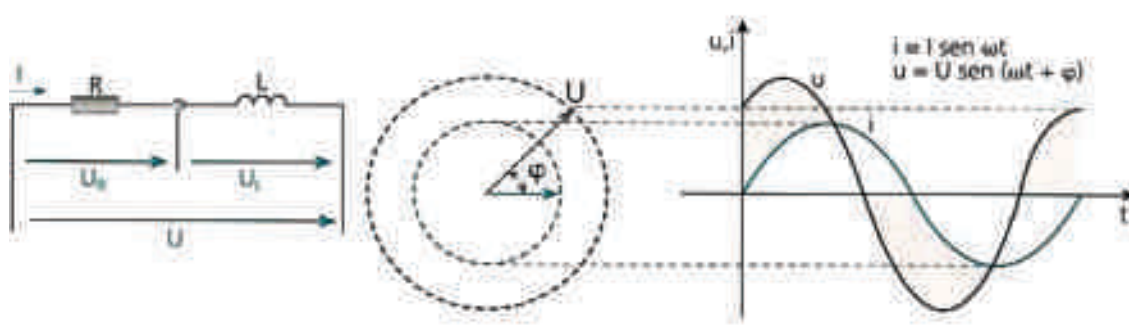


Fig. 24: Representação da tensão e corrente num circuito série RL

Para determinarmos o ângulo do desfasamento, marcam-se as tensões U_R e U_L , tomando por referência a grandeza comum que é a corrente (trata-se de um circuito em série, logo a intensidade da corrente é constante ao longo do circuito). Sendo $U_R = R \cdot I$ e $U_L = X_L \cdot I$, resultará o diagrama vetorial da figura seguinte, onde U_R e U_L estão em quadratura, e que após serem adicionados originarão a tensão U . Por aplicação do teorema de Pitágoras teremos:

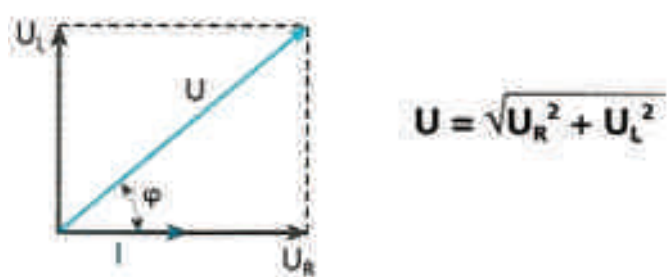


Fig. 25: Diagrama vetorial das tensões e corrente num circuito RL



Do triângulo das tensões podemos obter, dividindo por I ($Z = U / I$) o triângulo das impedâncias:



Fig. 26: Triângulo das tensões e das impedâncias

Poderemos através do triângulo calcular o ângulo de defasamento ϕ :

$$\cos \phi = \text{cateto adjacente} / \text{hipotenusa} \Rightarrow \cos \phi = R / Z \text{ ou de outra forma: } R = Z \cos \phi$$

$$\sin \phi = \text{cateto oposto} / \text{hipotenusa} \Rightarrow \sin \phi = X_L / Z \text{ ou de outra forma: } X_L = Z \sin \phi$$

Exercício:

Uma bobina de indutância 0.1 H e resistência 80 Ω é ligada a uma fonte de alimentação de 100 V, 600 Hz. Calcular a impedância do circuito e a corrente fornecida pela fonte. Qual o defasamento entre a tensão e a corrente total?



Circuitos RC

Trata-se de um circuito constituído por um condensador real que é equivalente à série de um condensador ideal e de uma resistência.



Fig. 27: Condensador real e circuito equivalente

De igual modo iremos representar e verificar como se determina o ângulo de desfasamento que neste caso será um ângulo negativo.

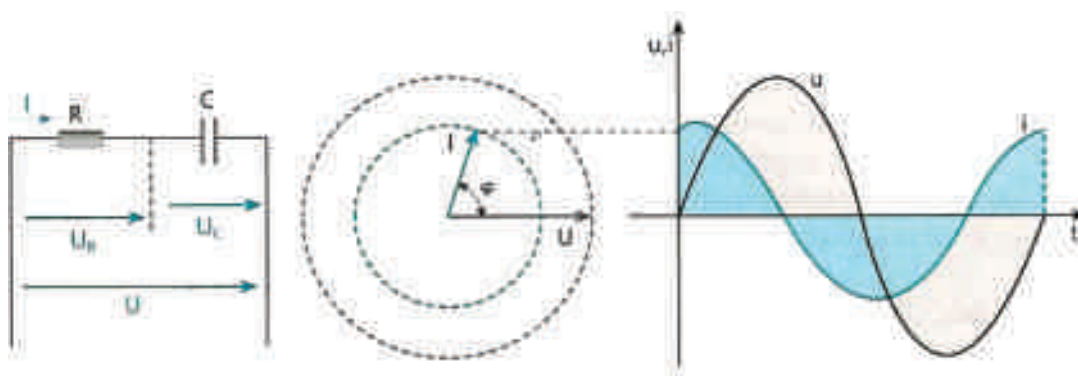


Fig. 28: Representação da tensão e corrente num circuito em série RC

Marcando a tensão na resistência, em fase com a intensidade I , e a tensão no condensador em quadratura e em atraso com I , obteremos o triângulo das tensões depois de, vectorialmente, estas serem somadas.

Sendo: $U_R = R \cdot I$ e $U_C = X_C \cdot I$



Temos:

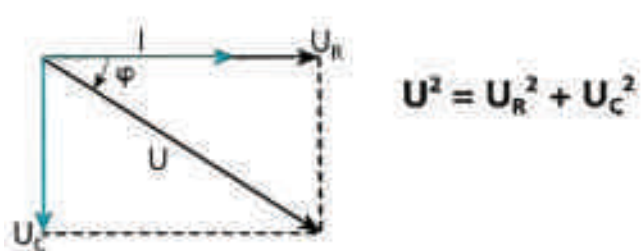


Fig. 29: Diagrama vetorial das tensões e corrente num circuito RC

Se dividirmos o triângulo então obtido pela intensidade teremos o triângulo das impedâncias.

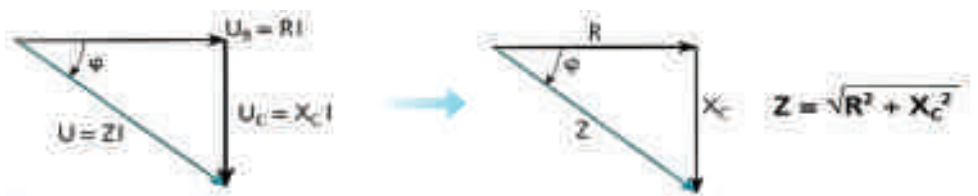


Fig. 30: Triângulo das tensões e das impedâncias

Poderemos, através do triângulo, calcular o ângulo de desfasamento ϕ :

$\cos \phi = \text{cateto adjacente} / \text{hipotenusa} \Rightarrow \cos \phi = R / Z$ ou de outra forma: $R = Z \cos \phi$

$\sin \phi = \text{cateto oposto} / \text{hipotenusa} \Rightarrow \sin \phi = X_C / Z$ ou de outra forma: $X_C = Z \sin \phi$

Exercício:

1. Liga-se uma resistência de $40 \, \Omega$ em série com um condensador de $50 \, \mu\text{F}$, ambos alimentados por $110 \, \text{V}$. Se a corrente no circuito for de $2 \, \text{A}$, qual a frequência da fonte de alimentação?
2. Qual a tensão no condensador e na resistência?



