

Material de Apoio

Capítulo 1

Fundamentos da Eletricidade

Matéria

O estudo da matéria e sua composição é fundamental para a compreensão da teoria eletrônica. Por isso, neste capítulo estudaremos o arranjo físico das partículas que compõem o átomo e a maneira como essas partículas se comportam. Isso facilitará muito o estudo dos fenômenos que produzem a eletricidade.

Composição da matéria

Matéria é tudo aquilo que nos cerca e que ocupa um lugar no espaço. Ela se apresenta em porções limitadas que recebem o nome de corpos. Estes podem ser **simples** ou **compostos**.

Observação

Existem coisas com as quais temos contato na vida diária que não ocupam lugar no espaço, não sendo, portanto, matéria. Exemplos desses fenômenos são o som, o calor e a eletricidade.

Corpos simples são aqueles formados por um único átomo. São também chamados de elementos. O ouro, o cobre, o hidrogênio são exemplos de elementos.

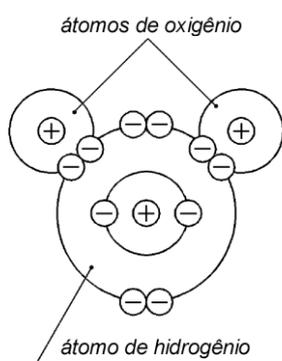
Corpos compostos são aqueles formados por uma combinação de dois ou mais elementos. São exemplos de corpos compostos o cloreto de sódio (ou sal de cozinha) que é formado pela combinação de cloro e sódio, e a água, formada pela combinação de oxigênio e hidrogênio.

A matéria e, conseqüentemente, os corpos compõem-se de **moléculas** e **átomos**.

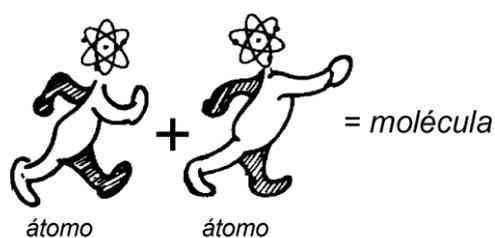
Molécula

Molécula é a menor partícula em que se pode dividir uma substância de modo que ela mantenha as mesmas características da substância que a originou.

Tomemos como exemplo uma gota de água: se ela for dividida continuamente, tornar-se-á cada vez menor, até chegarmos à menor partícula que conserva as características da água, ou seja, a **molécula de água**. Veja, na ilustração a seguir, a representação de uma molécula de água.



As moléculas se formam porque, na natureza, todos os elementos que compõem a matéria tendem a procurar um equilíbrio elétrico.



Átomo

Os animais, as plantas, as rochas, as águas dos rios, lagos e oceanos e tudo o que nos cerca é composto de **átomos**.

O átomo é a **menor** partícula em que se pode dividir um elemento e que, ainda assim, conserva as propriedades físicas e químicas desse elemento.

Observação

Os átomos são tão pequenos que, se forem colocados 100 milhões deles um ao lado do outro, formarão uma reta de apenas 10 mm de comprimento.

O átomo é formado de numerosas partículas. Todavia, estudaremos somente aquelas que mais interessam à teoria eletrônica.

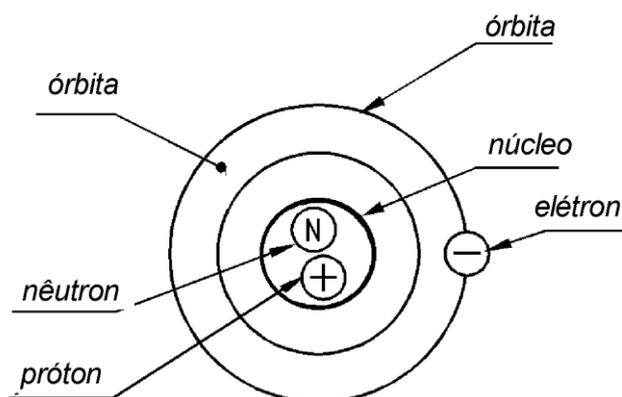
Existem átomos de materiais como o cobre, o alumínio, o neônio, o xenônio, por exemplo, que já apresentam o equilíbrio elétrico, não precisando juntar-se a outros átomos. Esses átomos, sozinhos, são considerados moléculas também.

Constituição do átomo

O átomo é formado por uma parte central chamada **núcleo** e uma parte periférica formada pelos **elétrons** e denominada **eletrosfera**.

O núcleo é constituído por dois tipos de partículas: os **prótons**, com carga **positiva**, e os **nêutrons**, que são eletricamente neutros.

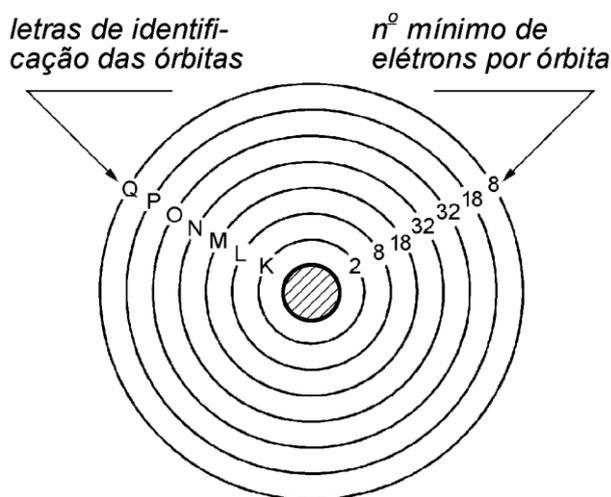
Veja a representação esquemática de um átomo na ilustração a seguir.



Os prótons, juntamente com os nêutrons, são os responsáveis pela parte mais pesada do átomo.

Os elétrons possuem carga **negativa**. Como os planetas do sistema solar, eles giram na eletrosfera ao redor do núcleo, descrevendo trajetórias que se chamam **órbitas**.

Na eletrosfera os elétrons estão distribuídos em camadas ou níveis energéticos. De acordo com o número de elétrons, ela pode apresentar de 1 a 7 níveis energéticos, denominados K, L, M, N, O, P e Q.



Os átomos podem ter uma ou várias órbitas, dependendo do seu número de elétrons. Cada órbita contém um número específico de elétrons.

A distribuição dos elétrons nas diversas camadas obedece a regras definidas. A regra mais importante para a área eletroeletrônica refere-se ao nível energético mais distante do núcleo, ou seja, a camada externa: o número **máximo** de elétrons nessa camada é de oito elétrons.

Os elétrons da órbita externa são chamados elétrons livres, pois têm uma certa facilidade de se desprenderem de seus átomos. Todas as reações químicas e elétricas acontecem nessa camada externa, chamada de **nível** ou **camada de valência**.

A teoria eletrônica estuda o átomo só no aspecto da sua eletrosfera, ou seja, sua região periférica ou orbital.

Íons

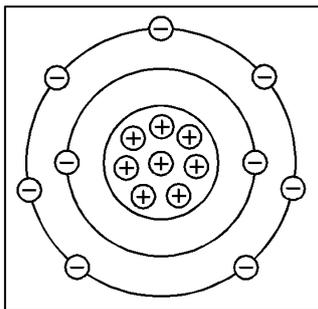
No seu estado natural, o átomo possui o número de prótons igual ao número de elétrons. Nessa condição, dizemos que o átomo está **em equilíbrio** ou **eletricamente neutro**.

O átomo está em **desequilíbrio** quando tem o número de elétrons **maior** ou **menor** que o número de prótons. Esse **desequilíbrio** é causado sempre por forças externas que podem ser **magnéticas**, **térmicas** ou **químicas**.

O átomo em **desequilíbrio** é chamado de **íon**. O íon pode ser negativo ou positivo.

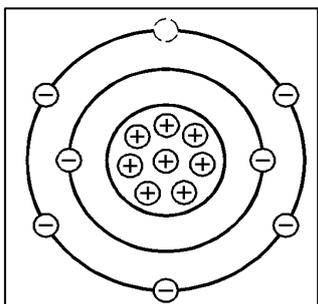
Os **íons negativos** são os **ânions** e os **íons positivos** são os **cátions**.

Íons negativos, ou seja, ânions, são átomos que **receberam** elétrons.



$$\begin{array}{r} \text{Prótons} = +8 \\ \text{Elétrons} = -9 \\ \hline \text{Resultado} = -1 \end{array}$$

Íons positivos, ou seja, cátions, são átomos que **perderam** elétrons.



$$\begin{array}{r} \text{Prótons} = +8 \\ \text{Elétrons} = -7 \\ \hline \text{Resultado} = +1 \end{array}$$

A transformação de um átomo em íon ocorre devido a forças externas ao próprio átomo. Uma vez cessada a causa externa que originou o íon, a tendência natural do átomo é atingir o equilíbrio elétrico. Para atingir esse equilíbrio, ele cede elétrons que estão em excesso ou recupera os elétrons em falta.

Fundamentos da eletrostática

Quando ligamos um aparelho de televisão, rádio ou máquina de calcular, estamos utilizando eletricidade e, como vimos no capítulo anterior, a eletricidade é uma forma de energia que está presente em tudo o que existe na natureza.

Para compreender o que são os fenômenos elétricos e suas aplicações, neste capítulo estudaremos o que é eletricidade estática; o que é tensão, suas unidades de medida e as fontes geradoras de tensão.

Para estudar este capítulo com mais facilidade, você deve ter bons conhecimentos anteriores sobre o comportamento do átomo e suas partículas.

Tipos de eletricidade

A eletricidade é uma forma de energia que faz parte da constituição da matéria. Existe, portanto, em todos os corpos.

O estudo da eletricidade é organizado em dois campos: a **eletrostática** e a **eletrodinâmica**.

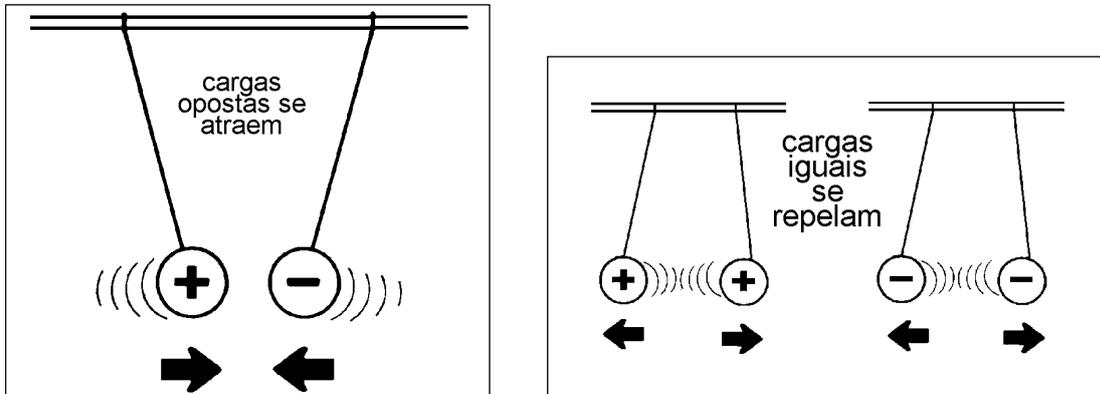
Eletrostática

Eletrostática é a parte da eletricidade que estuda a **eletricidade estática**. Dá-se o nome de eletricidade estática à eletricidade produzida por cargas elétricas **em repouso** em um corpo.

Na eletricidade estática, estudamos as propriedades e a ação mútua das cargas elétricas em repouso nos corpos eletrizados.

Um corpo se eletriza **negativamente** (-) quando **ganha** elétrons e **positivamente** (+) quando **perde** elétrons.

Entre corpos eletrizados, ocorre o efeito da **atração** quando as cargas elétricas têm **sinais contrários**. O efeito da **repulsão** acontece quando as cargas elétricas dos corpos eletrizados têm **sinais iguais**.

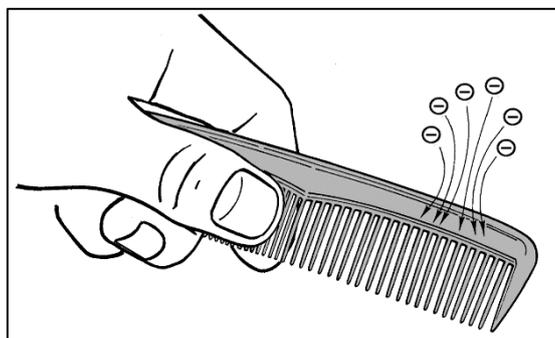


No estado natural, qualquer porção de matéria é eletricamente **neutra**. Isso significa que, se nenhum agente externo atuar sobre uma determinada porção da matéria, o número total de prótons e elétrons dos seus átomos será **igual**.

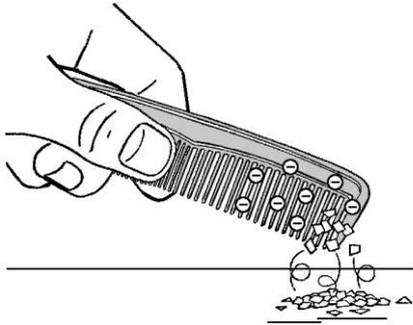
Essa condição de equilíbrio elétrico natural da matéria pode ser desfeita, de forma que um corpo deixe de ser neutro e fique carregado eletricamente.

O processo pelo qual se faz com que um corpo eletricamente neutro fique carregado é chamado **eletrização**.

A maneira mais comum de se provocar eletrização é por meio de **atrito**. Quando se usa um pente, por exemplo, o atrito provoca uma **eletrização negativa** do pente, isto é, o pente **ganha** elétrons.



Ao aproximarmos o pente eletrizado positivamente de pequenos pedaços de papel, estes são atraídos momentaneamente pelo pente, comprovando a existência da eletrização.

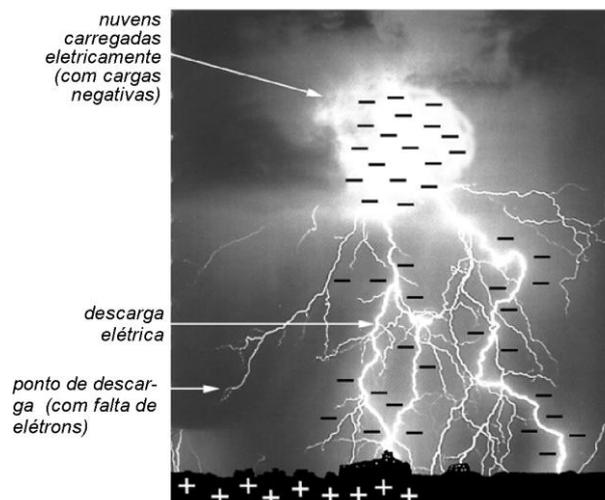


A eletrização pode ainda ser obtida por outros processos como, por exemplo, por contato ou por indução. Em qualquer processo, contudo, obtém-se corpos carregados eletricamente.

Descargas elétricas

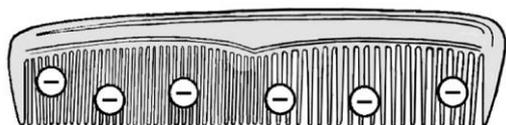
Sempre que dois corpos com cargas elétricas **contrárias** são colocados próximos um do outro, em condições favoráveis, o **excesso de elétrons** de um deles **é atraído** na direção daquele que está com falta de elétrons, sob a forma de uma descarga elétrica. Essa descarga pode se dar por contato ou por arco.

Quando dois materiais possuem grande diferença de cargas elétricas, uma grande quantidade de carga elétrica negativa pode passar de um material para outro pelo ar. Essa é a descarga elétrica por arco. O raio, em uma tempestade, é um bom exemplo de descarga por arco.

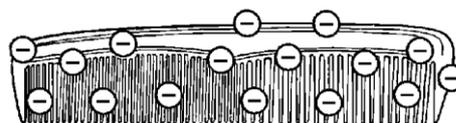


Relação entre desequilíbrio e potencial elétrico

Por meio dos processos de eletrização, é possível fazer com que os corpos fiquem **intensamente** ou **fracamente** eletrizados. Um pente fortemente atritado fica intensamente eletrizado. Se ele for fracamente atritado, sua eletrização será fraca.

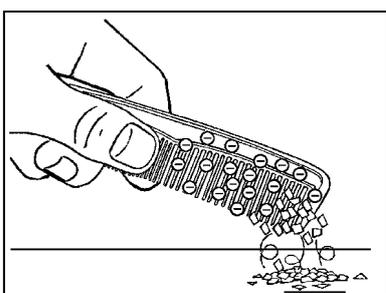


fraca eletrização



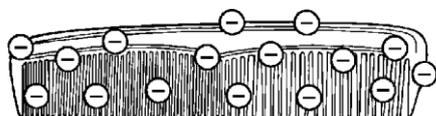
intensa eletrização

O pente **intensamente** atritado tem **maior** capacidade de realizar trabalho, porque é capaz de atrair maior quantidade de partículas de papel.

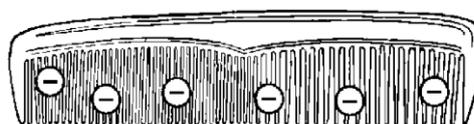


Como a maior capacidade de realizar trabalho significa **maior potencial**, conclui-se que o pente intensamente eletrizado tem **maior** potencial elétrico.

potencial elétrico maior



potencial elétrico menor



O potencial elétrico de um corpo depende diretamente do desequilíbrio elétrico existente nesse corpo. Assim, um corpo que tenha um desequilíbrio elétrico **duas vezes maior** que outro, tem um potencial elétrico **duas vezes maior**.

Carga elétrica

Como certos átomos são forçados a **ceder** elétrons e outros a **receber** elétrons, é possível produzir uma transferência de elétrons de um corpo para outro.

Quando isso ocorre, a distribuição igual das cargas positivas e negativas em cada átomo deixa de existir. Portanto, um corpo conterà excesso de elétrons e a sua carga terá uma polaridade **negativa** (-). O outro corpo, por sua vez, conterà excesso de prótons e a sua carga terá polaridade **positiva** (+).

Quando um par de corpos contém a **mesma carga**, isto é, ambas positivas (+) ou ambas negativas (-), diz-se que eles apresentam **cargas iguais**.