Circuitos RLC

Teremos agora que considerar a série de uma resistência, uma bobina e um condensador considerados elementos ideais. Como já foi referido, na realidade, todos os componentes têm estes três elementos, se bem que algum ou alguns deles sejam desprezáveis. Iremos, de modo análogo, determinar o ângulo de defasamento entre a tensão, a corrente e respetiva representação vetorial. Antecipadamente, reconheça-se que $\vec{U} \neq \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$. A expressão apenas será validada quando tratarmos de grandezas vectoriais. Temos:

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$$

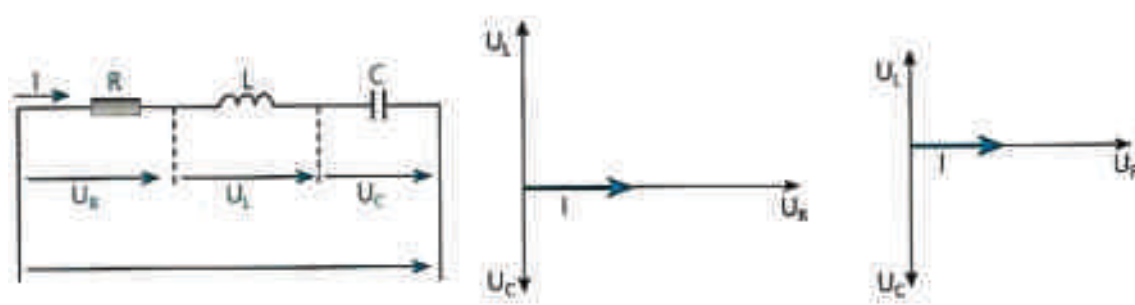


Fig. 31: Representação da tensão e corrente num circuito série RLC.

As tensões em L e C estão em quadratura com a corrente I, sendo U_L em avanço em relação I (como sabemos dos circuitos puramente indutivos a corrente está em atraso em relação à tensão) e U_C em atraso em relação a I (pois nos circuitos com condensadores ideais a corrente está avançada em relação à tensão).

- Se U_L for dominante face a U_C , teremos um circuito predominantemente indutivo.
- Se U_C for dominante face a U_L , teremos um circuito predominantemente capacitivo.
- Se U_L for igual a U_C então temos um circuito em Ressonância.

Para obtermos o vetor U teremos de proceder como anteriormente, ou seja somar vectorialmente as tensões na resistência, na bobina e no condensador. Por facilidade, efetua-se previamente a soma de $U_L + U_C$ dos vetores equipolentes aplicados à extremidade de U_R .



Circuito puramente indutivo

No circuito puramente indutivo $U_L > U_C$ logo $\varphi > 0$.

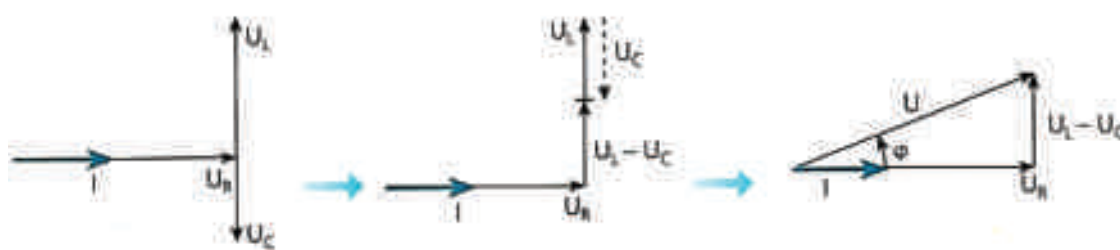


Fig. 32: Obtenção do triângulo das tensões e corrente num circuito puramente indutivo.

Circuito puramente capacitivo

No circuito puramente indutivo $U_L < U_C$ logo $\varphi < 0$.

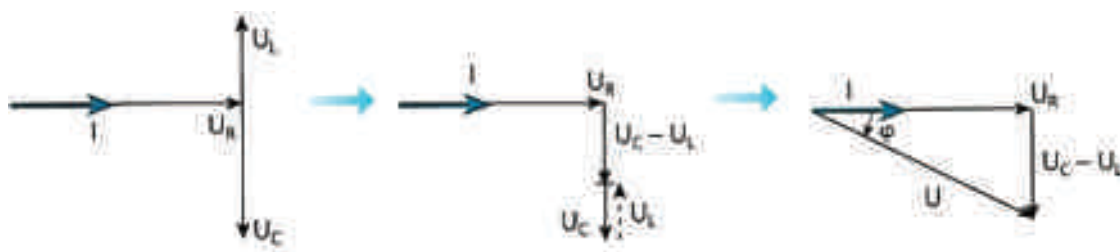


Fig. 33: Obtenção do triângulo das tensões e corrente num circuito puramente capacitivo.

Circuito puramente resistivo

No circuito puramente indutivo $U_L = U_C$ logo $\varphi = 0$, uma vez que se anulam L e C .

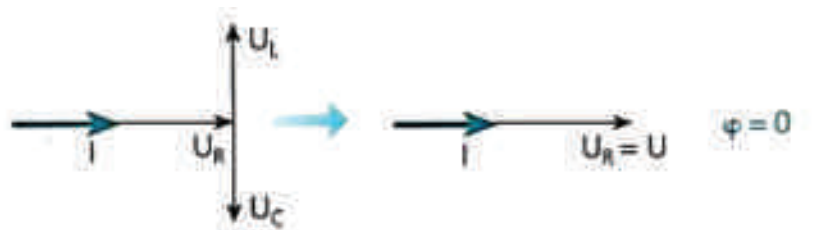


Fig. 34: Diagrama da corrente e tensões num circuito puramente resistivo.

Analogamente, como nos circuitos anteriores, teremos o triângulo das tensões e das impedâncias embora neste caso teremos dois triângulos, um para os circuitos predominantemente indutivos $\varphi > 0$, e outro para circuitos predominantemente capacitivos $\varphi < 0$.



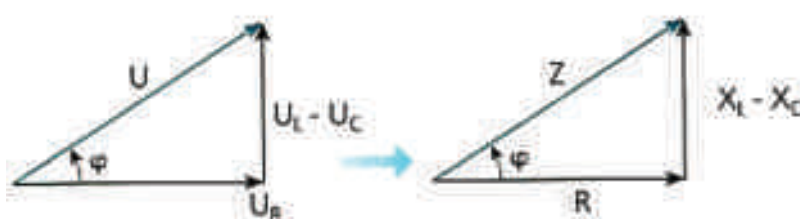


Fig. 35a: Obtenção do triângulo das impedâncias num circuito puramente indutivo

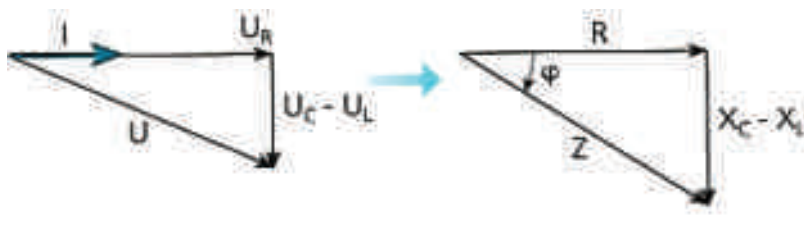


Fig. 35b: Obtenção do triângulo das impedâncias num circuito puramente capacitivo

Pela aplicação do teorema de Pitágoras obtemos:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L + X_C)^2}$$

$\cos \phi = \text{cateto adjacente} / \text{hipotenusa} \Rightarrow \cos \phi = R / Z$ ou de outra forma: $R = Z \cos \phi$

$\sin \phi = \text{cateto oposto} / \text{hipotenusa} \Rightarrow \sin \phi = X / Z$ ou de outra forma: $X = Z \sin \phi$

$\tan \phi = \text{cateto oposto} / \text{cateto adjacente} \Rightarrow \tan \phi = X / R$

Exercício:

1. Considere um circuito RLC série com $R = 100 \, \Omega$, $L = 0.5 \, \text{H}$ e $C = 10 \, \mu\text{F}$.
 - a. Determine a frequência de ressonância do circuito;
 - b. Calcule U_L e U_C para uma f.e.m. aplicada de 200 V, à frequência de ressonância.



Potência em C.A.

Considerando um circuito indutivo real, fazemos a decomposição do vetor corrente segundo os eixos, obtendo-se os vetores I_r e I_a .

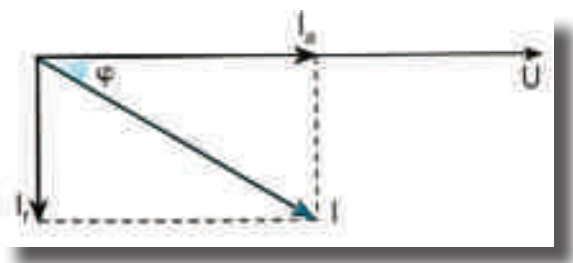


Fig. 36: Componentes ativa e reativa da corrente

O vetor I_a , designa-se por corrente ativa em fase com a tensão U , pelo que será igual a:

$$I_a = I \cos \phi$$

O vetor I_r é designado por corrente reativa, estando em quadratura com a tensão U :

$$I_r = I \sin \phi$$

Potência ativa, aparente e reativa

Potência Ativa

É a potência média igual ao produto da tensão pela componente ativa da corrente

$$P = U \cdot I_a = U \cdot I \cdot \cos \phi$$

Representa-se por P e expressa-se em Watts (W) e mede-se com o wattímetro.

É esta a potência consumida pelas resistências que vai produzir calor que nelas se liberta por efeito de Joule.



Potência Aparente

É igual ao produto de U por I:

$$S = U \cdot I$$

Representa-se por S e exprime-se em volt-ampere (VA).

É a potência dos circuitos indutivos e capacitivos. A potência ativa nestes circuitos é nula.

Potência Reativa

É o produto da tensão pela componente reativa da corrente.

$$Q = U \cdot I_r = U \cdot I \cdot \sin \phi$$

Representa-se por Q. A unidade em que é expressa é o volt-ampere reativo (VAR).

A energia oscilante num certo intervalo de tempo é medida pelos contadores de energia reativa.

As três potências relacionam-se vectorialmente, originando um triângulo, designado por triângulo das potências, que também pode ser construído por multiplicação dos lados do triângulo das tensões pela corrente I.

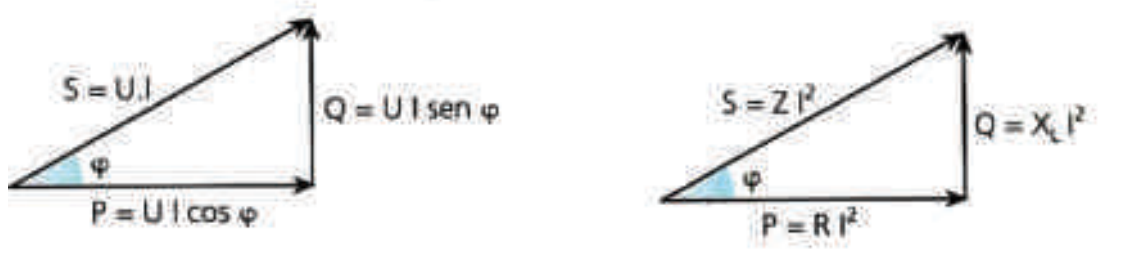


Fig. 37: Triângulo das potências num circuito RL



Fig. 38: Triângulo das potências num circuito RC



Fator de potência

Interessa relacionar a potência ativa com a máxima potência disponível para determinado valor de corrente.

$$\text{Factor de potência} = \frac{\text{Potência activa}}{\text{Potência aparente}} = \frac{P}{S}$$

Analisando os triângulos acima verifica-se que o fator de potência é o cosseno do ângulo ou seja, $\cos \varphi$.

Análise prática do fator de potência.

Nos utilizadores que dispõem de instalações com bobinas, o $\cos \varphi$ é reduzido a baixos valores, o que origina um aumento da energia reativa que, apesar de não ser consumida, corresponde a uma corrente de circulação. A corrente nos condutores não é toda aproveitada como seria desejável.

Vejamos um caso concreto:

Imaginemos duas fábricas consumindo a mesma potência de 400 kW a uma tensão de 5 KV mas com distintos fatores de potência: $\cos \varphi$ na fábrica 1 = 1 e $\cos \varphi$ na fábrica 2 = 0,5. Ao fim de igual tempo de funcionamento, os dois utilizadores terão consumido a mesma energia. Calculemos as correntes utilizadas por cada um:

$$P = U.I.\cos \phi$$

Fábrica 1:

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1.\cos \phi_1} = \frac{400}{5 \times 1} = 80 A$$

Fábrica 2:

$$I_2 = \frac{P_2}{U_2.\cos \phi_2} = \frac{400}{5 \times 0,5} = 160 A$$

A segunda instalação, para a mesma potência, precisa do dobro da intensidade de corrente da primeira. Daqui resultam consequências tanto para produtores como para consumidores. Assim, tanto produtores como distribuidores de energia terão de dispor de alternadores com potências mais elevadas para poderem fornecer a corrente, o



que provocará um dimensionamento de toda a aparelhagem, linhas de transporte e distribuição para maiores intensidades. Naturalmente existirão maiores quedas de tensão e perdas por efeito de Joule. A potência de perdas aumenta com o quadrado da intensidade de corrente. Deste modo é exigido um pagamento consoante a energia reativa que circula para o que se instalam contadores de energia reativa. A empresa fornecedora de energia estabelece que, quando a energia reativa ultrapassa 3/5 da ativa, cada Kvar excedente é pago a 1/3 do preço do KWh. Quanto aos utilizadores, também é conveniente disporem de um elevado fator de potência porque, se tal não acontecer, terão de sobre dimensionar aparelhagem de manobra e proteção, o que equivale a maiores custos.