Quando um par de corpos contém cargas diferentes, ou seja, um corpo é positivo (+) e o outro é negativo (-), diz-se que eles apresentam cargas desiguais ou opostas.

A quantidade de carga elétrica que um corpo possui, é determinada pela **diferença** entre o número de prótons e o número de elétrons que o corpo contém.

O símbolo que representa a quantidade de carga elétrica de um corpo é **Q** e sua unidade de medida é o coulomb (**C**).

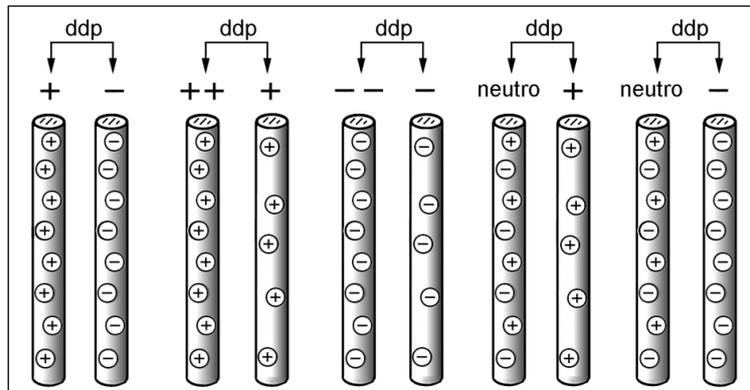
Observação

1 coulomb = $6,25 \times 10^{18}$ elétrons

Diferença de potencial

Quando se compara o trabalho realizado por dois corpos eletrizados, automaticamente está se comparando os seus potenciais elétricos. A diferença entre os trabalhos expressa diretamente a diferença de potencial elétrico entre esses dois corpos.

A diferença de potencial (abreviada para ddp) existe entre corpos eletrizados com cargas **diferentes** ou com o **mesmo** tipo de carga.



A diferença de potencial elétrica entre dois corpos eletrizados também é denominada de **tensão elétrica**, importantíssima nos estudos relacionados à eletricidade e à eletrônica.

Observação

No campo da eletrônica e da eletricidade, utiliza-se exclusivamente a palavra **tensão** para indicar a **ddp** ou **tensão elétrica**.

Unidade de medida de tensão elétrica

A tensão (ou ddp) entre dois pontos pode ser medida por meio de instrumentos. A unidade de medida de tensão é o **volt**, que é representado pelo símbolo **V**.

Como qualquer outra unidade de medida, a unidade de medida de tensão (volt) também tem múltiplos e submúltiplos adequados a cada situação. Veja tabela a seguir:

Denominação	Símbolo	Valor com relação ao volt	
	megavolt	MV	10^6V ou 1000000V
	quilovolt	kV	10^3V ou 1000V
Unidade	volt	V	-
	milivolt	mV	$10^{-3}V$ ou 0,001V
	microvolt	μV	$10^{-6}V$ ou 0,000001V

Observação

Em eletricidade empregam-se mais freqüentemente o *volt* e o *quilovolt* como unidades de medida, ao passo que em eletrônica as unidades de medida mais usadas são o *volt*, o *milivolt* e o *microvolt*.

A conversão de valores é feita de forma semelhante a outras unidades de medida.

kV	V			mV			μV		

Exemplos de conversão:

a) $3,75V = \text{-----} \text{ mV}$

V			mV
3	7	5	-

↑ (posição da vírgula)

V			mV
3	7	5	0

↑ (nova posição da vírgula)

3,75V = 3750 mV

b) $0,6V = \text{-----} \text{ mV}$

V			mV
0	6		

↑

V			mV
0	6	0	0

↑

0,6V = 600 mV

c) $200 \text{ mV} = \text{-----} \text{ V}$

V			mV
	2	0	0

↑

V			mV
0	2	0	0

↑

200 mV = 0,2V

d) $0,05V = \text{-----} \text{ mV}$

V			mV
0	0	5	

↑

V			mV
0	0	5	0

↑

0,05V = 50 mV

e) $1,5 \text{ mV} = \text{-----} \text{ μV}$

mV			μV
1	5		

↑

mV			μV
1	5	0	0

↑

1,5 mV = 15000μV

Pilha ou bateria elétrica

A existência de tensão é imprescindível para o funcionamento dos aparelhos elétricos. Para que eles funcionem, foram desenvolvidos dispositivos capazes de criar um desequilíbrio elétrico entre dois pontos, dando origem a uma tensão elétrica.

Genericamente esses dispositivos são chamados fontes geradoras de tensão. As pilhas, baterias ou acumuladores e geradores são exemplos desse tipo de fonte.

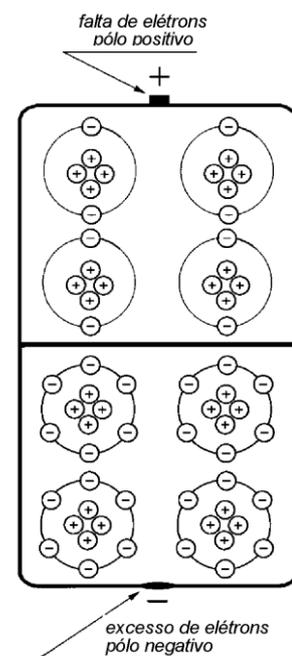


As pilhas são fontes geradoras de tensão constituídas por dois tipos de metais mergulhados em um preparado químico. Esse preparado químico reage com os metais, retirando elétrons de um e levando para o outro. Um dos metais fica com potencial elétrico positivo e o outro fica com potencial elétrico negativo. Entre os dois metais existe, portanto, uma **ddp** ou uma **tensão elétrica**.

A ilustração ao lado representa esquematicamente as polaridades de uma pilha em relação aos elétrons. Pela própria característica do funcionamento das pilhas, um dos metais torna-se positivo e o outro negativo. Cada um dos metais é chamado pólo. Portanto, as pilhas dispõem de um pólo positivo e um pólo negativo. Esses pólos nunca se alteram, o que faz com que a polaridade da pilha seja invariável.

Daí a tensão fornecida chamar-se tensão contínua ou tensão CC, que é a tensão elétrica entre dois pontos de polaridades invariáveis.

A tensão fornecida por uma pilha comum não depende de seu tamanho pequeno, médio ou grande nem de sua utilização nesse ou naquele aparelho. É sempre uma tensão contínua de aproximadamente 1,5 V.



Corrente elétrica

A eletricidade está presente diariamente em nossa vida, seja na forma de um relâmpago seja no simples ato de ligar uma lâmpada. À nossa volta fluem cargas elétricas que produzem luz, som, calor. Para entender como são obtidos tais efeitos é preciso, em primeiro lugar, compreender o movimento das cargas elétricas e suas particularidades.

Este capítulo vai tratar do conceito de fluxo das cargas elétricas. Vai tratar também das grandezas que medem a corrente.

Para desenvolver os conteúdos e atividades aqui apresentadas você já deverá ter conhecimentos anteriores sobre estrutura da matéria, e diferença de potencial entre dois pontos.

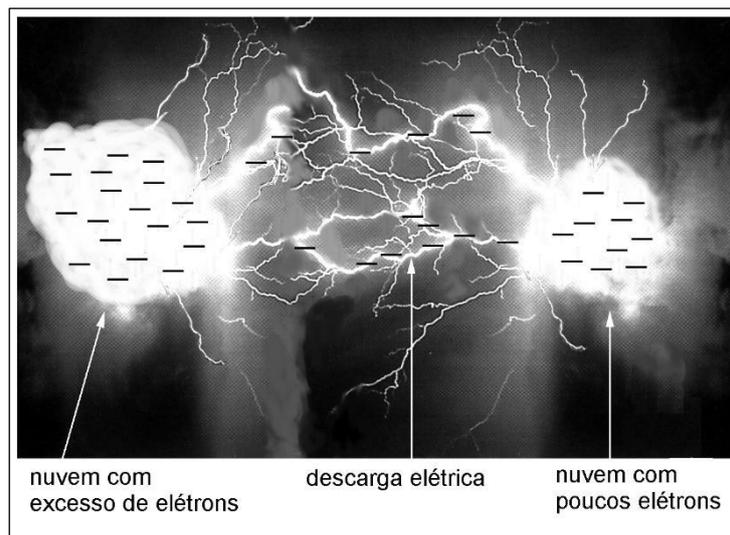
Corrente elétrica

A corrente elétrica consiste em um movimento orientado de cargas, provocado pelo desequilíbrio elétrico (ddp) entre dois pontos. A corrente elétrica é a forma pela qual os corpos eletrizados procuram restabelecer o equilíbrio elétrico.

Para que haja corrente elétrica, é necessário que haja ddp e que o circuito esteja fechado. Logo, pode-se afirmar que existe **tensão sem corrente**, mas **nunca** existirá **corrente sem tensão**. Isso acontece porque a tensão orienta as cargas elétricas. O símbolo para representar a intensidade da corrente elétrica é a letra **I**.

Descargas elétricas

Como já foi estudado, as descargas elétricas são fenômenos comuns na natureza. O relâmpago, por exemplo, é um exemplo típico de descarga elétrica. O atrito contra o ar faz com que as nuvens fiquem altamente eletrizadas e adquiram um potencial elevado. Quando duas nuvens com potencial elétrico **diferente** se aproximam, ocorre uma descarga elétrica, ou seja, um relâmpago.



O que ocorre não passa de uma **transferência orientada** de cargas elétricas de uma nuvem para outra.

Durante a descarga, numerosas cargas elétricas são transferidas, numa única direção, para diminuir o desequilíbrio elétrico entre dois pontos. Os elétrons em **excesso** em uma nuvem deslocam-se para a nuvem que tem **poucos** elétrons.

Como já foi visto, também, o deslocamento de cargas elétricas entre dois pontos onde existe ddp é chamado de corrente elétrica. Desse modo, explica-se o relâmpago como uma **corrente elétrica** provocada pela tensão elétrica existente entre duas nuvens.

Durante o curto tempo de duração de um relâmpago, grande quantidade de cargas elétricas flui de uma nuvem para outra. Dependendo da grandeza do desequilíbrio elétrico entre as duas nuvens, a corrente elétrica, ou seja, a descarga elétrica entre elas pode ter maior ou menor intensidade.

Observe a seguir alguns exemplos de conversão.

a) $1,2 \text{ A} = \text{----- mA}$

A	mA		
1	2		

↑(posição da vírgula)

A	mA		
1	2	0	0

(nova posição da vírgula) ↑

$1,2 \text{ A} = 1200 \text{ mA}$

b) $15 \text{ } \mu\text{A} = \text{----- mA}$

mA	μA	
	1	5

↑

mA	μA	
0	0	15

↑

$15 \text{ } \mu\text{A} = 0,015 \text{ mA}$

c) $350 \text{ mA} = \text{----- A}$

A	mA		
	3	5	0

↑

A	mA		
0	3	5	0

↑

$350 \text{ mA} = 0,35 \text{ A}$

Amperímetro

Para medir a intensidade de corrente, usa-se o amperímetro. Além do amperímetro, usam-se também os instrumentos a seguir:

- Miliamperímetro: para correntes da ordem de miliampères;
- Microamperímetro: para correntes da ordem de microampères;

Corrente contínua

A corrente elétrica é o movimento de cargas elétricas. Nos materiais sólidos, as cargas que se movimentam são os elétrons; nos líquidos e gases o movimento pode ser de elétrons ou íons positivos.

Quando o movimento de cargas elétricas formadas por íons ou elétrons ocorre sempre em um sentido, a corrente elétrica é chamada de corrente contínua e é representada pela sigla **CC**.

Resistência elétrica

Nas lições anteriores, você aprendeu que para haver tensão, é necessário que haja uma diferença de potencial entre dois pontos. Aprendeu também, que corrente elétrica é o movimento orientado de cargas provocado pela ddp. Ela é a forma pela qual os corpos eletrizados procuram restabelecer o equilíbrio elétrico.

Para que haja corrente elétrica, além da ddp, é preciso que o circuito esteja fechado. Por isso, você viu que existe tensão sem corrente, mas não é possível haver corrente sem tensão.

Esta aula vai tratar do conceito de resistência elétrica. Vai tratar também das grandezas da resistência elétrica e seus efeitos sobre a circulação da corrente.

Para desenvolver os conteúdos e atividades aqui apresentadas você já deverá ter conhecimentos anteriores sobre estrutura da matéria, tensão e corrente.

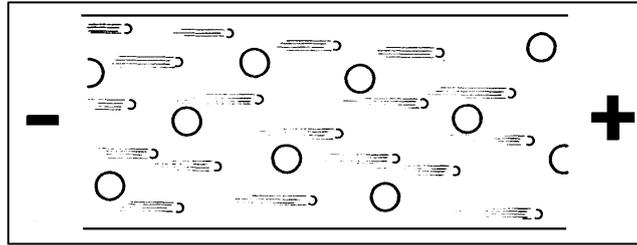
Resistência elétrica

Resistência elétrica é a **oposição** que um material apresenta ao fluxo de corrente elétrica. Todos os dispositivos elétricos e eletrônicos apresentam certa oposição à passagem da corrente elétrica.

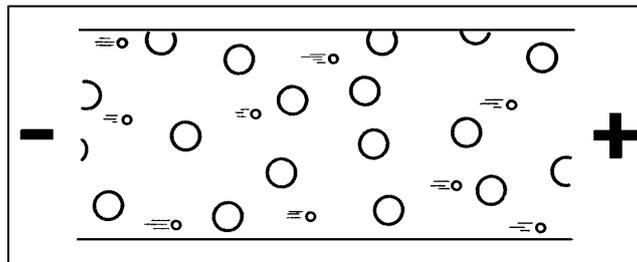
A resistência dos materiais à passagem da corrente elétrica tem origem na sua estrutura atômica.

Para que a aplicação de uma ddp a um material origine uma corrente elétrica, é necessário que a estrutura desse material permita a existência de elétrons livres para movimentação.

Quando os átomos de um material **liberam** elétrons livres entre si com facilidade, a corrente elétrica flui **facilmente** através dele. Nesse caso, a resistência elétrica desses materiais é **pequena**.



Por outro lado, nos materiais cujos átomos **não** liberam elétrons livres entre si com facilidade, a corrente elétrica flui com **dificuldade**, porque a resistência elétrica desses materiais é **grande**.



Portanto, a resistência elétrica de um material depende da facilidade ou da dificuldade com que esse material libera cargas para a circulação.

O efeito causado pela resistência elétrica tem muitas aplicações práticas em eletricidade e eletrônica. Ele pode gerar, por exemplo, o aquecimento no chuveiro, no ferro de passar, no ferro de soldar, no secador de cabelo. Pode gerar também iluminação por meio das lâmpadas incandescentes.

Unidade de medida de resistência elétrica

A unidade de medida da resistência elétrica é o **ohm**, representado pela letra grega Ω (Lê-se *ômega*). A tabela a seguir mostra os múltiplos do ohm, que são os valores usados na prática.

Denominação		Símbolo	Valor em relação à unidade
Múltiplo	megohm	M Ω	$10^6 \Omega$ ou 1000000 Ω
	quilohm	k Ω	$10^3 \Omega$ ou 1000 Ω
Unidade	ohm	Ω	---

Para fazer a conversão dos valores, emprega-se o mesmo procedimento usado para outras unidades de medida.

M Ω	k Ω			Ω		

Observe a seguir alguns exemplos de conversão.

$$120 \Omega = \text{-----} \text{ k}\Omega$$

k Ω	Ω		
	1	2	0

(posição da vírgula) ↑

k Ω	Ω		
0	1	2	0

↑ (nova posição da vírgula)

$$120 \Omega = 0,12 \text{ k}\Omega$$

$$390 \text{ k}\Omega = \text{-----} \text{ M}\Omega$$

M Ω	k Ω		
	3	9	0

M Ω	k Ω		
0	3	9	0

$$390 \text{ k}\Omega = 0,39 \text{ M}\Omega$$

$$5,6 \text{ k}\Omega = \text{-----}$$

k Ω	Ω		
5	6		

↑

k Ω	Ω		
5	6	0	0

↑

$$5,6 \text{ k}\Omega = 5600 \Omega$$

$$470 \Omega = \text{-----} \text{ M}\Omega$$

M Ω	Ω		
	4	7	0

M Ω	k Ω			Ω		
0	0	0	0	4	7	0

↑

$$470 \Omega = 0,00047 \text{ M}\Omega$$

↑

Observação

O instrumento de medição da resistência elétrica é o **ohmímetro** porém, geralmente, mede-se a resistência elétrica com o **multímetro**.

Capítulo 3 – Circuitos Elétricos em Corrente Contínua

3.1 – Introdução

Falaremos sobre circuitos elétricos em corrente contínua:

1. Definição
2. Circuito série
3. Circuito paralelo
4. Circuito Misto
5. Conclusão.

3.2 – Definição

A corrente elétrica é o movimento de cargas elétricas.

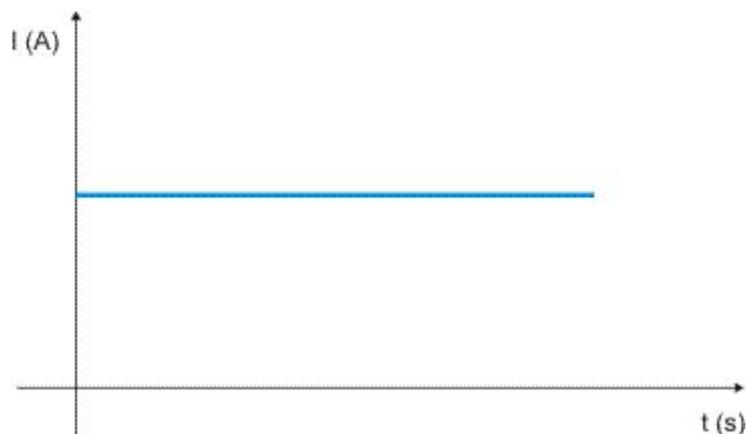
Nos materiais sólidos, as cargas que se movimentam são os elétrons, já nos meios líquidos e gases o movimento pode ser de elétrons ou íons positivos.

Quando o movimento de cargas elétricas formadas por íons ou elétrons ocorre sempre em um sentido, a corrente elétrica é chamada de corrente contínua e é representada pela sigla **CC**.

Uma corrente é considerada contínua quando não altera seu sentido, ou seja, é sempre positiva ou sempre negativa.