Como resolver o problema?

A solução consiste em colocar em paralelo com o recetor um condensador que absorva uma corrente I_c de grandeza igual à componente reativa da corrente I_r de modo a anularem-se. O conjunto fica puramente ohmico, ou seja, $\cos \phi = 1$, sendo nula a potência reativa.

Quando existem vários recetores, a compensação poderá efetuar-se individualmente, por grupos ou para toda a instalação.

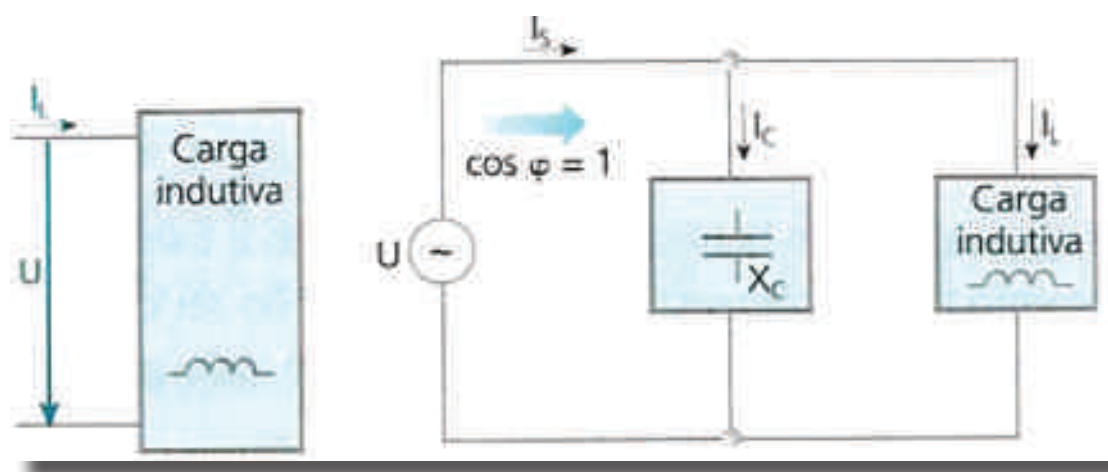


Fig. 39: Compensação do fator de potência



Exercício:

1. Dois motores M1 e M2 estão ligados em paralelo sob uma tensão de 220V, 50Hz.

Sabendo as correntes que estes absorvem e os respectivos fatores de potência:

$$I_1 = 20 \text{ A}, \cos \phi_1 = 0.8$$

$$I_2 = 30 \text{ A}, \cos \phi_2 = 0.7$$

Calcule a corrente total e o fator de potência total.

2. Considere duas fábricas que consomem a mesma potência ativa $P = 1 \text{ MW}$ com idêntica tensão $U = 10 \text{ KV}$, mas com fatores de potência diferentes: $\cos \phi_1 = 1$ e $\cos \phi_2 = 0.4$.



Introdução aos sistemas trifásicos

Comparação entre os sistemas trifásicos e os sistemas monofásicos

Apresentam-se de seguida algumas vantagens dos sistemas trifásicos em relação aos monofásicos, a nível da sua produção, transporte e utilização:

- Considerando dois alternadores, um monofásico e outro trifásico, de igual volume e preço, o segundo tem uma potência 50% superior ao primeiro, pelo facto de haver um maior aproveitamento do perímetro do estator, isto é, há mais bobinas sede de f.e.m. induzidas.
- O somatório da secção dos condutores necessários para transformar uma determinada potência é menor que nos sistemas monofásicos, em igualdade de condições de potência transportada, perdas e tensão nominal de transporte.
- Para transportar uma dada quantidade de energia bastam três (ou quatro, com neutro) fios em trifásico, enquanto em monofásico seriam necessários seis fios de igual secção (ou dois de secção tripla).
- A capacidade dos sistemas trifásicos de produzir campos magnéticos giratórios permite a utilização dos motores assíncronos trifásicos, aparelhos simples, robustos e económicos que detêm a quase totalidade do mercado em tração eléctrica industrial.
- A partir de um sistema trifásico podem obter-se três sistemas monofásicos (tal como em nossas casas).

Produção - Alternador Trifásico

Descrevemos anteriormente a produção de corrente alternada sinusoidal por meio de um alternador. Na realidade, a maior parte dos alternadores geram tensões trifásicas, isto é, tem três bobinas idênticas e independentes, dispostas simetricamente no estator, formando ângulos de 120° entre si.



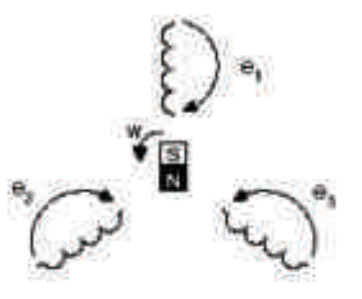


Fig. 40: Produção de três f.e.m. por meio de um alternador trifásico

Quando o rotor roda, induz-se em cada bobina uma f.e.m. alternada sinusoidal. Estas f.e.m. têm igual amplitude máxima e estão desfasadas 120° umas das outras, ou seja, $1/3$ de período.

Estas grandezas podem representar-se em termos matemáticos como:

$$e_1 = E_{m1} \cdot \text{sen}(\omega t)$$

$$e_2 = E_{m2} \cdot \text{sen}(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_3 = E_{m3} \cdot \text{sen}(\omega t - 240^\circ)$$

Estas f.e.m. (tensões) podem representar-se graficamente tal como na figura seguinte:

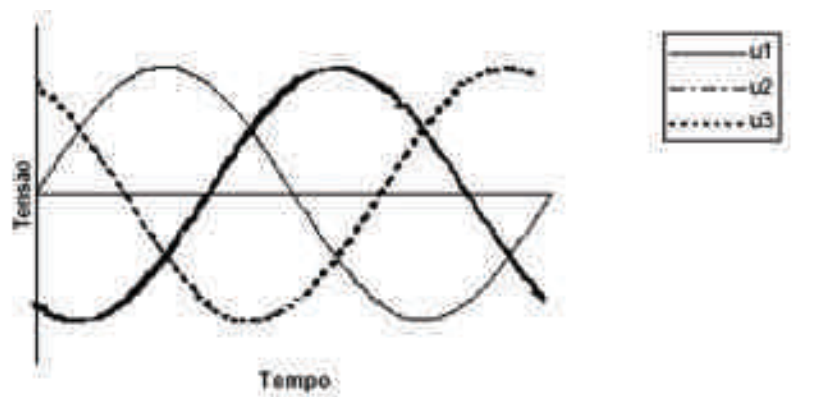


Fig. 41: Tensão num sistema trifásico

Assim, este alternador designa-se por alternador trifásico, dado que produz três tensões alternadas com fases diferentes. O alternador que apenas produz uma tensão designa-se por alternador monofásico. Tal como na corrente alternada monofásica, estas grandezas temporais podem representar-se vectorialmente.



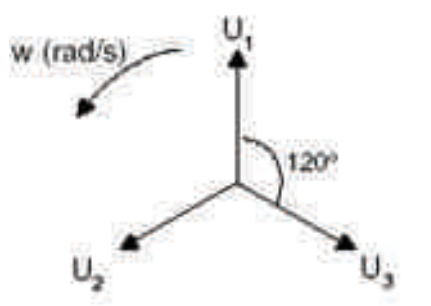


Fig. 42: Vetores tensão num sistema trifásico

Sistema Equilibrado

Consideremos as três bobinas do alternador atrás descrito, a alimentarem três recetores idênticos (resistências, neste caso), um em cada fase.

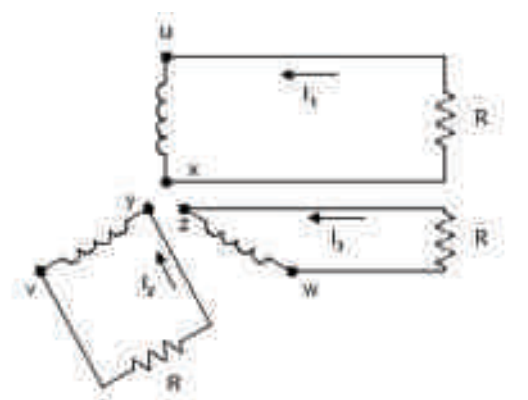


Fig. 43: Alimentação independente de três recetores idênticos

Para alimentar independentemente três recetores, é portanto necessário utilizar seis fios. Se os três recetores tiverem a mesma impedância, estes são percorridos por três correntes I_1 , I_2 e I_3 , com idêntico valor eficaz mas desfasadas 120° .

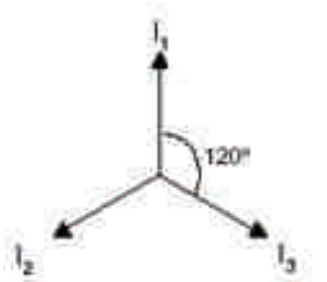


Fig. 44: Vetores de corrente num sistema trifásico equilibrado

Diz-se então que o sistema está equilibrado, pois a soma das três correntes é sempre nula (a soma de três vetores iguais e desfasados de 120° é um vetor nulo).



Condutor Neutro

Se reunirmos os três terminais x, y, z, num único ponto N, chamado de ponto neutro e substituímos os três condutores de retorno (vindos dos recetores) por um único condutor - condutor neutro (ou fio neutro), a corrente nesse condutor será nula.

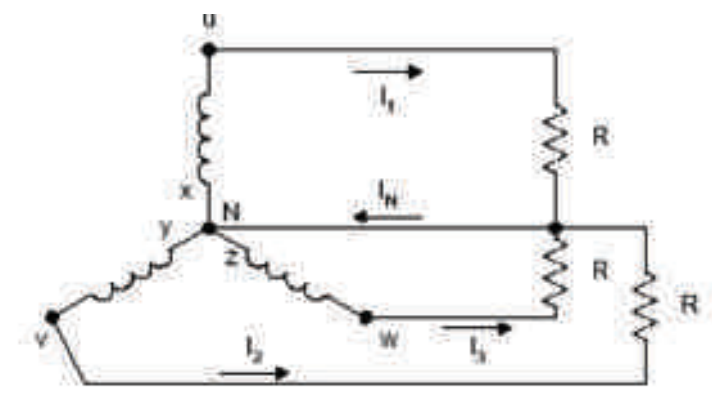


Fig. 45: Sistema equilibrado de cargas com neutro (corrente no neutro é nula)

Pode desta forma distribuir-se a energia elétrica por meio de quatro condutores, sendo três designados por condutores de fase (ativos) ou simplesmente fases, em linguagem corrente. As três fases simbolizam-se normalmente pelas letras R, S e T. O condutor de neutro está normalmente ligado à terra, pelo que se encontra no potencial zero.

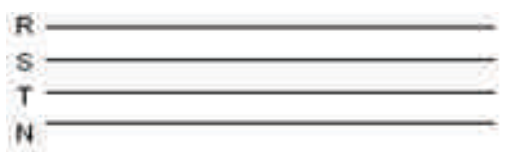


Fig. 46: Transporte de energia elétrica trifásica por meio de quatro condutores

Tensões Simples e Compostas

Num sistema trifásico existem diferentes tensões:

Tensões simples - U_s - Tensão entre cada condutor de fase e o neutro. Nas redes de distribuição de baixa tensão, aproximadamente 230 V.

Tensões compostas - U_c - Tensão entre dois condutores de fase. Nas redes de distribuição de baixa tensão, aproximadamente 400 V.



Na figura seguinte, U_{RN} é uma tensão simples e U_{ST} é uma tensão composta:

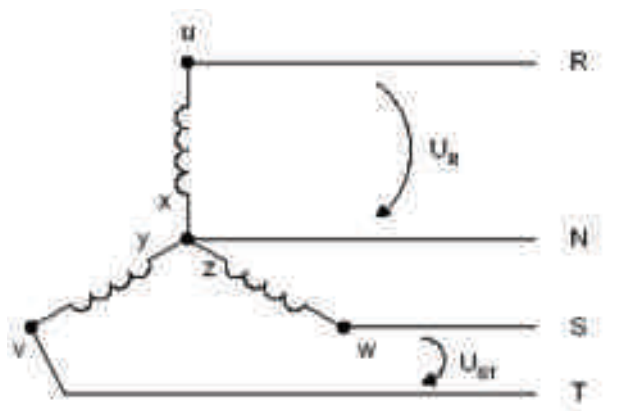


Fig. 47: Tensões simples e compostas

Temos portanto três tensões simples e três tensões compostas distintas entre si:

Tensões simples: U_R , U_S , U_T

Tensões compostas:

Tensão entre a fase R e a fase S - $U_{RS} = U_R - U_S$

Tensão entre a fase S e a fase T - $U_{ST} = U_S - U_T$

Tensão entre a fase T e a fase R - $U_{TR} = U_T - U_R$

Podemos também representar estas tensões em termos vetoriais:

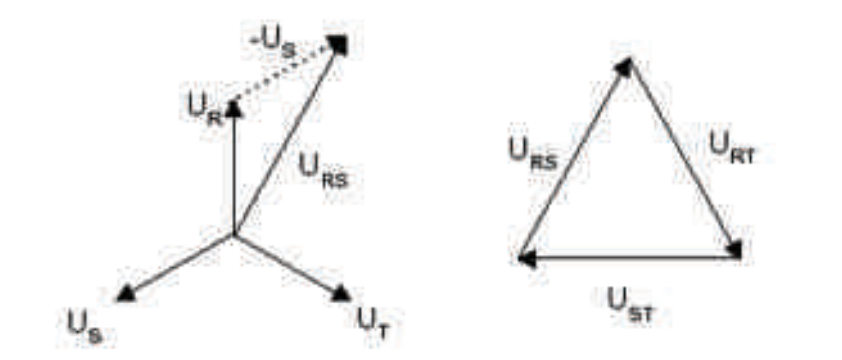


Fig. 48: Representação vetorial das tensões simples e compostas

Demonstra-se que o comprimento dos vetores das tensões compostas é $\sqrt{3}$ vezes superior ao das tensões simples, ou seja:

$$U_C = \sqrt{3} U_S$$



De facto, para as redes de distribuição de baixa tensão, temos que:

$$U_s \approx 230V \quad e \quad U_c = \sqrt{3}.230 \approx 400V$$

Nas redes de distribuição, normalmente, indicam-se as tensões do modo: 230/400 V.