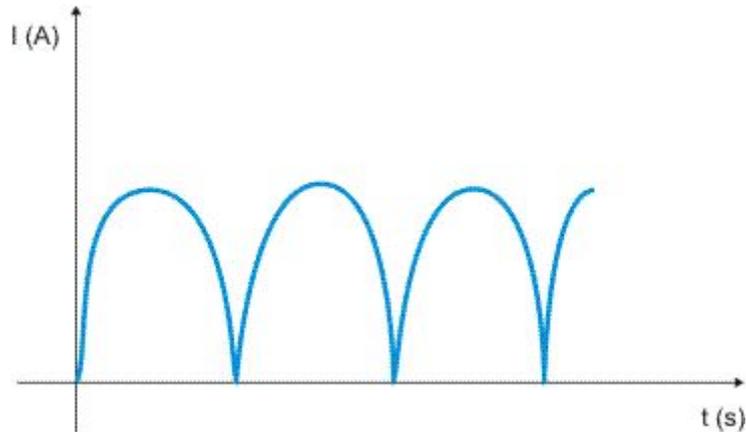
A maior parte dos circuitos eletrônicos trabalha com corrente contínua, a corrente contínua pode ser classificada por:

Corrente contínua constante



Diz-se que uma corrente contínua é constante, se seu gráfico for dado por um segmento de reta constante, ou seja, não variável. Este tipo de corrente é comumente encontrado em pilhas e baterias.

Corrente contínua pulsante



Embora não altere seu sentido as correntes contínuas pulsantes passam periodicamente por variações, não sendo necessariamente constantes entre duas medidas em diferentes intervalos de tempo.

A ilustração do gráfico acima é um exemplo de corrente contínua pulsante.

Esta forma de corrente é geralmente encontrada em circuitos retificadores de corrente alternada.

3.3 – Circuito Série

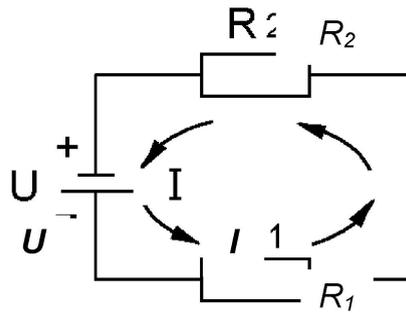
Circuito série é aquele cujos componentes (cargas) são ligados um após o outro, ou seja em sequência, em série.

Desse modo, existe um único caminho para a corrente elétrica.

No exemplo abaixo a corrente que sai do pólo positivo da fonte, passa através do primeiro componente (R_1), passa pelo seguinte (R_2) e assim por diante até chegar ao pólo negativo da fonte.

Este é um circuito série, onde a corrente tem apenas um caminho a percorrer.

Veja representação esquemática do circuito série no diagrama a seguir.



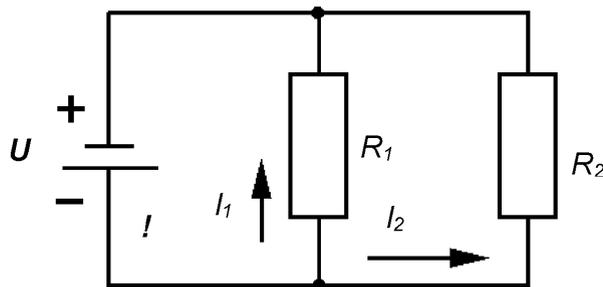
Num circuito série, o valor da corrente é sempre o mesmo em qualquer ponto do circuito. Isso acontece porque a corrente elétrica tem apenas um único caminho para percorrer.

Já neste tipo de circuito a queda de tensão varia de acordo com a resistência, mas a tensão da fonte é a soma das quedas de tensões nos resistores.

3.4 – Circuito paralelo

O circuito paralelo é aquele cujos componentes estão ligados em paralelo entre si, lado a lado.

Veja circuito a seguir.



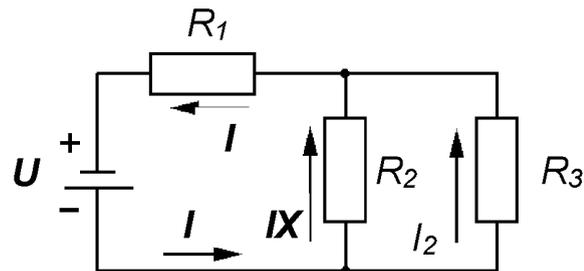
No circuito paralelo, a corrente é diferente em cada ponto do circuito porque ela depende da resistência de cada componente e da tensão aplicada sobre ele.

Todos os componentes ligados em paralelo têm a mesma queda de tensão.

3.5 – Circuito Misto

No circuito misto, os componentes são ligados em série e em paralelo no mesmo circuito.

Veja esquema a seguir.



No circuito misto do exemplo temos os resistores R_2 e R_3 ligados em paralelo, e esta associação paralela ligada em série com o R_1 .

Devido a queda de tensão diferente no circuito em série, a tensão no R_1 será diferente da tensão na associação em paralelo entre R_2 e R_3 .

Assim sendo, os resistores R_2 e R_3 que estão ligados em paralelo, receberão a tensão da rede menos a queda de tensão provocada por R_1 .

Em relação a corrente, a corrente que passa por R_1 é a soma das correntes que passam por R_2 e R_3 .

3.6 – Conclusão

Neste módulo podemos entender melhor as principais características dos circuitos série, paralelo e misto.

Esta ideia é relativamente simples porém, é necessário entender e diferenciar as características de cada uma delas, para que assim você possa fazer uma análise de circuitos mais assertiva.

Estes conceitos são usados em 100% dos circuitos elétricos e eletrônicos.

Capítulo 4 – Associação de Resistores

4.1 – Introdução

Falaremos sobre circuitos elétricos em corrente contínua:

1. Tipos de associação de resistores
2. Associação de resistores em série
3. Exemplo de associação em série
4. Associação de resistores em paralelo
5. Exemplo de associação em paralelo
6. Associação de resistores mista
7. Exemplo de associação mista
8. Conclusão.

4.2 – Tipos de associação de resistores

As resistências entram na constituição da maioria dos circuitos eletrônicos formando associações de resistências.

Por esta razão é importante conhecer os tipos e características elétricas destas associações, que são a base de qualquer atividade ligada à eletroeletrônica.

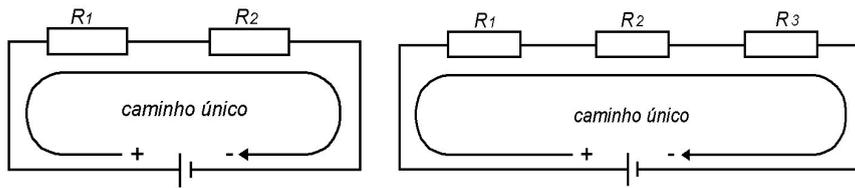
Associação de resistências é uma reunião de duas ou mais resistências em um circuito elétrico, considerando-se resistência como qualquer dificuldade à passagem da corrente elétrica.

Na associação de resistências é preciso considerar duas coisas: os **terminais** e os **nós**. **Terminais** são os pontos da associação conectados à fonte geradora. **Nós** são os pontos em que ocorrem a interligação de três ou mais resistências.

Temos basicamente 3 tipos de associações de resistores **série, paralelo e mista**.

4.3 – Associação de resistores em série

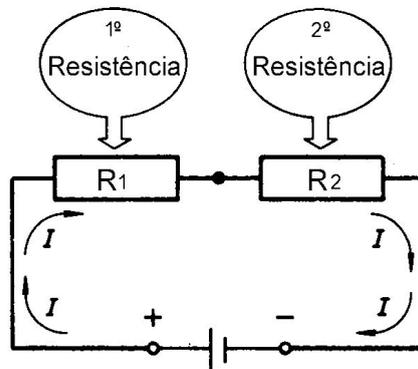
Nesse tipo de associação, as resistências são interligadas de forma que exista apenas um caminho para a circulação da corrente elétrica entre os terminais, as resistências são ligadas sequencialmente, são ligadas em série.



Em uma associação série a mesma corrente elétrica flui através de todos os resistores, um após o outro.

Neste tipo de associação o que vai ser diferente é a queda de tensão em cada resistor.

Cada um dos resistores apresenta uma resistência a circulação da corrente no circuito.



Ao longo de todo o circuito, a resistência total é a soma das resistências parciais.

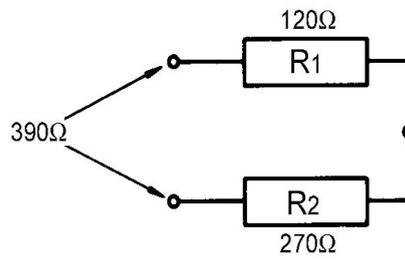
4.4 – Exemplo de associação em série

Matematicamente, a resistência total ou equivalente da associação série é dada por:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Onde: R1, R2, R3,..... Rn são os valores ôhmicos dos resistores associados em série.

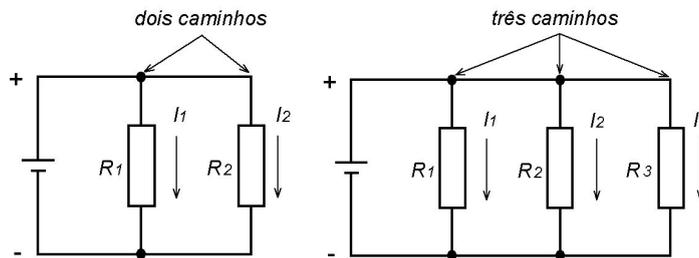
Assim, se os dois resistores são associados em série, a resistência equivalente entre os terminais da associação é:



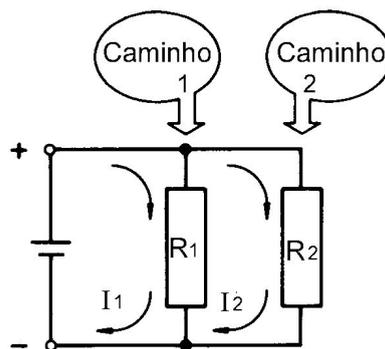
$$R_{eq} = R_1 + R_2 \Rightarrow 120 + 270 \Rightarrow R_{eq} = 390\Omega$$

4.5 – Associação de resistores em paralelo

A associação paralela é a associação em que os terminais das resistências estão interligados de forma que exista mais de um caminho para a circulação da corrente elétrica entre os terminais.



Na associação paralela existe mais de um “caminho” para circulação da corrente elétrica.



Dispondo de dois “caminhos” para circular, a corrente flui com maior facilidade do que se houvesse apenas um caminho.

A partir desta “maior facilidade” da corrente circular em um maior número de caminhos do que em um único, verifica-se que a oposição a passagem da corrente em dois (ou mais) resistores em paralelo é menor do que em apenas um.

Por isso geralmente a corrente é maior no caminho com menor resistência.

E por isso também, o valor da resistência equivalente de uma associação de resistores em paralelo é sempre menor que o resistor de menor valor.

Por exemplo: temos associados 3 resistores, um de 15 ohms, outro de 30 ohms, e o terceiro de 10 ohms. Nesse caso a associação destes 3 resistores deve ser menor que 10 ohms.

Para associações **paralelas com apenas dois resistores** pode-se utilizar uma equação mais simples, deduzida da equação geral:

Tomando-se a equação geral, com apenas dois resistores tem-se:

$$R_{eq} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

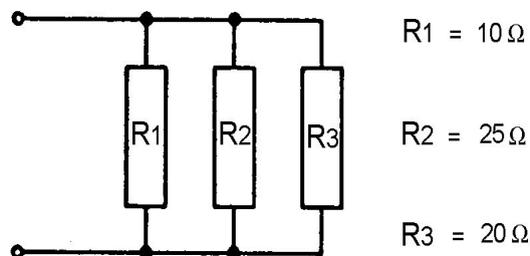
4.6 – Exemplo de associação em paralelo

A resistência equivalente de uma associação paralela de resistores é dada pela equação:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

Onde R1, R2,, Rn são os valores ôhmicos dos resistores associados.

Tomando como exemplo a associação paralela apresentada na figura abaixo.



A resistência equivalente será:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \Rightarrow R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{25} + \frac{1}{20}} \Rightarrow R_{eq} = \frac{1}{0,19} = 5,26\Omega$$

O resultado encontrado comprova que a resistência equivalente da associação paralela ($5,26\Omega$) é menor que o resistor de menor valor (10Ω).

Exemplo de associação com 2 resistores:

Para apenas 2 resistores, é possível usar uma fórmula mais simples:

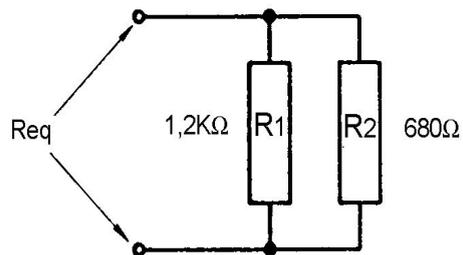
$$R_{eq} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

Onde R_1 e R_2 são os valores ôhmicos dos resistores associados.

A figura a seguir é um exemplo de associação paralela em que a fórmula para dois resistores pode ser empregada.

Temos:

$$R_1 = 1K\Omega \text{ e } R_2 = 680\Omega$$



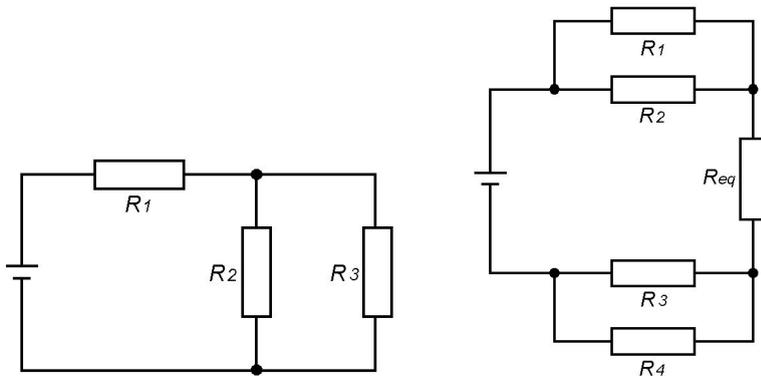
Aplicando a fórmula para 2 resistores:

$$R_{eq} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_{eq} = \frac{1200 * 680}{1200 + 680} = \frac{816000}{1880} = 434\Omega$$

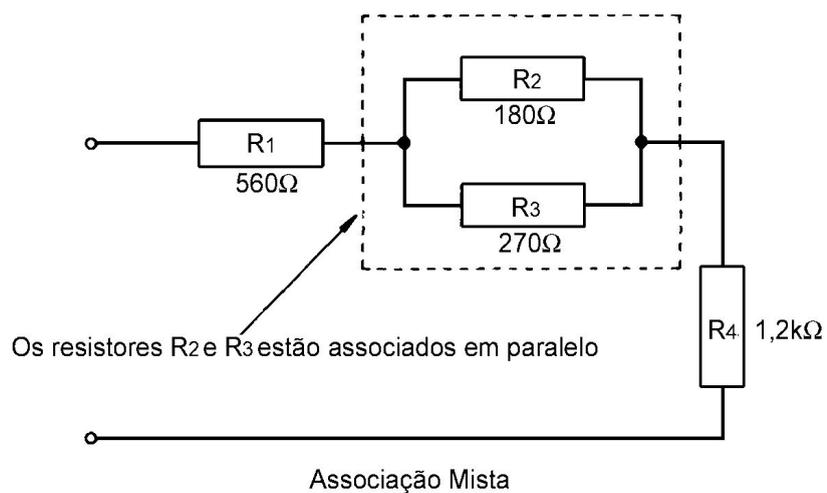
4.7 – Associação de resistores mista

É a associação que se compõe por grupos de resistências **em série** e **em paralelo**.



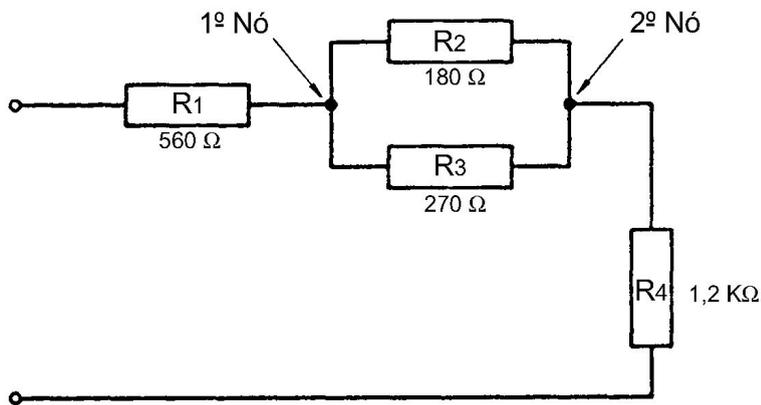
Para determinar a resistência equivalente de uma associação mista utiliza-se um recurso:

Dividir a associação em pequenas partes que possam ser calculadas como associações série ou paralelas.



4.8 - Exemplo de associação mista

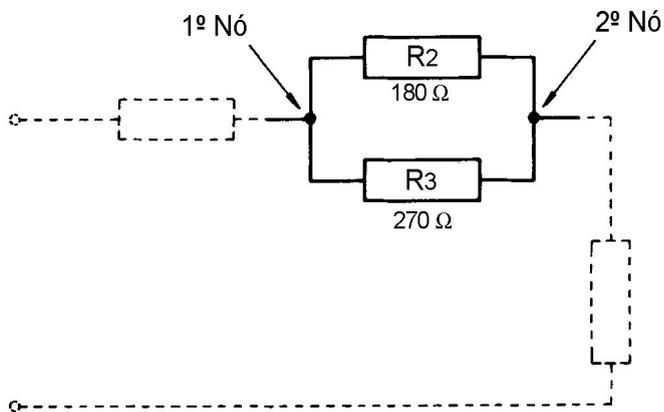
Para realizar corretamente a divisão da associação mista utilizam-se os nós formados no circuito.



A partir da identificação dos nós, procura-se analisar como estão ligados os resistores entre cada dois nós do circuito.

Analisando o trecho da associação entre o 1º nó e o 2º nó verifica-se:

Que os resistores R_2 e R_3 estão em paralelo.



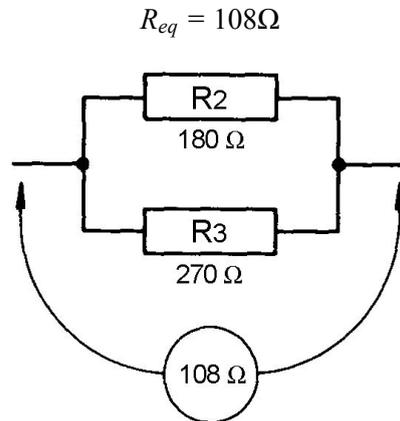
Desconsiderando-se tudo o que está antes e depois destes nós, e examinando a forma como R_2 e R_3 estão associados conclui-se:

R_2 e R_3 formam uma associação paralela de dois resistores.

Então, pode-se determinar qual a resistência equivalente destes dois resistores associados em paralelo.

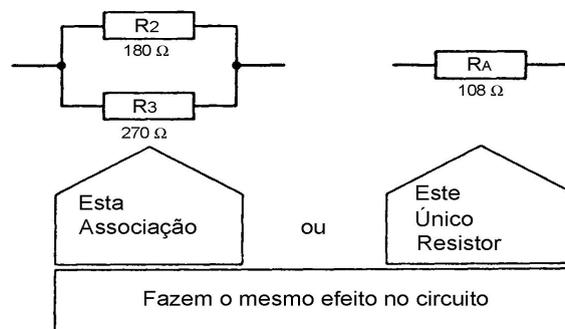
Calculando a Resistência equivalente entre os nós 1 e 2 temos:

$$R_{eq} = \frac{R_2 * R_3}{R_2 + R_3} = \frac{180 * 270}{180 + 270} = \frac{48600}{450}$$

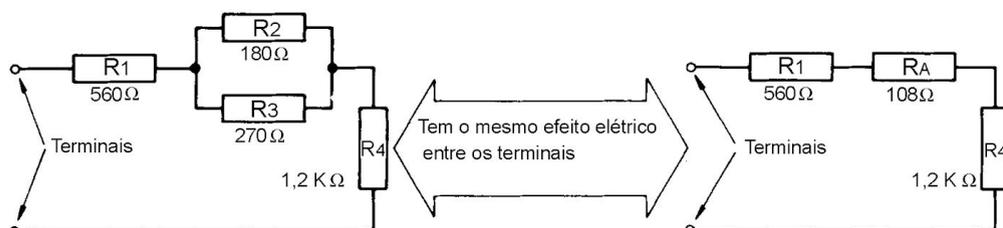


Os dois resistores associados (R_2 e R_3) apresentam 108Ω de resistência a passagem da corrente no circuito.

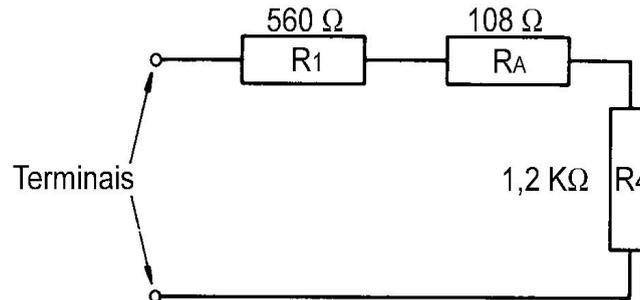
Se os resistores R_2 e R_3 em paralelo forem substituídos por um resistor de 108Ω (que pode ser identificado por exemplo por R_A) o circuito não se altera.



Substituindo na associação original os resistores R_2 e R_3 pelo seu resistor equivalente R_A , a associação não é alterada.



Ao executar a substituição a associação mista original tornar-se uma associação série simples, constituída pelos resistores R_1 , R_A e R_4 .



A resistência equivalente de toda a associação é determinada através da equação da associação série: $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

Usando os valores do circuito tem-se:

$$R_{eq} (\text{TOTAL}) = R_1 + R_A + R_4$$

$$R_{eq} (\text{TOTAL}) = 560 \Omega + 108 \Omega + 1200 \Omega \quad R_{eq} = 1868 \Omega$$

O resultado significa que toda a associação mista original tem o mesmo efeito para a corrente elétrica do que um único resistor de 1868Ω .

4.9 – Conclusão

Neste módulo podemos entender melhor como calcular associações de resistores, sendo ela associação série, paralela e mista.

Como pudemos ver, existem algumas particularidades, alguns detalhes que precisam ser observados.

Por mais que seja um conteúdo simples, e muito importante que você absorva e tenha em mente cada um destes conceitos pois eles vão dar continuação há muitos outros conceitos relacionados a elétrica.

Estes conceitos são usados em 100% dos circuitos elétricos e eletrônicos.

Capítulo 5 – Associação de Resistência na Prática

5.1 – Introdução

Falaremos sobre circuitos elétricos em corrente contínua:

1. Protoboard
2. Associação em série na Prática
3. Associação em paralelo na Prática
4. Associação mista na Prática
5. Conclusão.

5.2 – Protoboard

Um Protoboard nada mais é que uma placa de ensaio ou matriz de contato, (protoboard, ou breadboard em inglês). É uma placa com furos (ou orifícios) e conexões condutoras para montagem de circuitos elétricos experimentais.

A grande vantagem da placa de ensaio na montagem de circuitos eletrônicos é a facilidade de inserção de componentes, uma vez que não necessita soldagem. As placas variam de 800 furos até 6000 furos, tendo conexões verticais e horizontais.

Porém, a sua grande desvantagem é o seu "mau-contato", por esta razão muitas pessoas não gostam muito, não confiam muito no protoboard.

Na superfície de uma matriz de contato há uma base de plástico em que existem centenas de orifícios onde são encaixados os componentes. Em sua parte inferior são instalados contatos metálicos que interligam eletricamente os componentes inseridos na placa. Geralmente suportam correntes entre 1 A e 3 A.

Os contatos metálicos estão em diferentes sentidos na matriz. Como você pode observar na figura, a placa de montagem possui a matriz principal em seu meio e duas linhas superiores e duas inferiores em cada matriz (alguns possuem apenas uma linha). Nestes últimos, os contatos estão na horizontal, enquanto na matriz principal eles estão na vertical.

Em outras palavras, as linhas isoladas se conectam com os furos de baixo e as linhas agrupadas se conectam com os furos do lado. A placa de ensaio é bastante usada em escolas de ensino técnico, para os alunos terem seus primeiros contatos com a eletrônica visto que não precisa de soldagem de componentes.

5.3 – Associação em série na Prática

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

5.4 - Associação em paralelo na Prática

Para 2 resistores:

$$R_{eq} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

Para 3 resistores ou mais:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

5.5 – Associação mista na Prática

Primeiramente é necessário descobrir R_{eq} dos resistores que estão em paralelo, e então somar as resistências equivalentes (que estão em paralelo) com os demais resistores que estão em série para então ter a Resistência Total.

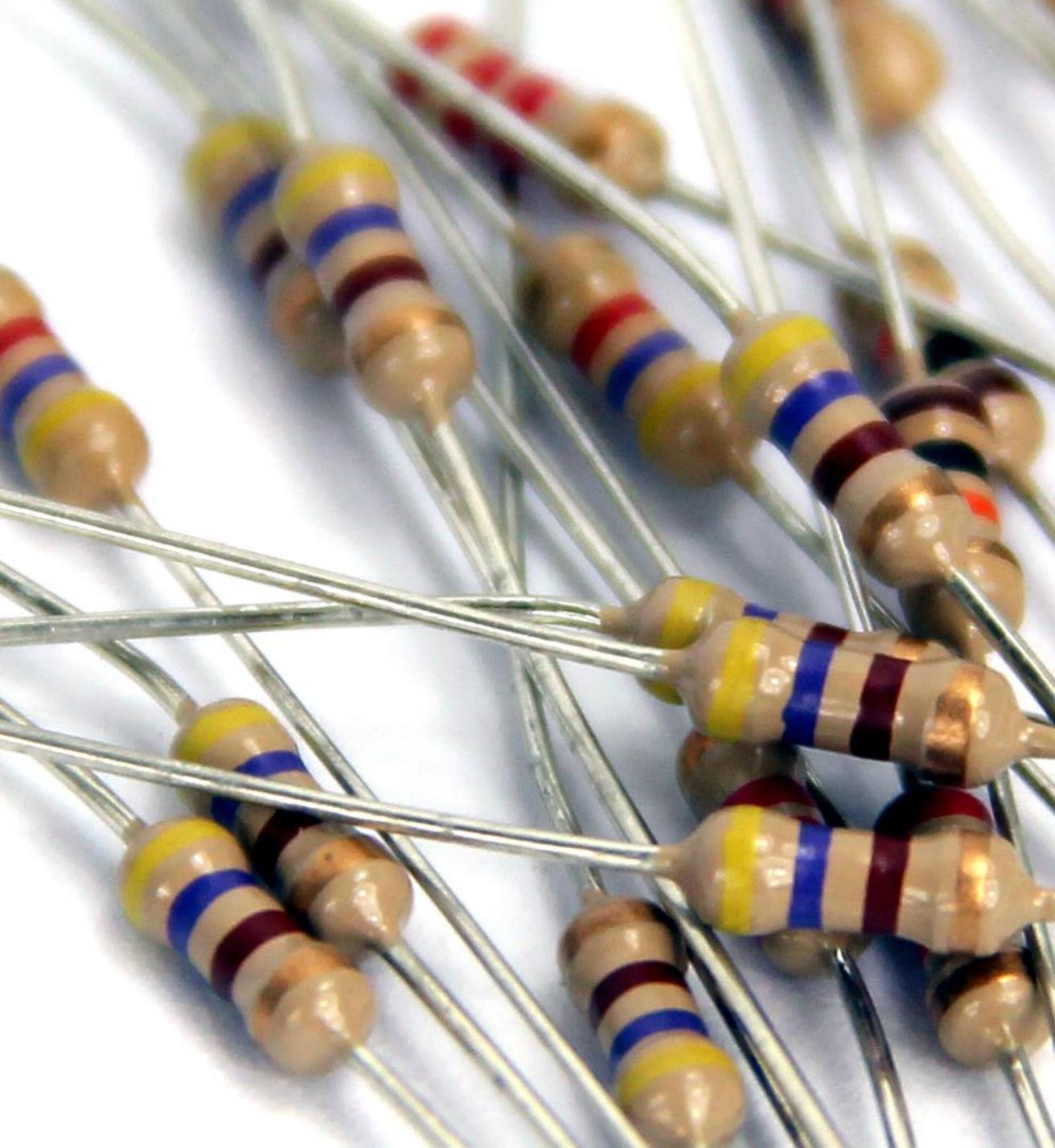
5.6 – Conclusão

Espero que essas aulas tenham auxiliado, e que você tenha absorvido a maior quantidade possível de conteúdo.

Neste módulo podemos entender melhor as principais características dos circuitos série, paralelo e misto e como elas são feitas na prática.

Esta ideia é relativamente simples porém, é necessário entender e diferenciar as características de cada uma delas, para que assim você possa fazer uma análise de circuitos mais assertiva.

Estes conceitos são usados em 100% dos circuitos elétricos e eletrônicos.



CÓDIGO DE CORES DOS RESISTORES 4, 5 E 6 FAIXAS



Sala da Elétrica

Conhecimento ao seu alcance.

RESISTORES DE 4 FAIXAS

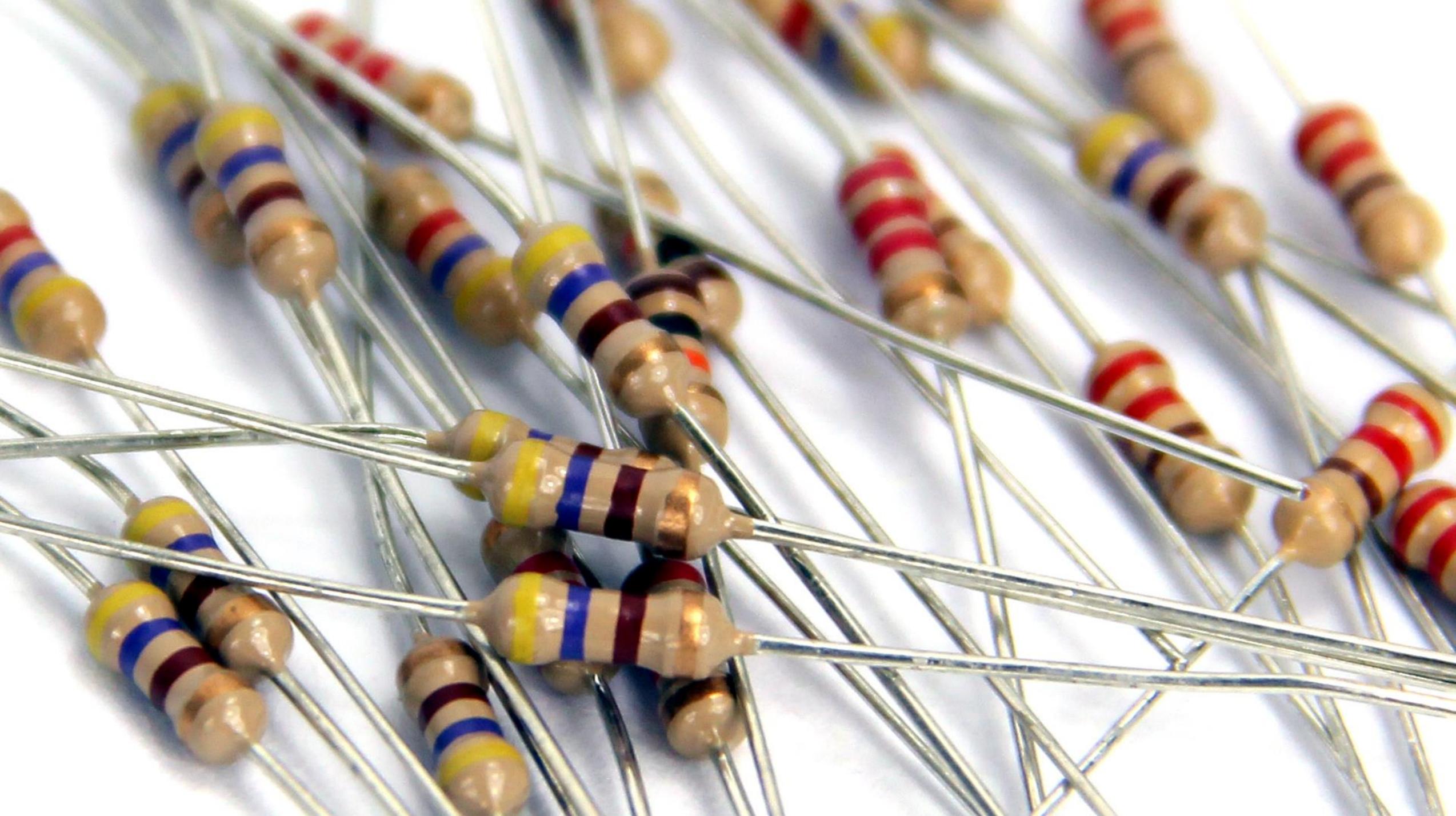
Cores	1ª Faixa Primeiro Dígito	2ª Faixa Segundo Dígito	3ª Faixa Multiplicador	4ª Faixa Tolerância
Preto	-	0	1	-
Marrom	1	1	10	± 1%
Vermelho	2	2	100	± 2%
Laranja	3	3	1.000	-
Amarelo	4	4	10.000	-
Verde	5	5	100.000	± 0,5%
Azul	6	6	1.000.000	± 0,25
Violeta	7	7	-	± 0,1%
Cinza	8	8	-	-
Branco	9	9	-	-
Ouro	-	-	0,1	± 5%
Prata	-	-	0,01	± 10%
Sem cor	-	-	-	± 20%

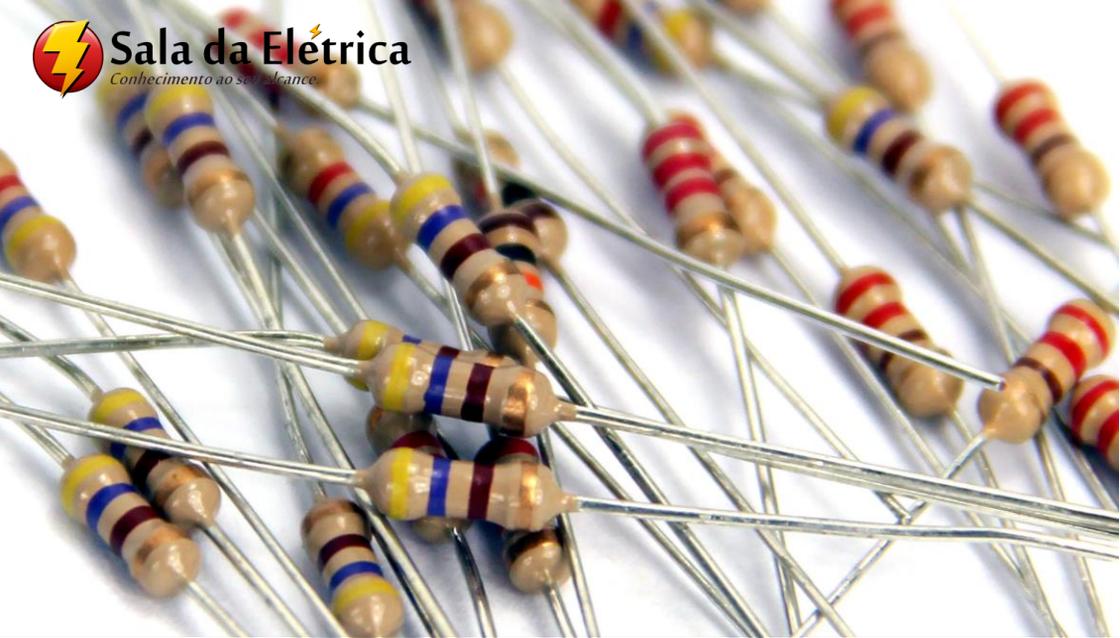
RESISTORES DE 5 FAIXAS

Cores	1ª Faixa Primeiro Dígito	2ª Faixa Segundo Dígito	3ª Faixa Segundo Dígito	4ª Faixa Multiplicador	5ª Faixa Tolerância
Preto	-	0	0	1	-
Marrom	1	1	1	10	± 1%
Vermelho	2	2	2	100	± 2%
Laranja	3	3	3	1.000	-
Amarelo	4	4	4	10.000	-
Verde	5	5	5	100.000	± 0,5%
Azul	6	6	6	1.000.000	± 0,25
Violeta	7	7	7	-	± 0,1%
Cinza	8	8	8	-	-
Branco	9	9	9	-	-
Ouro	-	-	-	0,1	± 5%
Prata	-	-	-	0,01	± 10%
Sem cor	-	-	-	-	± 20%

RESISTORES DE 6 FAIXAS

Cores	1ª Faixa Primeiro Dígito	2ª Faixa Segundo Dígito	3ª Faixa Segundo Dígito	4ª Faixa Multiplicador	5ª Faixa Tolerância	6ª Faixa Temperatura
Preto	-	0	0	1	-	-
Marrom	1	1	1	10	± 1%	100PPM
Vermelho	2	2	2	100	± 2%	50PPM
Laranja	3	3	3	1.000	-	15PPM
Amarelo	4	4	4	10.000	-	25PPM
Verde	5	5	5	100.000	± 0,5%	-
Azul	6	6	6	1.000.000	± 0,25	-
Violeta	7	7	7	-	± 0,1%	-
Cinza	8	8	8	-	-	-
Branco	9	9	9	-	-	-
Ouro	-	-	-	0,1	± 5%	-
Prata	-	-	-	0,01	± 10%	-
Sem cor	-	-	-	-	± 20%	-





0

1

2

3

4

5

6



RESISTORES

TIPOS DE RESISTORES

Você vai encontrar no mercado basicamente 3 tipos de Resistores, são eles:

- **Resistor de Filme de Carbono**
- **Resistor de Fio**
- **Resistor de Filme Metálico**

RESISTOR DE FILME CARBONO

Construção:

- É constituído por tubo cerâmico (ou de vidro) coberto por um filme (película) de carbono;
- O valor da resistência elétrica é obtido mediante a formação de um sulco no filme, produzindo uma fita espiralada cuja largura e espessura define o valor da sua resistência;
- Os terminais são soldados na extremidade do filme;
- Aplicada uma camada de material isolante para proteção.