Nas redes de transporte de alta e média tensão, apenas se indica o valor das tensões compostas. Assim, quando é indicado que uma linha tem tensões de 220kV ou 30kV, são os valores eficazes de tensões compostas.

Ligação de Recetores Trifásicos - Triângulo e Estrela

Os recetores trifásicos são formados por três elementos elétricos (bobinas, resistências, etc.) que podem ser ligados de duas maneiras:

- Em estrela - Y
- Em triângulo – Δ

Na ligação de recetores em estrela, já considerada atrás, poderão ocorrer dois casos:

- Os recetores têm a mesma impedância – sistema equilibrado.
- Os recetores têm impedâncias diferentes – sistema desequilibrado.

Repare-se que num sistema em estrela equilibrado, o condutor neutro é dispensável (tal como foi referido atrás), isto é ele pode ser retirado sem alterações do funcionamento dos recetores, já que a sua corrente é sempre nula. De facto, cada uma das linhas de fase faz de retorno em relação às outras duas.

Há motores trifásicos cujas bobinas estão ligadas em estrela. Assim, poder-se-ia, idealmente, alimentar o motor apenas com as três fases, dispensando-se o neutro.

No caso da estrela desequilibrada, o somatório das correntes nas fases não é nulo, sendo indispensável a ligação no condutor de neutro. Mesmo nos casos em que a estrela é normalmente equilibrada, não se deve cortar o neutro, dado que se faltar uma fase (por corte de um dispositivo de proteção, por exemplo) estabelece-se um desequilíbrio de tensões. Um exemplo de um recetor trifásico desequilibrado e ligado em estrela é o fogão elétrico. Estes têm diversas resistências para o forno e para os discos. Estas resistências estão distribuídas pelas três fases, mas não têm todas o mesmo valor de



resistência. Além disso, não estão sempre todas ligadas simultaneamente, pelo que é necessário levar o condutor de neutro ao aparelho. Assim, além dos três condutores de fase, temos ainda o condutor de neutro e o condutor de terra.

Saliente-se ainda que se pretende equilibrar ao máximo os sistemas trifásicos, de modo a que a corrente no condutor neutro seja o menor possível. Uma menor corrente no neutro tem a vantagem de permitir utilização de um condutor de menor secção, para as mesmas perdas energéticas. É por isso que o condutor neutro é normalmente mais fino que os condutores de fase (caso das linhas de transporte de energia elétrica com neutro).

Na ligação de recetores em triângulo, os recetores estão ligados entre as fases, tal como mostra a figura seguinte, para o caso de resistências:

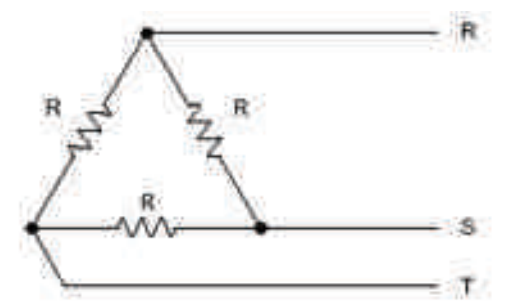


Fig. 49: Ligação de recetores em triângulo

Tal como na ligação de recetores em estrela, na ligação em triângulo poderão ocorrer dois casos:

- Os recetores têm a mesma impedância - sistema equilibrado.
- Os recetores têm a impedâncias diferentes - sistema desequilibrado.

A corrente num recetor (de fase) pode ser calculada dividindo a tensão composta aos seus terminais pela sua impedância. As correntes de linha podem ser determinadas de duas maneiras, consoante o sistema está equilibrado ou não:

- Sistema equilibrado - as correntes nas linhas (R, S, T) são $\sqrt{3}$ vezes superiores às correntes nos receptores (correntes de fase).
- Sistema desequilibrado - as correntes nas linhas são determinados em termos vetoriais, através da aplicação da Lei dos Nós de Kirchhoff aos três nós.

Como conclusão pode dizer-se que nas montagens em estrela com neutro e em triângulo os recetores (monofásicos) funcionam independentemente uns dos outros.



Cálculo de Potência dos Sistemas Trifásicos

Quer a carga seja equilibrada ou não, podem calcular-se (medir-se) as potências consumidas em cada fase. Assim, somam-se as potências ativas aritmeticamente de forma a obter a potência total:

$$P = P_R + P_S + P_T$$

As potências reativas têm de se somar algebricamente (tendo em conta se são indutivas ou (capacitivas)).

$$Q = Q_R + Q_S + Q_T$$

No caso de sistemas equilibrados (triângulo ou estrela), podem utilizar-se as fórmulas que seguidamente se apresentam:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_c \cdot I_L \cdot \cos \phi \text{ que corresponde á potência ativa.}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_c \cdot I_L \cdot \sin \phi \text{ que corresponde á potência reativa.}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U_c \cdot I_L \text{ que corresponde á potência aparente.}$$

em que:

U_c - Tensão composta (entre duas fases)

I_L - Corrente nas linhas

Exercícios:

- Os elementos aquecedores de um forno, ligados em triângulo, absorvem uma corrente nas linhas de 20 A. Determine:
 - A potência do forno sabendo que a tensão na rede é 230/400 V.
 - A intensidade que percorre cada elemento.
- Um motor trifásico tem as seguintes características nominais indicadas na chapa:

Potência útil - 15 Cv

Tensão - 400 V

Fator de potência - 0.75

Intensidade na linha - 24 A



Determine o rendimento do motor.

3. Três resistências de 23 W estão ligadas numa rede trifásica de 230/400 V. Calcule a potência absorvida quando estão ligadas em estrela e em triângulo.



Estudo de Equipamentos de Medida e Teste

História do osciloscópio

Os tubos de raios catódicos foram inventados nos finais do século XIX com o fim de estudar a física dos elétrons.

Em 1897, Karl Ferdinand Braun, criou o primeiro osciloscópio com tubo de raios catódicos aplicando um sinal de tensão em placas de deflexão num tubo com um ecrã de fósforo. Baseando-se no mesmo princípio explicado acima, as placas de deflexão produziram no ecrã o gráfico da onda elétrica.

Mais tarde, em 1930, a companhia britânica A. C. Cossor inventou o primeiro osciloscópio de amostragem dupla que foi muito usado durante a segunda guerra mundial no desenvolvimento de radares.