RESISTOR DE FILME CARBONO

Características:

- Potência nominal está associada ao tamanho
- Geralmente na cor bege
- Especificações impressas através do código de cores

Valores:

- Grande faixa de valores de resistências (. a 10M.), com mesmo tamanho.
- Baixa potência (até 3W)
- Média tolerância (5% a 10%)

RESISTOR DE FIO

Construção:

Consiste basicamente de um tubo cerâmico (ou vidro) que serve de suporte a um fio condutor de alta resistividade enrolada (níquelcromo) sobre este tubo.

- O comprimento e o diâmetro do fio determinam sua resistência elétrica.
- Os terminais são soldados nas extremidades do fio.
- Aplicada uma camada de material isolante para proteção.

RESISTOR DE FIO

Características:

- Robustos;
- Suportam altas temperaturas;
- Geralmente na cor verde;
- Especificações impressas no seu corpo (resistência, tolerância e potência nominal)

Valores:

- Baixa resistências (. a k.)
- Alta potência (de 5W a 1000kW)
- Alta tolerância (10% a 20%) Res

RESISTOR DE FILME METÁLICO

Construção:

- Semelhante ao de carbono
- Tubo cerâmico coberto por um filme de uma liga metálica (níquel-cromo)

Características:

- Geralmente na cor azul
 - Potência associada ao seu tamanho
 - Especificações impressas através do código de cores
- Va

RESISTOR DE FILME METÁLICO

Valores:

- Grande faixa de resistências (. até M.)
- Baixa potência (até 7W)
- Baixa tolerância - mais precisos (1% a 2%)
- Outras cores: de potência (marrom) e de precisão (verde escuro)



Sala da Elétrica
Conhecimento ao seu alcance.

Capítulo 7 – Primeira lei de Ohm

7.1 – Introdução

Falaremos sobre circuitos elétricos em corrente contínua:

1. Definição da 1ª Lei de Ohm;
2. Georg Simon Ohm + Circuitos Elétricos;
3. Determinação Experimental da 1ª Lei de Ohm;
4. Fórmula Básica e suas derivações;
5. Exemplo de Aplicação - Corrente Elétrica;
6. Exemplo de Aplicação - Resistência Elétrica;
7. Exemplo de Aplicação - Tensão Elétrica;
8. Conclusão.

7.1 – Definição da 1ª Lei de Ohm

A Primeira lei de Ohm trata da relação de proporcionalidade entre a corrente elétrica que atravessa um dispositivo e a tensão à qual ele está submetido.

A primeira Lei de Ohm afirma que a corrente elétrica que atravessa um dispositivo qualquer é sempre diretamente proporcional à tensão aplicada a esse dispositivo.

Dispositivos que não apresentam um valor de corrente elétrica proporcional à tensão são denominados de não ôhmicos. Na Microeletrônica, a maior parte das tecnologias é feita com dispositivos que não obedecem à chamada Primeira lei de Ohm, como celulares, calculadoras etc.

Observou-se que aplicando uma diferença de potencial nas pontas de um fio condutor, e mantendo a temperatura, que quase sempre a tensão (U) será proporcional a corrente (I).

Então Ohm definiu que a constante de proporcionalidade entre tensão (U) e corrente (I) seria denominada Resistência elétrica (R) do condutor.

Com isso surgiu

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

Portanto: $V = R * I$

A unidade de medida da resistência é o ohm e é simbolizada pela letra grega Ω (ômega maiúsculo).

Ohm concluiu:

“Mantendo-se a temperatura de um resistor constante, a diferença de potencial aplicada nos seus extremos é diretamente proporcional à intensidade da corrente elétrica”.

7.2 – Georg Simon Ohm + Circuitos Elétricos

Georg Simon Ohm (1787-1854) foi um físico e matemático alemão que definiu o novo conceito de resistência elétrica.

Sua formulação matemática é conhecida como "Lei de Ohm".

Georg Simon Ohm (1787-1854) nasceu em Erlanger, na Baviera, no Sudeste da Alemanha, no dia 16 de março de 1787. Filho de um serralheiro e armeiro que depois exercer a mesma função pela Alemanha e França, quebrou a sucessão voltando-se para o estudo da Ciência e da Matemática.

Em 1827, com 40 anos de idade, Georg Ohm publicou um trabalho intitulado: “Medidas Matemáticas de Correntes Elétricas”.

Na época o trabalho dele foi ignorado, pois os que haviam lido não entenderam e por isso acharam que não traria contribuição para a ciência e a matemática.

O que foi um grande equívoco pois é uma das Leis mais usadas no estudo da eletricidade.

Georg Simon Ohm conseguiu formular um enunciado que envolvia além dessas grandezas a diferença de potencial: “A intensidade da corrente elétrica que percorre um circuito aumenta proporcionalmente ao aumento da força eletromotriz e decresce proporcionalmente ao aumento da resistência”.

É quase a expressão de uma lei universal – quanto maior o trabalho a realizar, maior o esforço que temos de fazer para realiza-lo. Sua formulação matemática é conhecida como Lei de Ohm.

Após sua morte, na reunião do Congresso Internacional de Engenheiros Eletricistas em Paris, em 1881, decidiu-se dar o nome de Ohm à unidade de resistência elétrica. O alemão foi quem demonstrou a relação entre as três grandes unidades de eletricidade, o ampère, o volt e o ohm.

Georg Simon Ohm faleceu em Munique, na Alemanha, no dia 6 de julho de 1854.

Como mencionado anteriormente, a fórmula principal que o Ohm definiu foi:

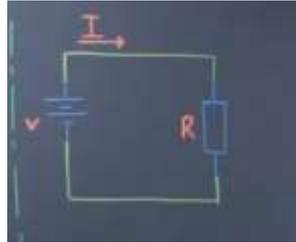
$$R = \frac{V}{I}$$

7.3 – Determinação experimental da 1ª Lei de Ohm

Em um circuito elétrico geralmente o que conseguimos alterar são os valores de tensão e resistência.

Vamos fazer algumas análises para que possamos tirar algumas conclusões sobre este assunto.

No primeiro momento vamos adotar um circuito onde: $V = 9V$ e $R = 100\Omega$



Então temos que:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{9}{100} = 0,09A$$

Fazendo a mesma análise, mas agora adotando $R = 200\Omega$ e a mesma tensão anterior $V = 9V$ temos:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{9}{200} = 0,045A$$

Em um terceiro momento Ohm verificou, adotando os valores: $R = 400\Omega$ e $V = 9V$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{9}{400} = 0,0225A$$

Então chegamos a conclusão de que adotando a tensão com valor fixo, quanto maior a resistência menor a corrente.

Se aumentarmos a tensão e mantermos a resistência elétrica teremos: $V = 20V$ e $R = 100\Omega$ então teremos:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{20}{100} = 0,2A$$

Então se eu aumentar a tensão, e manter o mesmo valor de resistência, o valor da corrente aumenta.

Se eu diminuir a tensão temos:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{5}{100} = 0,05A$$

Então se diminuir a tensão e manter o valor da resistência o valor da corrente elétrica diminui.

Então analisando os dados podemos observar que ***mantendo a mesma resistência elétrica, quanto maior a tensão maior a corrente.***

E ***mantendo o mesmo valor de tensão, a corrente elétrica é inversamente proporcional a resistência elétrica.***

7.4 – Fórmula Básica e suas derivações

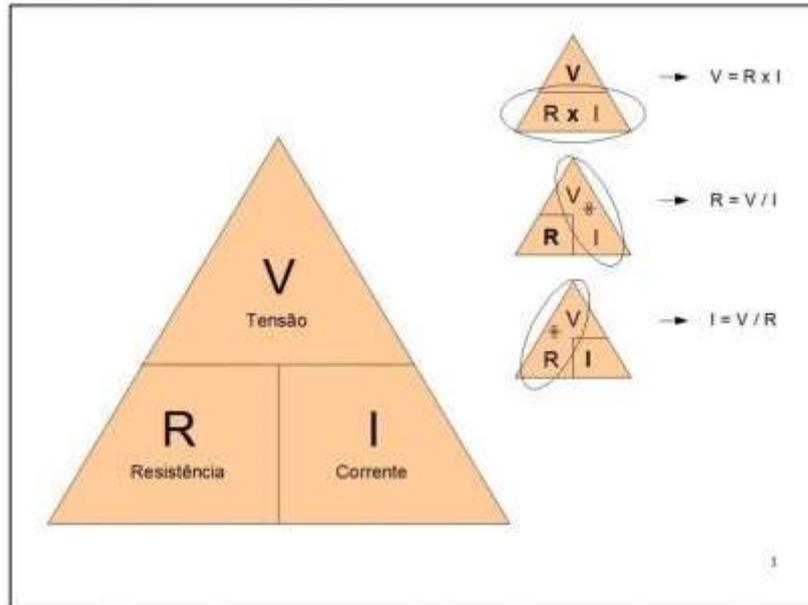
A fórmula básica da 1ª Lei de Ohm é:

$$V = R * I$$

E desta fórmula é possível derivar mais 2 formulas muito usadas:

$$R = \frac{V}{I} \quad e \quad I = \frac{V}{R}$$

Uma forma de memorizar as fórmulas de maneira mais simples é usar a representação gráfica desta lei:



7.5 – Exemplo de aplicação - Corrente Elétrica.

Vamos tratar de alguns exemplos de aplicação das fórmulas vistas anteriormente.

Em um circuito com $V = 12V$ e $R = 500\Omega$ qual a corrente?

Usando a fórmula de corrente temos:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{500} = 0,024A \text{ ou } 24mA$$

7.6 – Exemplo de aplicação – Resistência Elétrica

Em um circuito com $V = 24V$ e $I = 20mA$ qual a resistência elétrica deste circuito?

Usando a fórmula de resistência temos:

Devemos converter os 20mA para A, então 20mA são 0,02A.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{24}{0,02} = 1200\Omega \text{ ou } 1,2K\Omega$$

7.7 – Exemplo de aplicação – Tensão Elétrica

Em um circuito com $I = 100\mu\text{A}$ e $R = 2\text{M}\Omega$ qual a tensão elétrica deste circuito?

Fazendo as conversões de unidade temos que $100\mu\text{A} = 0,0001\text{A}$ e $2\text{M}\Omega = 2000000\Omega$

Usando a fórmula de resistência temos:

$$V = R * I = 2000000 * 0,0001 = 200V$$

5.6 – Conclusão

Espero que essas aulas tenham auxiliado, e que você tenha absorvido a maior quantidade possível de conteúdo.

A 1ª Lei de Ohm é mesmo bastante importante não é mesmo, em grande parte das vezes você irá usar essas fórmulas e estes conceitos para que você possa desenvolver raciocínios teóricos e cálculos relacionados a este assunto.

Tenha sempre em mente o triângulo das fórmulas, desta forma você não vai precisar decorar as fórmulas, você precisa apenas lembrar de um desenho e saber usá-lo a seu favor.

Sempre que precisar chegar a conclusões sobre as relações entre Tensão e corrente e corrente e resistência, aplique valores às fórmulas, desta maneira você conseguirá observar a relação entre estas grandezas observando os resultados dos cálculos.

Espero que tenha gostado deste capítulo.

Neste módulo podemos entender melhor as principais características dos circuitos série, paralelo e misto e como elas são feitas na prática.

Esta ideia é relativamente simples porém, é necessário entender e diferenciar as características de cada uma delas, para que assim você possa fazer uma análise de circuitos mais assertiva.

Estes conceitos são usados em 100% dos circuitos elétricos e eletrônicos.

Capítulo 7 – Primeira lei de Ohm

7.1 – Introdução

Falaremos sobre circuitos elétricos em corrente contínua:

1. Definição da 1ª Lei de Ohm;
2. Georg Simon Ohm + Circuitos Elétricos;
3. Determinação Experimental da 1ª Lei de Ohm;
4. Fórmula Básica e suas derivações;
5. Exemplo de Aplicação - Corrente Elétrica;
6. Exemplo de Aplicação - Resistência Elétrica;
7. Exemplo de Aplicação - Tensão Elétrica;
8. Conclusão.

7.1 – Definição da 1ª Lei de Ohm

A Primeira lei de Ohm trata da relação de proporcionalidade entre a corrente elétrica que atravessa um dispositivo e a tensão à qual ele está submetido.

A primeira Lei de Ohm afirma que a corrente elétrica que atravessa um dispositivo qualquer é sempre diretamente proporcional à tensão aplicada a esse dispositivo.

Dispositivos que não apresentam um valor de corrente elétrica proporcional à tensão são denominados de não ôhmicos. Na Microeletrônica, a maior parte das tecnologias é feita com dispositivos que não obedecem à chamada Primeira lei de Ohm, como celulares, calculadoras etc.

Observou-se que aplicando uma diferença de potencial nas pontas de um fio condutor, e mantendo a temperatura, que quase sempre a tensão (U) será proporcional a corrente (I).

Então Ohm definiu que a constante de proporcionalidade entre tensão (U) e corrente (I) seria denominada Resistência elétrica (R) do condutor.

Com isso surgiu

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

Portanto: $V = R * I$

A unidade de medida da resistência é o ohm e é simbolizada pela letra grega Ω (ômega maiúsculo).

Ohm concluiu:

“Mantendo-se a temperatura de um resistor constante, a diferença de potencial aplicada nos seus extremos é diretamente proporcional à intensidade da corrente elétrica”.

7.2 – Georg Simon Ohm + Circuitos Elétricos

Georg Simon Ohm (1787-1854) foi um físico e matemático alemão que definiu o novo conceito de resistência elétrica.

Sua formulação matemática é conhecida como "Lei de Ohm".

Georg Simon Ohm (1787-1854) nasceu em Erlanger, na Baviera, no Sudeste da Alemanha, no dia 16 de março de 1787. Filho de um serralheiro e armeiro que depois exercer a mesma função pela Alemanha e França, quebrou a sucessão voltando-se para o estudo da Ciência e da Matemática.

Em 1827, com 40 anos de idade, Georg Ohm publicou um trabalho intitulado: “Medidas Matemáticas de Correntes Elétricas”.

Na época o trabalho dele foi ignorado, pois os que haviam lido não entenderam e por isso acharam que não traria contribuição para a ciência e a matemática.

O que foi um grande equívoco pois é uma das Leis mais usadas no estudo da eletricidade.

Georg Simon Ohm conseguiu formular um enunciado que envolvia além dessas grandezas a diferença de potencial: “A intensidade da corrente elétrica que percorre um circuito aumenta proporcionalmente ao aumento da força eletromotriz e decresce proporcionalmente ao aumento da resistência”.

É quase a expressão de uma lei universal – quanto maior o trabalho a realizar, maior o esforço que temos de fazer para realiza-lo. Sua formulação matemática é conhecida como Lei de Ohm.

Após sua morte, na reunião do Congresso Internacional de Engenheiros Eletricistas em Paris, em 1881, decidiu-se dar o nome de Ohm à unidade de resistência elétrica. O alemão foi quem demonstrou a relação entre as três grandes unidades de eletricidade, o ampère, o volt e o ohm.

Georg Simon Ohm faleceu em Munique, na Alemanha, no dia 6 de julho de 1854.

Como mencionado anteriormente, a fórmula principal que o Ohm definiu foi:

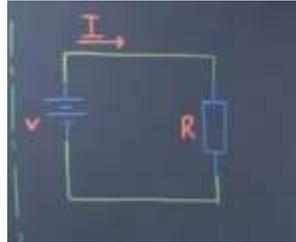
$$R = \frac{V}{I}$$

7.3 – Determinação experimental da 1ª Lei de Ohm

Em um circuito elétrico geralmente o que conseguimos alterar são os valores de tensão e resistência.

Vamos fazer algumas análises para que possamos tirar algumas conclusões sobre este assunto.

No primeiro momento vamos adotar um circuito onde: $V = 9V$ e $R = 100\Omega$



Então temos que:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{9}{100} = 0,09A$$

Fazendo a mesma análise, mas agora adotando $R = 200\Omega$ e a mesma tensão anterior $V = 9V$ temos:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{9}{200} = 0,045A$$

Em um terceiro momento Ohm verificou, adotando os valores: $R = 400\Omega$ e $V = 9V$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{9}{400} = 0,0225A$$

Então chegamos a conclusão de que adotando a tensão com valor fixo, quanto maior a resistência menor a corrente.

Se aumentarmos a tensão e mantermos a resistência elétrica teremos: $V = 20V$ e $R = 100\Omega$ então teremos:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{20}{100} = 0,2A$$

Então se eu aumentar a tensão, e manter o mesmo valor de resistência, o valor da corrente aumenta.

Se eu diminuir a tensão temos:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{5}{100} = 0,05A$$

Então se diminuir a tensão e manter o valor da resistência o valor da corrente elétrica diminui.

Então analisando os dados podemos observar que ***mantendo a mesma resistência elétrica, quanto maior a tensão maior a corrente.***

E ***mantendo o mesmo valor de tensão, a corrente elétrica é inversamente proporcional a resistência elétrica.***

7.4 – Fórmula Básica e suas derivações

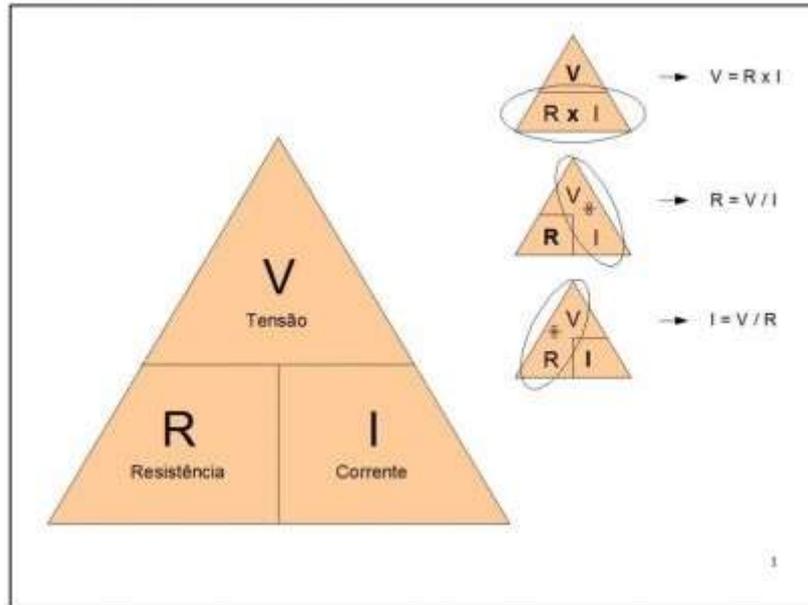
A fórmula básica da 1ª Lei de Ohm é:

$$V = R * I$$

E desta fórmula é possível derivar mais 2 formulas muito usadas:

$$R = \frac{V}{I} \quad e \quad I = \frac{V}{R}$$

Uma forma de memorizar as fórmulas de maneira mais simples é usar a representação gráfica desta lei:



7.5 – Exemplo de aplicação - Corrente Elétrica.

Vamos tratar de alguns exemplos de aplicação das fórmulas vistas anteriormente.

Em um circuito com $V = 12V$ e $R = 500\Omega$ qual a corrente?

Usando a fórmula de corrente temos:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{500} = 0,024A \text{ ou } 24mA$$

7.6 – Exemplo de aplicação – Resistência Elétrica

Em um circuito com $V = 24V$ e $I = 20mA$ qual a resistência elétrica deste circuito?

Usando a fórmula de resistência temos:

Devemos converter os 20mA para A, então 20mA são 0,02A.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{24}{0,02} = 1200\Omega \text{ ou } 1,2K\Omega$$

7.7 – Exemplo de aplicação – Tensão Elétrica

Em um circuito com $I = 100\mu\text{A}$ e $R = 2\text{M}\Omega$ qual a tensão elétrica deste circuito?

Fazendo as conversões de unidade temos que $100\mu\text{A} = 0,0001\text{A}$ e $2\text{M}\Omega = 2000000\Omega$

Usando a fórmula de resistência temos:

$$V = R * I = 2000000 * 0,0001 = 200V$$

5.6 – Conclusão

Espero que essas aulas tenham auxiliado, e que você tenha absorvido a maior quantidade possível de conteúdo.

A 1ª Lei de Ohm é mesmo bastante importante não é mesmo, em grande parte das vezes você irá usar essas fórmulas e estes conceitos para que você possa desenvolver raciocínios teóricos e cálculos relacionados a este assunto.

Tenha sempre em mente o triângulo das fórmulas, desta forma você não vai precisar decorar as fórmulas, você precisa apenas lembrar de um desenho e saber usá-lo a seu favor.

Sempre que precisar chegar a conclusões sobre as relações entre Tensão e corrente e corrente e resistência, aplique valores às fórmulas, desta maneira você conseguirá observar a relação entre estas grandezas observando os resultados dos cálculos.

Espero que tenha gostado deste capítulo.

Neste módulo podemos entender melhor as principais características dos circuitos série, paralelo e misto e como elas são feitas na prática.

Esta ideia é relativamente simples porém, é necessário entender e diferenciar as características de cada uma delas, para que assim você possa fazer uma análise de circuitos mais assertiva.

Estes conceitos são usados em 100% dos circuitos elétricos e eletrônicos.

Segunda Lei de Ohm

George Simon Ohm foi um cientista que estudou a resistência elétrica do ponto de vista dos elementos que têm influência sobre ela. Por esse estudo, ele concluiu que a resistência elétrica de um condutor depende fundamentalmente de quatro fatores a saber:

1. material do qual o condutor é feito;
2. comprimento (l) do condutor;
3. área de sua seção transversal (s);
4. temperatura no condutor.

Para que se pudesse analisar a influência de cada um desses fatores sobre a resistência elétrica, foram realizadas várias experiências variando-se apenas um dos fatores e mantendo constantes os três restantes.

Assim, por exemplo, para analisar a influência do **comprimento** do condutor, manteve-se constante o tipo de material, sua temperatura e a área da seção transversal e variou-se seu comprimento.

S _____ resistência obtida = R
 S _____ resistência obtida = 2R
 S _____ resistência obtida = 3R

Com isso, verificou-se que a resistência elétrica **aumentava** ou **diminuía** na **mesma proporção** em que aumentava ou diminuía o comprimento do condutor.

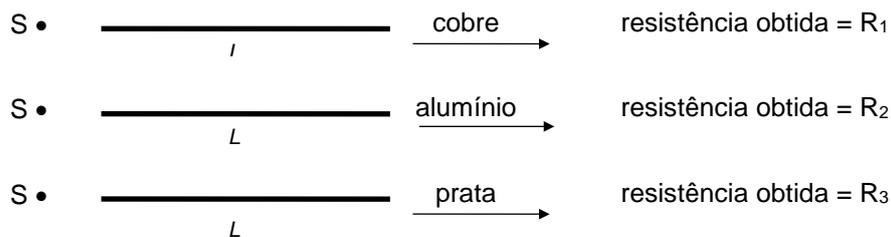
Isso significa que: *“A resistência elétrica é **diretamente** proporcional ao comprimento do condutor”.*

Para verificar a influência da **seção transversal**, foram mantidos constantes o comprimento do condutor, o tipo de material e sua temperatura, variando-se apenas sua seção transversal.

S	•	_____	resistência obtida = R
2 . S	•	_____	resistência obtida = R/2
3 . S	•	_____	resistência obtida = R/3

Desse modo, foi possível verificar que a resistência elétrica **diminuía** à medida que se **aumentava a seção transversal** do condutor. Inversamente, a resistência elétrica **aumentava**, quando se diminuía a seção transversal do condutor. Isso levou à conclusão de que: *“A resistência elétrica de um condutor é **inversamente** proporcional à sua área de seção transversal”.*

Mantidas as constantes de comprimento, seção transversal e temperatura, variou-se o tipo de material:



Utilizando-se materiais diferentes, verificou-se que não havia relação entre eles. Com o mesmo material, todavia, a resistência elétrica mantinha sempre o mesmo valor.

A partir dessas experiências, estabeleceu-se uma constante de proporcionalidade que foi denominada de **resistividade elétrica**.

Resistividade elétrica

Resistividade elétrica é a resistência elétrica específica de um certo condutor com 1 metro de comprimento, 1 mm^2 de área de seção transversal, medida em temperatura ambiente constante de 20°C .

A unidade de medida de resistividade é o $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$, representada pela letra grega ρ (lê-se “rô”).

A tabela a seguir apresenta alguns materiais com seu respectivo valor de resistividade.

Material	ρ ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$) a 20°C
Alumínio	0,0278
Cobre	0,0173
Estanho	0,1195
Ferro	0,1221
Níquel	0,0780
Zinco	0,0615
Chumbo	0,21
Prata	0,30

Diante desses experimentos, George Simon OHM estabeleceu a sua segunda lei que diz que:

“A resistência elétrica de um condutor é diretamente proporcional ao produto da resistividade específica pelo seu comprimento, e inversamente proporcional à sua área de seção transversal.”

Matematicamente, essa lei é representada pela seguinte equação:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S}$$

Nela, **R** é a resistência elétrica expressa em Ω ; **L** é o comprimento do condutor em metros (m); **S** é a área de seção transversal do condutor em milímetros quadrados (mm^2) e ρ é a resistividade elétrica do material em $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

Influência da temperatura sobre a resistência

Como já foi visto, a resistência elétrica de um condutor depende do tipo de material de que ele é constituído e da mobilidade das partículas em seu interior.

Na maior parte dos materiais, o aumento da temperatura significa maior resistência elétrica. Isso acontece porque com o aumento da temperatura, há um aumento da agitação das partículas que constituem o material, aumentando as colisões entre as partículas e os elétrons livres no interior do condutor.

Isso é particularmente verdadeiro no caso dos metais e suas ligas. Neste caso, é necessário um grande aumento na temperatura para que se possa notar uma pequena variação na resistência elétrica. É por esse motivo que eles são usados na fabricação de resistores. Conclui-se, então, que em um condutor, a variação na resistência elétrica relacionada ao aumento de temperatura depende **diretamente** da variação de resistividade elétrica própria do material com o qual o condutor é fabricado.

Assim, uma vez conhecida a resistividade do material do condutor em uma determinada temperatura, é possível determinar seu novo valor em uma nova temperatura. Matematicamente faz-se isso por meio da expressão:

$$\rho_f = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

Nessa expressão, ρ_f é a resistividade do material na temperatura final em $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; ρ_0 é a resistividade do material na temperatura inicial (geralmente 20° C) em $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; α é o coeficiente de temperatura do material (dado de tabela) e $\Delta\theta$ é a variação de temperatura, ou seja, temperatura final - temperatura inicial, em °C.

A tabela a seguir mostra os valores de coeficiente de temperatura dos materiais que correspondem à variação da resistência elétrica que o condutor do referido material com resistência de 1 Ω sofre quando a temperatura varia de 1° C.

Material	Coefficiente de temperatura α (°C ⁻¹)
Cobre	0,0039
Alumínio	0,0032
Tungstênio	0,0045
Ferro	0,005
Prata	0,004
Platina	0,003
Nicromo	0,0002
Constantan	0,00001

Como exemplo, vamos determinar a resistividade do cobre na temperatura de 50° C, sabendo-se que à temperatura de 20° C, sua resistividade corresponde a 0,0173 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

$$\rho_0 = 0,0173$$

$$\alpha \text{ (}^\circ\text{C}^{-1}\text{)} = 0,0039 \cdot (50 - 20)$$

$$\rho_f = ?$$

Como $\rho_f = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$, então:

$$\rho_f = 0,0173 \cdot (1 + 0,0039 \cdot (50 - 20))$$

$$\rho_f = 0,0173 \cdot (1 + 0,0039 \cdot 30)$$

$$\rho_f = 0,0173 \cdot (1 + 0,117)$$

$$\rho_f = 0,0173 \cdot 1,117$$

$$\rho_f = \mathbf{0,0193 \Omega \cdot mm^2/m}$$

Primeira lei de Kirchhoff

Em geral, os circuitos eletrônicos constituem-se de vários componentes, todos funcionando simultaneamente. Ao abrir um rádio portátil ou outro aparelho eletrônico qualquer, observamos quantos componentes são necessários para fazê-lo funcionar.

Ao ligar um aparelho, a corrente flui por muitos caminhos; e a tensão fornecida pela fonte de energia distribui-se pelos componentes. Esta distribuição de corrente e tensão obedece a duas leis fundamentais formuladas por Kirchhoff.

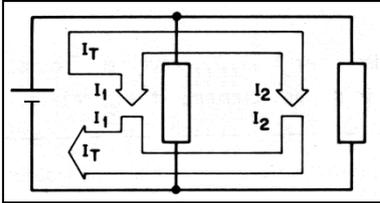
Entretanto, para compreender a distribuição das correntes e tensões em circuitos que compõem um rádio portátil, por exemplo, precisamos compreender antes como ocorre esta distribuição em circuitos simples, formados apenas por resistores, lâmpadas, etc...

Esta lição vai tratar das Leis de Kirchhoff e da medição da tensão e da corrente em circuitos com mais de uma carga, visando capacitá-lo a calcular e medir tensões e correntes em circuitos desse tipo.

Para desenvolver satisfatoriamente os conteúdos e as atividades aqui apresentados, você deverá saber previamente o que é associação de resistores e Lei de Ohm.

Primeira Lei de Kirchhoff

A Primeira Lei de Kirchhoff, também chamada de Lei das Correntes de Kirchhoff (LCK) ou Lei dos Nós, refere-se à forma como a corrente se distribui nos circuitos em paralelo.



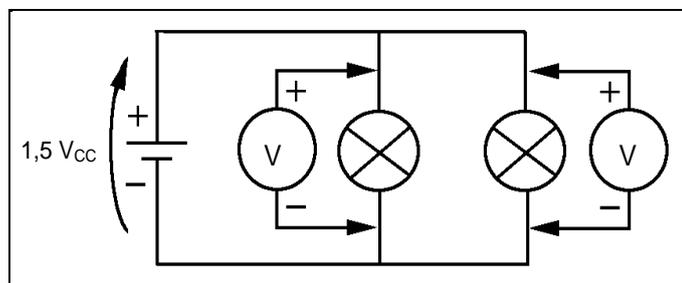
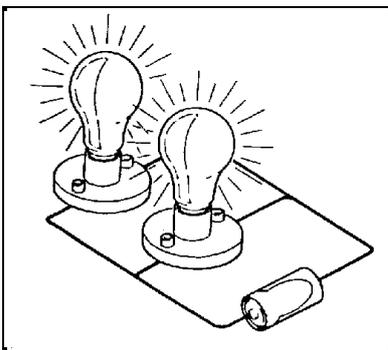
A partir da Primeira Lei de Kirchhoff e da Lei de Ohm, podemos determinar a corrente em cada um dos componentes associados em paralelo. Para compreender essa primeira lei, precisamos conhecer algumas características do circuito em paralelo.

Características do circuito em paralelo

O circuito em paralelo apresenta três características fundamentais:

- Fornece mais de um caminho à circulação da corrente elétrica;
- A tensão em todos os componentes associados é a mesma;
- As cargas são independentes.

Estas características são importantes para a compreensão das leis de Kirchhoff. Podem ser constatadas tomando como ponto de partida o circuito abaixo.



Observe que tanto a primeira como a segunda lâmpada têm um dos terminais ligado diretamente ao pólo positivo e o outro, ao pólo negativo. Dessa forma, cada lâmpada conecta-se diretamente à pilha e recebe $1,5 V_{CC}$ nos seus terminais.

As correntes na associação em paralelo

A função da fonte de alimentação nos circuitos é fornecer aos consumidores a corrente necessária para seu funcionamento.

Quando um circuito possui apenas uma fonte de alimentação, a corrente fornecida por essa fonte chama-se corrente total. Nos esquemas, é representada pela notação I_T .

Em relação à fonte de alimentação não importa que os consumidores sejam lâmpadas, resistores ou aquecedores. O que importa é a tensão e a resistência total dos consumidores que determinam a corrente total (I_T) fornecida por essa mesma fonte.

A corrente total é dada pela divisão entre tensão total e resistência total. Matematicamente, a corrente total é obtida por:

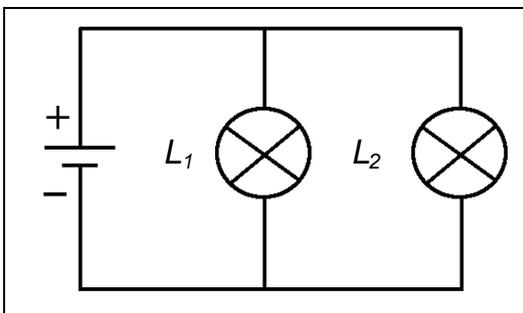
$$I_1 = \frac{V_1}{R_1}$$

Observação

Chega-se a esse resultado aplicando a Lei de Ohm ao circuito:

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

No exemplo a seguir, a corrente total depende da tensão de alimentação (1,5 V) e da resistência total das lâmpadas (L_1 e L_2 em paralelo).

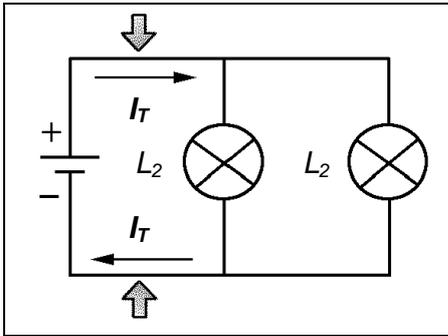


$$R_T = \frac{R_{L1} \cdot R_{L2}}{R_{L1} + R_{L2}} = \frac{200 \cdot 300}{200 + 300} = \frac{60000}{500} = 120$$

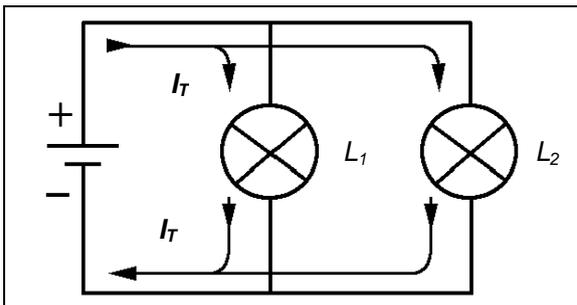
Portanto, a corrente total será:

$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{1,5}{120} = 0,0125A \text{ ou } 12,5 \text{ mA}$$

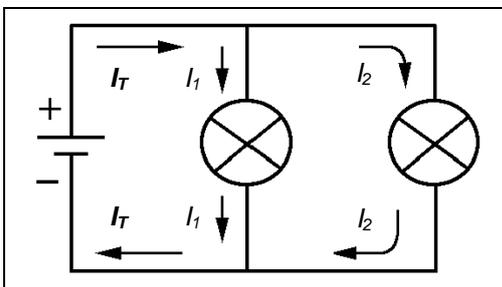
Este valor de corrente circula em toda a parte do circuito que é comum às duas lâmpadas.