Osciloscópio

O osciloscópio é um aparelho destinado à visualização e caracterização de sinais elétricos, em particular tensões elétricas (ou diferenças de potencial). Estes sinais podem ser contínuos ou alternados no tempo. Existem osciloscópios analógicos e osciloscópios digitais.

Como muitas grandezas físicas são medidas através de um sinal elétrico, e que o osciloscópio é um instrumento muito sensível à tensão, permite obter os valores instantâneos de sinais elétricos rápidos, a medição de tensões e correntes elétricas, e ainda frequências e diferenças de fase de oscilações.

Por tudo isto, este é um aparelho muito utilizado por cientistas, médicos, mecânicos, etc.



Osciloscópio Analógico

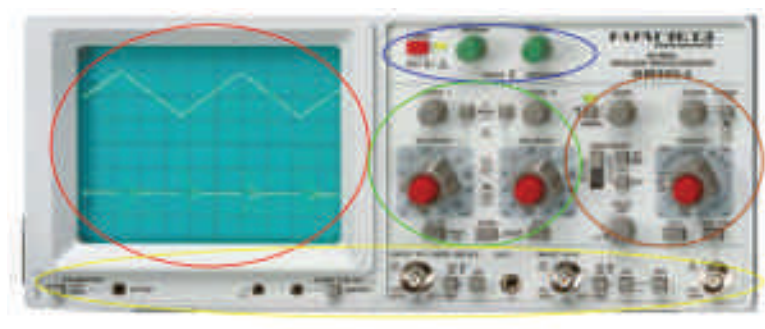


Fig.50: Exemplo de um osciloscópio Analógico

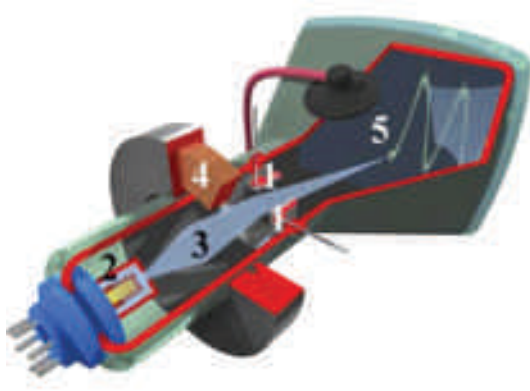
O osciloscópio permite observar num monitor uma diferença de potencial (ddp), ou tensão elétrica, em função do tempo, ou em função de uma outra d.d.p. O elemento sensor é um feixe de eletrões que, devido ao baixo valor da sua massa e por serem partículas carregadas eletricamente, podem ser facilmente aceleradas e deflectidas pela ação de um campo elétrico ou magnético.

A diferença de potencial é lida a partir da posição de uma mancha luminosa numa tela retangular graduada. A mancha resulta do impacto do feixe de eletrões num alvo revestido de um material fluorescente.

O painel frontal de um osciloscópio típico (Figura 50) engloba o ecrã (assinalado a vermelho) e um conjunto de comandos divididos em grupos, organizados segundo a sua funcionalidade. Existe um grupo de comandos para o controlo do eixo dos YY (amplitude do sinal, a verde), outro para o controlo do eixo dos XX (tempo, a castanho) e outro ainda para controlar os parâmetros do ecrã (indicados a azul). Existe também um conjunto de terminais de entrada e saída de sinais (amarelo).

O funcionamento interno do osciloscópio é, no entanto, mais complexo



**Legenda:**

- 1 – Eléctrodos que desviam o feixe
- 2 – Cátodo de electrões
- 3 – Feixe de electrões
- 4 – Bobina que converge o feixe
- 5 – Face interior do ecrã coberta por material fluorescente

Fig.51: Tubo de Raios catódicos

Os raios catódicos são feixes de eletrões (3) emitidos por um cátodo (eléctrodo, fonte primária de eletrões).

Este cátodo (2) encontra-se num tubo que contém um gás a baixa pressão e no qual os eletrões, emitidos pelo cátodo, são acelerados por um campo elétrico. Este tubo tem o nome de tubo catódico, ou tubo de raios catódicos.

Este feixe de eletrões (3) é orientado magneticamente pela bobina (4), que converge o feixe para as placas eletrónicas ou deflectoras (1), cuja função é absorver a maior quantidade possível de eletrões emitidos pelo cátodo.

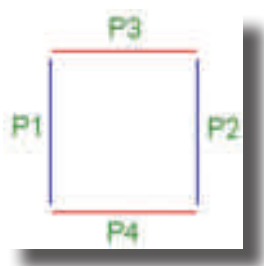


Fig.52: Exemplo de um Tubo de Raios catódicos

A trajetória do feixe eletrónico é agora retilínea. Para se ter a possibilidade de registar fenómenos variáveis no tempo, o feixe terá de se deslocar de modo a criar uma imagem do fenómeno a observar.



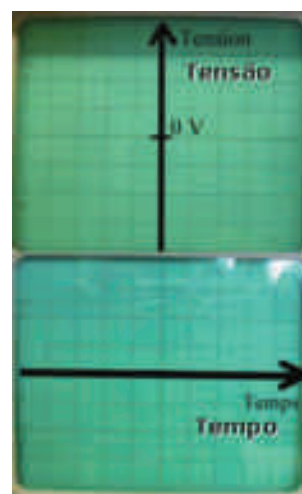
Isso consegue-se através das placas deflectoras que, graças ao seu campo elétrico, “obrigam” o feixe a atravessar uma região do espaço.



Imaginemos que temos então um feixe de eletrões (materializado por um único ponto no ecrã) que, depois de ter sido convergido pela bobina, passa entre as 4 placas eletrónicas. Se aplicarmos uma tensão (ou diferença de potencial) variável entre as placas P3 e P4 (perpendiculares às outras duas), o nosso feixe será desviado para cima ou para baixo, dependendo da polaridade da tensão. Se P3 é mais positivo que P4, o desvio será feito para cima; se for o inverso, o desvio será feito para baixo. Podemos repetir a operação para P1 e P2; segundo a polaridade da tensão o feixe dirigirá-se para a direita ou para a esquerda. Uma tensão fraca provoca um pequeno desvio e uma tensão excessiva fará desaparecer o ponto do ecrã; a intensidade do feixe é mantida constante.

Normalmente, a deflexão horizontal (resultante da aplicação de uma tensão nas placas verticais P1 e P2) é proporcional ao tempo e a deflexão vertical (resultante da aplicação de uma tensão nas placas P3 e P4) é proporcional à tensão.

O ecrã é a etapa final de todo processo executado pelo osciloscópio, pois é nele que se visualizam as imagens que serão posteriormente analisadas. O material utilizado é o vidro, e a sua face interior (5) é revestida por um material fluorescente, como o fósforo ou o sulfato de zinco, que ao receberem o impacto do feixe de eletrões, emitem luz. Neste caso, o eixo vertical (YY) representa a amplitude do sinal (tensão) e o eixo horizontal (XX) representa o tempo.



Osciloscópio digital

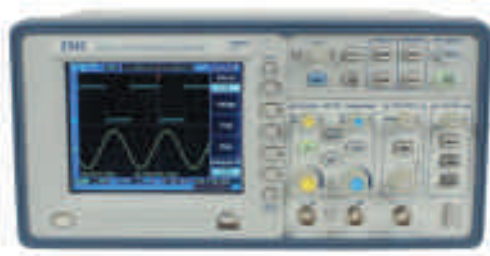


Fig.53: Exemplo de um osciloscópio Digital

A tensão de entrada (sinal elétrico/analógico) é digitalizada (convertido para números) por um conversor analógico-digital. A capacidade do aparelho de traçar um sinal de frequência elevada sem distorção depende da qualidade deste conversor. O sinal digital é agora utilizado para criar um conjunto de informações que é armazenado na memória de um microprocessador. O conjunto de informações é processado e então enviado para o ecrã. Nos osciloscópios analógicos, isto dá-se através de um tubo de raios catódicos; porém, nos osciloscópios digitais, pode também ser através de um ecrã LCD. Osciloscópios com um ecrã LCD colorido são comuns.

O osciloscópio digital substitui o método utilizado no osciloscópio de armazenamento analógico por uma memória digital, que é capaz de armazenar as informações por quanto tempo forem necessárias sem degradação. Está também equipado com filtros que, aplicados ao sinal digital, permitem aumentar a visibilidade de detalhes. O próprio *software* de análise de sinal pode extrair muitas características úteis como a frequência, o comprimento de onda e a amplitude, espectros de frequência, histogramas e estatísticas, mapas de persistência, e um grande número de parâmetros úteis para qualquer utilizador de um osciloscópio.

Os osciloscópios digitais têm esta função que pode revelar-se útil para responder à questão mais abaixo: permitir a visualização de duas ondas em simultâneo, facilitando assim a comparação de dois sinais diferentes.



Gerador de Frequência/Funções

No trabalho de manutenção, o técnico enfrenta situações em que é preciso usar equipamentos que o ajudem a descobrir e a corrigir defeitos em circuitos eletrônicos. O gerador de funções é um destes equipamentos.

O gerador de funções é utilizado para calibrar e reparar circuitos eletrônicos. É um equipamento que fornece tensões elétricas com diversas formas de onda chamadas de sinais elétricos, com amplitudes e frequências variáveis.

As características fundamentais dos geradores de funções são:

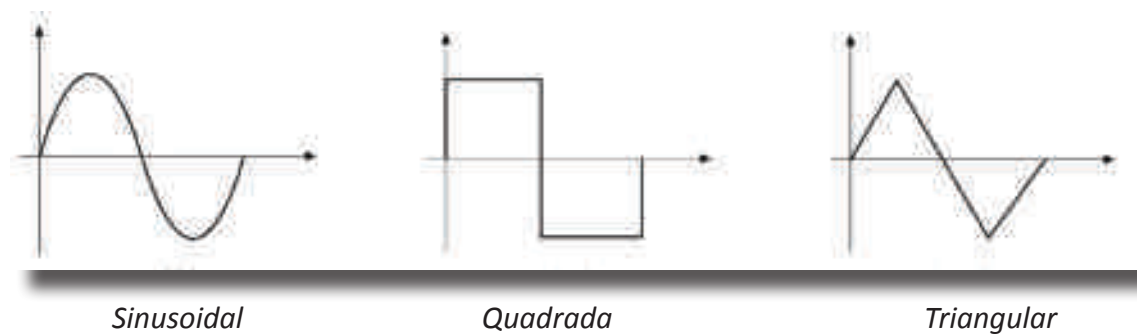


Fig.54: Exemplo de um Gerador de Frequências

- Tipos de sinais fornecidos;
- Faixa de frequência;
- Tensão máxima de pico-a-pico na saída;
- Impedância de saída (ou resistência de saída).

O uso deste instrumento está muitas vezes ligado à utilização do osciloscópio, com o qual se pode verificar as suas formas de onda, frequência e amplitude do sinal.

Tipos de sinais fornecidos



Os sinais variam de modelo para modelo. Os tipos de sinais mais comuns, fornecidos pelo gerador, têm os que se apresentam as formas de ondas: sinusoidal, quadrada e triangular.

Faixa de frequência

Dependendo da marca e do modelo, o gerador de funções fornece sinais numa frequência que vai de 1 Hz a vários MHz. Os manuais dos fabricantes informam a faixa de frequência que o equipamento pode fornecer. Por exemplo, de 1Hz a 20 kHz.

Dispositivos de controlo

O painel do gerador de sinal tem uma série de dispositivos de controlo que servem para ajustar o equipamento de acordo com o trabalho a realizar. Observe na figura seguinte um modelo de gerador de funções, com o painel de controlo em destaque.



A figura acima pode não corresponder ao gerador de funções encontrado em laboratório, mas os dispositivos de controlo apresentados na figura também estão presentes na maioria dos equipamentos do laboratório de Eletricidade Geral e Eletrónica Básica.

No gerador de funções são comuns os seguintes dispositivos de controlo:

1. Interruptor liga-desliga (ON/OFF) que serve para ligar e desligar o equipamento;
2. Comutador de sinal ou função que seleciona a forma de onda do sinal de saída;
3. Comutador de frequência ou multiplicador, presente em geradores que fornecem valores de frequência numa grande amplitude, por exemplo, de 10Hz a 100kHz. Esse comutador possui diversas posições, permitindo escolher a banda de frequência desejada como, por exemplo, de 100 Hz a 1000 Hz;



4. Controlo de frequência fornecida ou DIAL: é um controle acoplado a uma escala que permite estabelecer o ajuste da frequência do sinal fornecido pelo gerador dentro dos limites definidos pelo comutador da banda de operação. O valor indicado no dial deve ser multiplicado pela banda de frequência previamente ajustada pelo comutador de banda de frequência;
5. Controlo de nível de saída ou amplitude: serve para ajustar a amplitude (pico-a-pico) do sinal de saída.



Bibliografia

ÀGUAS, Mário; BALDAIA, Rogério; PEREIRA, A., Silva, *Electricidade*, 10o Ano. Porto: Porto Editora, 2000.

MATIAS, José, *Electricidade* 1. Lisboa: Didáctica Editora, 1997.

MATIAS, José, *Electrotecnia*. Lisboa: Didáctica Editora, 1992.

MATIAS, José, *Guia de Laboratório de Electricidade*. Lisboa: Didáctica Editora, 1993.

MATIAS, José, *Tecnologias da Electricidade*, vol. 1 e 2. Lisboa: Didáctica Editora, 2001.

PADILHA, António, *Electrónica Analógica*. Lisboa: McGraw-Hil, 1993.

PEREIRA, A., Silva, *Electricidade*, 10o Ano. Porto: Porto Editora, 2004.

PINTO, António; ALVES, Vítor, *Práticas Oficiais e Laboratoriais*, 10o Ano. Porto, Porto Editora, 2002.

PINTO, António; ALVES, Vítor, *Tecnologias*, 10o Ano. Porto: Porto Editora, 2003.

ROSEIRA, António; SILVA, Fernandes da, *Electrotecnia: Corrente Alternada*, 10o e 11o Anos. Porto: Porto Editora, 1992.