A partir do nó (no terminal positivo da pilha), a corrente total (I_T) divide-se em duas partes.

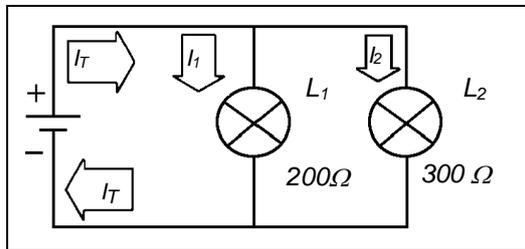


Essas correntes são chamadas de correntes parciais e podem ser denominadas I_1 (para a lâmpada 1) e I_2 (para a lâmpada 2).



A forma como a corrente I_T se divide a partir do nó depende unicamente da resistência das lâmpadas. Assim, a lâmpada de menor resistência permitirá a passagem de maior parcela da corrente I_T .

Portanto, a corrente I_1 na lâmpada 1 (de menor resistência) será **maior** que a corrente I_2 na lâmpada 2.



$$I_1 > I_2$$

Pode-se calcular o valor da corrente que circula em cada ramal a partir da Lei de Ohm. Para isso basta conhecer a tensão aplicada e a resistência de cada lâmpada. Desse modo, temos:

Lâmpada 1

$$I_1 = \frac{V_{L1}}{R_{L1}} = \frac{1,5}{200} = 0,0075 \text{ A ou } 7,5 \text{ mA}$$

Lâmpada 2

$$I_2 = \frac{V_{L2}}{R_{L2}} = \frac{1,5}{300} = 0,005 \text{ A ou seja, } 5 \text{ mA}$$

Com essas noções sobre o circuito em paralelo, podemos compreender melhor a Primeira Lei de Kirchhoff que diz: "A soma das correntes que chegam a um nó é igual à soma das correntes que dele saem."

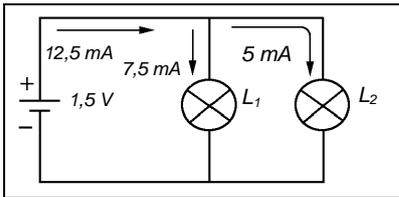
Matematicamente, isso resulta na seguinte equação:

$$I_T = I_1 + I_2$$

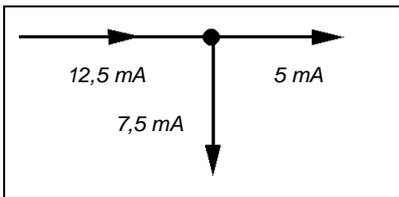
A partir desse enunciado, é possível determinar um valor de corrente desconhecida, bastando para isso que se disponha dos demais valores de corrente que chegam ou saem de um nó.

Demonstração da 1ª Lei de Kirchhoff

Para demonstrar essa 1ª Lei de Kirchhoff, vamos observar os valores já calculados do circuito em paralelo mostrado a seguir.



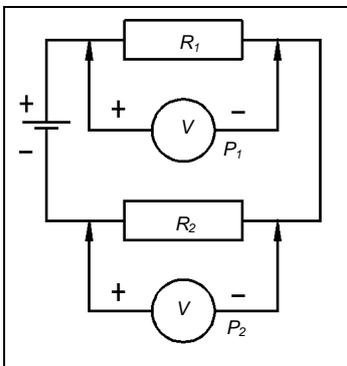
Vamos considerar o nó superior: neste caso, temos o que mostra a figura a seguir.



Observando os valores de corrente no nó, verificamos que realmente as correntes que saem, somadas, originam um valor igual ao da corrente que entra.

Segunda lei de Kirchhoff

A 2ª Lei de Kirchhoff, também conhecida como Lei das Malhas ou Lei das Tensões de Kirchhoff (LTK), refere-se à forma como a tensão se distribui nos circuitos em série.



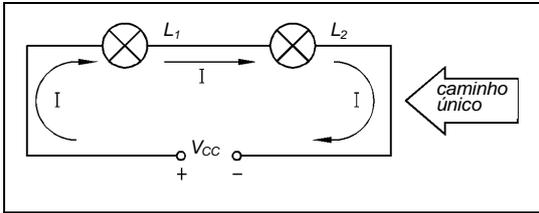
Por isso, para compreender essa lei, é preciso conhecer antes algumas características do circuito em série.

Características do circuito em série

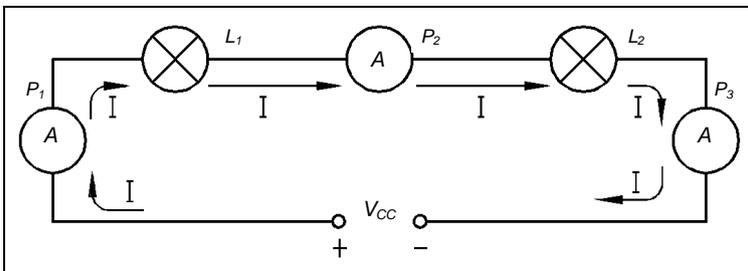
O circuito em série apresenta três características importantes:

1. Fornece apenas um caminho para a circulação da corrente elétrica;
2. A intensidade da corrente é a mesma ao longo de todo o circuito em série;
3. O funcionamento de qualquer um dos consumidores depende do funcionamento dos consumidores restantes.

O circuito ao lado ilustra a primeira característica: como existe um único caminho, a mesma corrente que sai do pólo positivo da fonte passa pela lâmpada L1 e chega à lâmpada L2 e retorna à fonte pelo pólo negativo.



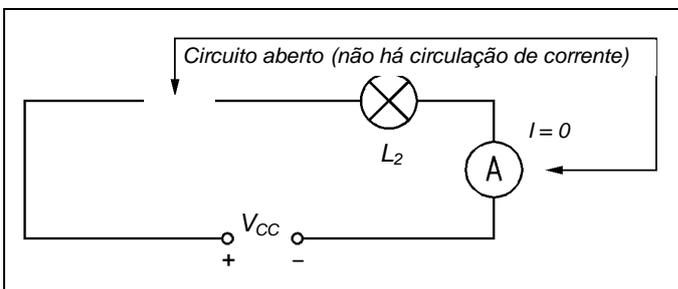
Isso significa que um medidor de corrente (amperímetro, miliamperímetro...) pode ser colocado em qualquer parte do circuito. Em qualquer posição, o valor indicado pelo instrumento será o mesmo. A figura a seguir ajuda a entender a segunda característica do circuito em série.



Observação

A corrente que circula em um circuito em série é designada simplesmente pela notação I .

A forma de ligação das cargas, uma após a outra, mostradas na figura abaixo, ilustra a terceira característica. Caso uma das lâmpadas (ou qualquer tipo de carga) seja retirada do circuito, ou tenha o filamento rompido, o circuito elétrico fica aberto, e a corrente cessa.



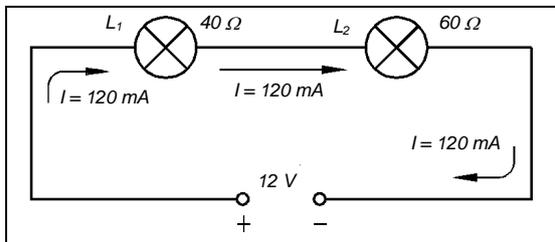
Pode-se dizer, portanto, que num circuito em série o funcionamento de cada componente depende dos restantes.

Corrente na associação em série

Pode-se determinar a corrente de igual valor ao longo de todo o circuito em série, com o auxílio da Lei de Ohm. Nesse caso, deve-se usar a tensão nos terminais da associação e a sua resistência total será como é mostrado na expressão a seguir.

$$I = \frac{V_T}{R_T}$$

Observe o circuito a seguir.



Tomando-o como exemplo, temos:

$$R_T = 40 \Omega + 60 \Omega = 100 \Omega$$

$$V_T = 12 \text{ V}$$

$$I = \frac{12}{100} = 0,12 \text{ A ou } 120 \text{ mA}$$

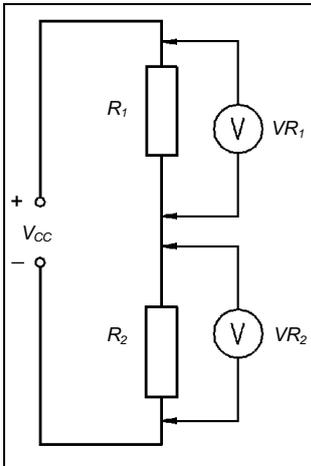
Tensões no circuito em série

Como os dois terminais da carga não estão ligados diretamente à fonte, a tensão nos componentes de um circuito em série difere da tensão da fonte de alimentação.

O valor de tensão em cada um dos componentes é sempre **menor** que a tensão de alimentação.

A parcela de tensão que fica sobre cada componente do circuito denomina-se queda de tensão no componente. A queda de tensão é representada pela notação **V**.

Observe no circuito a seguir o voltímetro que indica a queda de tensão em R_1 (V_{R1}) e o voltímetro que indica a queda de tensão em R_2 (V_{R2}).

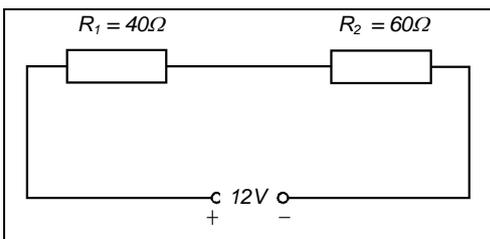


Determinação da queda de tensão

A queda de tensão em cada componente da associação em série pode ser determinada pela Lei de Ohm. Para isso é necessário dispor-se tanto da corrente no circuito como dos seus valores de resistência.

$$V = R \cdot I \begin{cases} \nearrow V_{R1} = R_1 \cdot I \\ \longrightarrow V_{R2} = R_2 \cdot I \\ \searrow V_{Rn} = R_n \cdot I \end{cases}$$

Vamos tomar como exemplo o circuito apresentado na figura abaixo.



$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{12}{100} = 0,12A$$

$$V = R \cdot I \begin{cases} \nearrow \text{queda de tensão em } R_1: V_{R1} = R_1 \cdot I = 40 \cdot 0,12 = \mathbf{4,8V} \\ \searrow \text{queda de tensão em } R_2: V_{R2} = R_2 \cdot I = 60 \cdot 0,12 = \mathbf{7,2V} \end{cases}$$

Observando os valores de resistência e a queda de tensão, notamos que:

- O resistor de **maior resistência** fica com uma parcela **maior** de tensão;
- O resistor de **menor resistência** fica com a **menor** parcela de tensão.

Pode-se dizer que, em um circuito em série, a queda de tensão é proporcional ao valor do resistor, ou seja

maior resistência → maior queda de tensão

menor resistência → menor queda de tensão

Com essas noções sobre o circuito em série, fica mais fácil entender a 2ª Lei de Kirchhoff que diz que: "A soma das quedas de tensão nos componentes de uma associação em série é igual à tensão aplicada nos seus terminais extremos."

Chega-se a essa lei tomando-se como referência os valores de tensão nos resistores do circuito

determinado anteriormente e somando as quedas de tensão nos dois resistores ($V_{R1} + V_{R2}$). Disso resulta:

$4,8 \text{ V} + 7,2 \text{ V} = 12 \text{ V}$, que é a tensão de alimentação.

Aplicação

Geralmente a 2ª Lei de Kirchhoff serve de "ferramenta" para determinar quedas de tensão desconhecidas em circuitos eletrônicos.

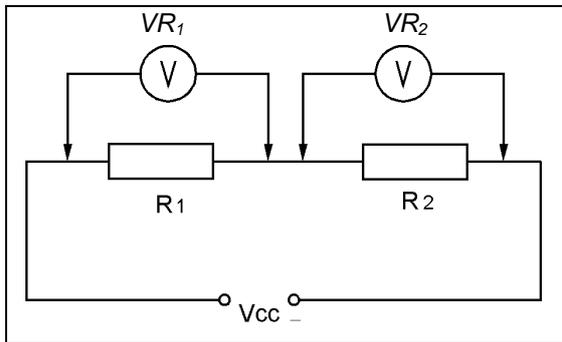
O circuito em série, formado por dois ou mais resistores, divide a tensão aplicada na sua entrada em duas ou mais partes. Portanto, o circuito em série é um **divisor de tensão**.

Observação

O **divisor de tensão** é usado para diminuir a tensão e para "polarizar" componentes eletrônicos, tornando a tensão adequada quanto à polaridade e quanto à amplitude.

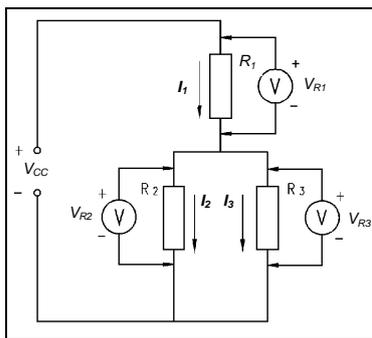
É também usado em medições de tensão e corrente, dividindo a tensão em amostras conhecidas em relação à tensão medida.

Quando se dimensionam os valores dos resistores, pode-se dividir a tensão de entrada da forma que for necessária.



Leis de Kirchhoff e de Ohm em circuitos mistos.

As Leis de Kirchhoff e de Ohm permitem determinar as tensões ou correntes em cada componente de um circuito misto.



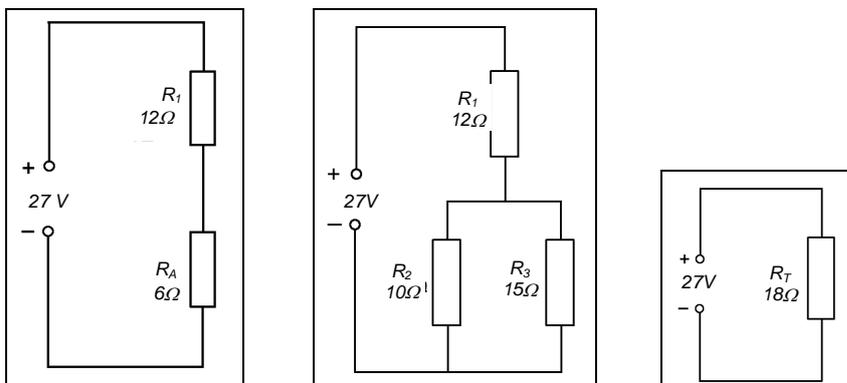
Os valores elétricos de cada componente do circuito podem ser determinados a partir da execução da seqüência de procedimentos a seguir:

- Determinação da resistência equivalente;
- Determinação da corrente total;
- Determinação das tensões ou correntes nos elementos do circuito.

Determinação da resistência equivalente

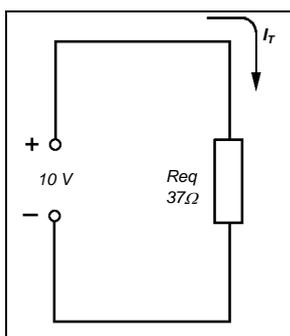
Para determinar a resistência equivalente, ou total (R_T) do circuito, empregam-se os "circuitos parciais". A partir desses circuitos, é possível reduzir o circuito original e simplificá-lo até alcançar o valor de um único resistor.

Pela análise dos esquemas dos circuitos abaixo fica clara a determinação da resistência equivalente.



Determinação da corrente total

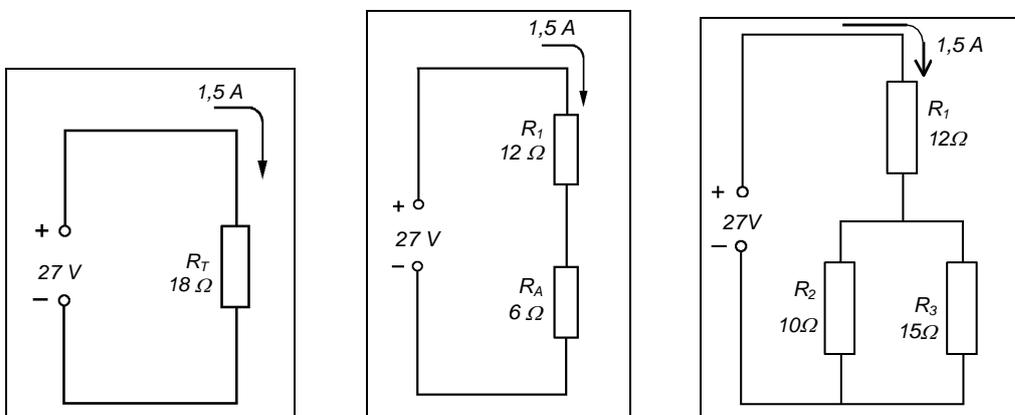
Pode-se determinar a corrente total aplicando ao circuito equivalente final a Lei de Ohm.



$$I_T = \frac{E_T}{R_T} = \frac{27V}{18\Omega} = 1,5 A$$

$$I_T = 1,5 A$$

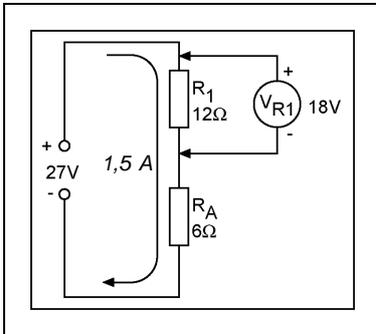
O circuito equivalente final é uma representação simplificada do circuito original (e do circuito parcial). Conseqüentemente, a corrente calculada também é válida para esses circuitos, conforme mostra a seqüência dos circuitos abaixo.



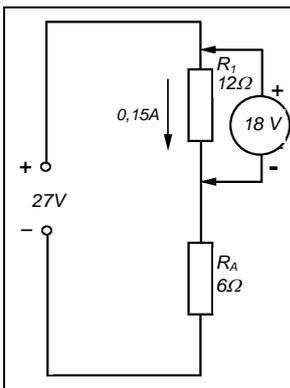
Determinação das tensões e correntes individuais

A corrente total, aplicada ao “circuito parcial”, permite determinar a queda de tensão no resistor R_1 .

Observe que $V_{R1} = I_{R1} \cdot R_1$. Como I_{R1} é a mesma I , $V_{R1} = 0,15A \cdot 12\Omega = 18\text{ V}$ **$V_{R1} = 18\text{ V}$** .



Pode-se determinar a queda de tensão em R_A pela 2ª Lei de Kirchhoff: a soma das quedas de tensão num circuito em série equivale à tensão de alimentação.



$$V_T = V_{R1} + V_{RA}$$

$$V_{RA} = V_T - V_{R1} = 27\text{ V} - 18\text{ V} = 9\text{ V}$$

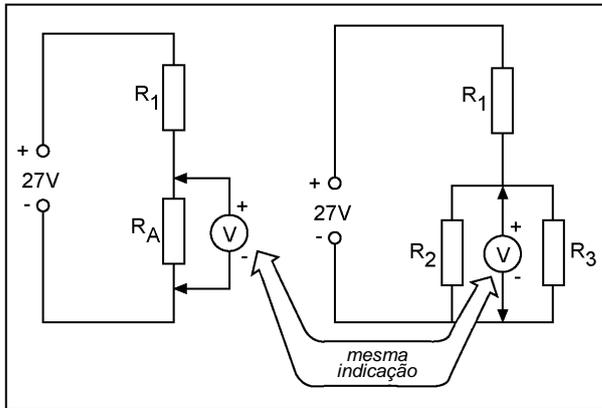
$$\mathbf{V_{RA} = 9\text{ V}}$$

Observação

Determina-se também a queda de tensão em R_A pela Lei de Ohm: $V_{RS} = I \cdot R_A$, porque os valores de I (1,5 A) e R_A (6 Ω) são conhecidos. Ou seja:

$$V_{RA} = 1,5\text{ A} \cdot 6\ \Omega = 9\text{ V}.$$

Calculando a queda de tensão em R_A , obtém-se na realidade a queda de tensão na associação em paralelo R_2 R_3 .



$$V_{R_A} = V_{R_2} = V_{R_3}$$

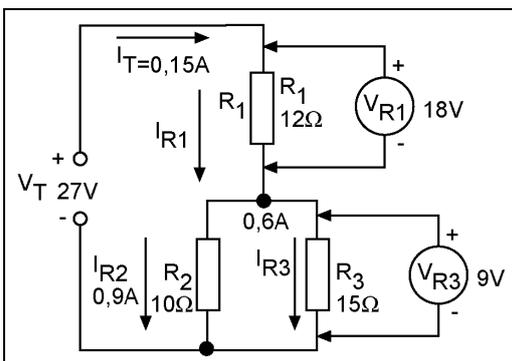
Os últimos dados ainda não determinados são as correntes em R_2 (I_{R_2}) e R_3 (I_{R_3}). Estas correntes podem ser calculadas pela Lei de Ohm:

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

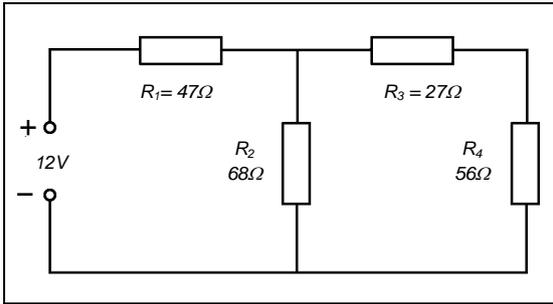
$$I_{R_2} = \frac{V_{R_2}}{R_2} = \frac{9\text{ V}}{10\ \Omega} = 0,9\text{ A}$$

$$I_{R_3} = \frac{V_{R_3}}{R_3} = \frac{9\text{ V}}{15\ \Omega} = 0,6\text{ A}$$

A figura a seguir mostra o circuito original com todos os valores de tensão e corrente.



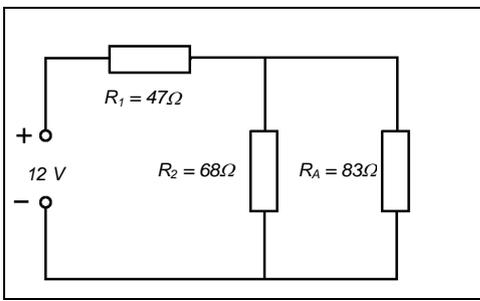
A seguir, é apresentado outro circuito como mais um exemplo de desenvolvimento desse cálculo.



O cálculo deve ser feito nas seguintes etapas:

a) Determinação da resistência equivalente

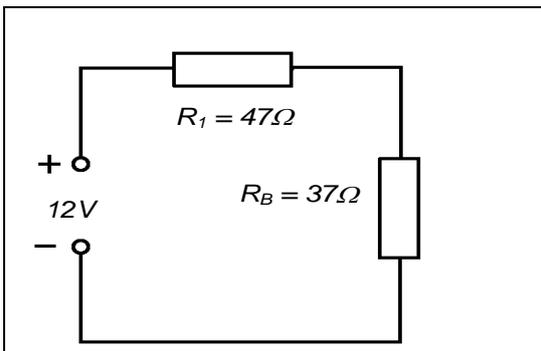
Para determinar a resistência equivalente, basta substituir R_3 e R_4 em série no circuito por R_A .



$$R_A = R_3 + R_4 = 27 + 56 = 83$$

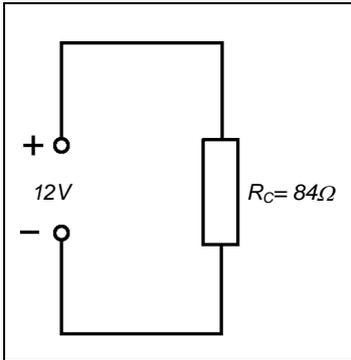
$$R_A = 83 \Omega$$

Substituindo a associação de R_2/R_A por um resistor R_B , temos:



$$R_B = \frac{R_A \times R_2}{R_A + R_2} = \frac{68 \times 83}{68 + 83} = 37\Omega$$

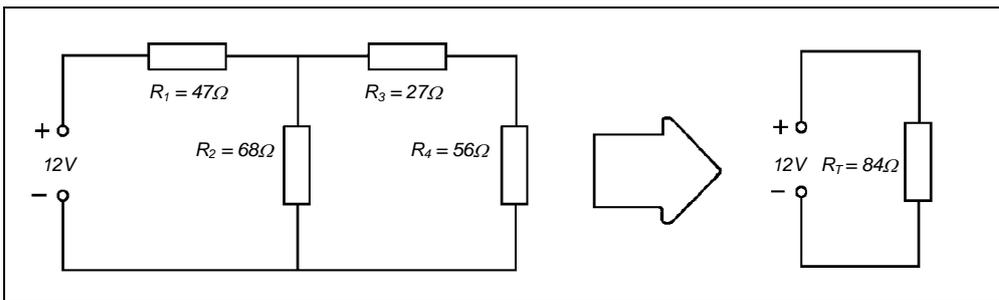
Substituindo a associação em série de R_1 e R_B por um resistor R_C , temos o que mostra a figura a seguir.



$$R_C = R_1 + R_B = 47 + 37 = 84\Omega$$

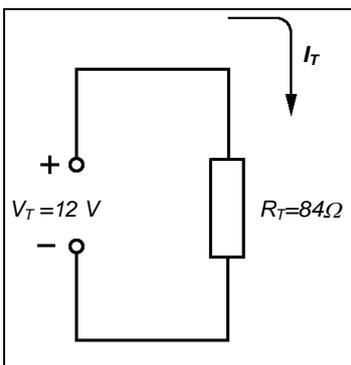
$$R_C = 84\Omega$$

Determina-se R_T a partir de R_C , uma vez que representa a resistência total do circuito.



b) Determinação da corrente total

Para determinar a corrente total, usa-se a tensão de alimentação e a resistência equivalente.

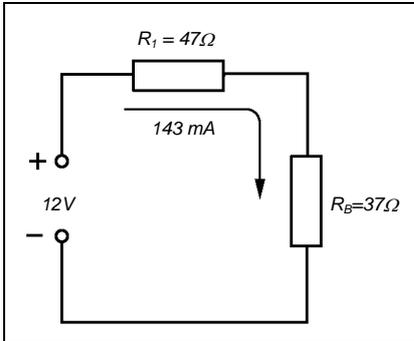


$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{12V}{84\Omega} = 0,143A \text{ ou } 143 \text{ mA}$$

$$I_T = 143 \text{ mA}$$

c) Determinação da queda de tensão em R_1 e R_B

Para determinar a queda de tensão, usa-se a corrente I_T no segundo circuito parcial, conforme mostra figura a seguir.



$$V_{R1} = I_{R1} \cdot R_1$$

Como $I_{R1} = I_T = 143\text{ mA}$

$$V_{R1} = 0,143 \cdot 47 = 6,7\text{ V}$$

$$V_{R1} = 6,7\text{ V}$$

Determina-se a queda no resistor R_B pela Lei de Kirchhoff:

$$V = V_{R1} + V_{RB}$$

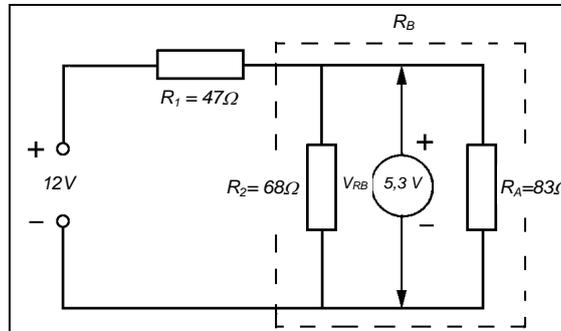
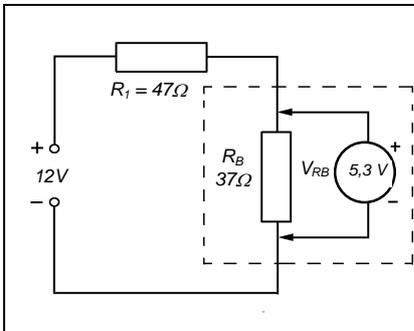
$$V_{RB} = V - V_{R1}$$

$$V_{RB} = 12 - 6,7 = 5,3\text{ V}$$

$$V_{RB} = 5,3\text{ V}$$

d) Determinação das correntes em R_2 e R_A

O resistor R_B representa os resistores R_2 e R_A em paralelo (primeiro circuito parcial); portanto, a queda de tensão em R_B é, na realidade, a queda de tensão na associação $R_2//R_A$.



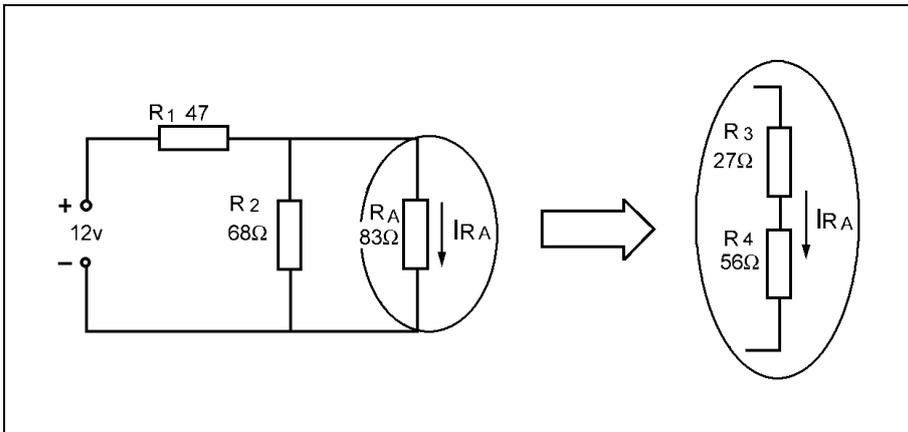
Aplicando a Lei de Ohm, pode-se calcular a corrente em R_2 e R_A .

$$I_{R1} = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{5,3}{68} = 0,078A =$$

$$I_{RA} = \frac{V_{RA}}{R_A} = \frac{5,3}{83} = 0,064 A$$

e) Determinação das quedas de tensão em R_3 e R_4

O resistor R_A representa os resistores R_3 e R_4 em série.



Assim, a corrente denominada I_{RA} é, na realidade, a corrente que circula nos resistores R_3 e R_4 em série.

Com o valor da corrente I_{RA} e as resistências de R_3 e R_4 , calculam-se as suas quedas de tensão pela Lei de Ohm.

$$V_{R3} = R_3 \cdot I_{RA} = 27 \cdot 0,064 = 1,7 V$$

$$V_{R4} = R_4 \cdot I_{RA} = 56 \cdot 0,064 = 3,6 V$$

Potência elétrica em CC

Ao passar por uma carga instalada em um circuito, a corrente elétrica produz, entre outros efeitos, calor, luz e movimento. Esses efeitos são denominados de **trabalho**.

O trabalho de transformação de energia elétrica em outra forma de energia é realizado pelo **consumidor** ou pela **carga**. Ao transformar a energia elétrica, o consumidor realiza um **trabalho elétrico**.

O tipo de trabalho depende da natureza do consumidor de energia. Um aquecedor, por exemplo, produz calor; uma lâmpada, luz; um ventilador, movimento.

A capacidade de cada consumidor produzir trabalho, em determinado tempo, a partir da energia elétrica é chamada de potência elétrica, representada pela seguinte fórmula:

$$P = \frac{\tau}{t}$$

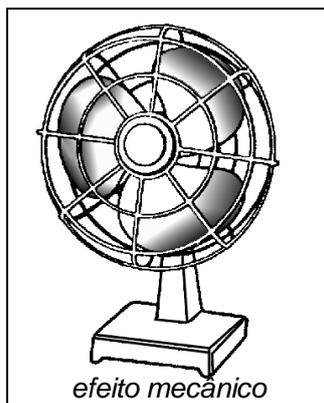
Onde **P** é a potência; **τ** (lê-se “tal”) é o trabalho e **t** é o tempo.

Para dimensionar corretamente cada componente em um circuito elétrico é preciso conhecer a sua potência.

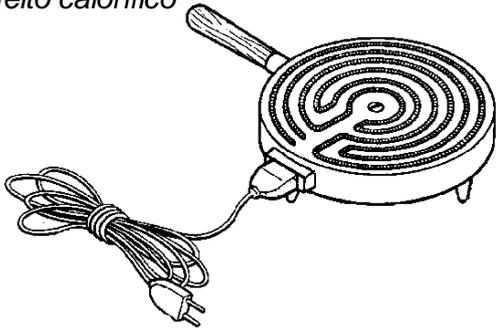
Trabalho elétrico

Os circuitos elétricos são montados visando ao aproveitamento da energia elétrica. Nesses circuitos a energia elétrica é convertida em *calor, luz e movimento*. Isso significa que o trabalho elétrico pode gerar os seguintes efeitos:

- **Efeito calorífico** - Nos fogões, chuveiros, aquecedores, a energia elétrica converte-se em calor.
- **Efeito luminoso** - Nas lâmpadas, a energia elétrica converte-se em luz (e também uma parcela em calor).
- **Efeito mecânico** - Os motores convertem energia elétrica em força motriz, ou seja, em movimento.



efeito calorífico



Potência elétrica

Analisando um tipo de carga como as lâmpadas, por exemplo, vemos que nem todas produzem a mesma quantidade de luz. Algumas produzem grandes quantidades de luz e outras, pequenas quantidades. Da mesma forma, existem aquecedores que ferver um litro de água em 10 min e outros que o fazem em apenas cinco minutos. Tanto um quanto outro aquecedor realizam o mesmo trabalho elétrico: aquecer um litro de água à temperatura de 100° C.

A única diferença é que um deles é mais rápido, realizando o trabalho em menor tempo.

A partir da potência, é possível relacionar trabalho elétrico realizado e tempo necessário para sua realização.

Potência elétrica é, pois, *a capacidade de realizar um trabalho numa unidade de tempo, a partir da energia elétrica.*

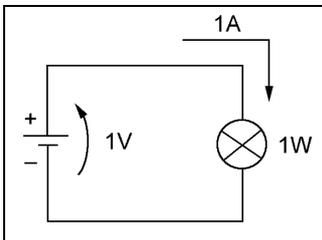
Assim, pode-se afirmar que são de potências diferentes:

- As lâmpadas que produzem intensidade luminosa diferente;
- Os aquecedores que levam tempos diferentes para ferver uma mesma quantidade de água;
- Motores de elevadores (grande potência) e de gravadores (pequena potência).

Unidade de medida da potência elétrica

A potência elétrica é uma grandeza e, como tal, pode ser medida. A unidade de medida da potência elétrica é o **watt**, simbolizado pela letra **W**.

Um **watt** (1W) corresponde à potência desenvolvida no tempo de um segundo em uma carga, alimentada por uma tensão de 1V, na qual circula uma corrente de 1A.



A unidade de medida da potência elétrica **watt** tem múltiplos e submúltiplos como mostra a tabela a seguir.

Denominação		Valor em relação ao watt	
Múltiplo	quilowatt	KW	10^3 W ou 1000 W
Unidade	Watt	W	1 W
Submúltiplos	miliwatt	mW	10^{-3} W ou 0,001 W
	microwatt	μ W	10^{-6} ou 0,000001 W

Na conversão de valores, usa-se o mesmo sistema de outras unidades.

KW		W		mW		μ W	

Observe a seguir alguns exemplos de conversão

a) ,3W = _____ mW

W	mW		
1	3		

↑ (posição inicial da vírgula)

W	mW		
1	3	0	0

(posição atual da vírgula)↑

1,3 W = 1300 mW

b) 50W = _____ KW

KW	W		
	3	5	0

↑

KW	W		
0	3	5	

↑

350 W = 0,35 KW

c) 40 mW = _____ W

W	mW		
	6	4	0

↑

W	mW		
0	6	4	0

↑

640 mW = 0,64 W

d) ,1 KW = _____ W

KW	W		
2	1		

↑

KW	W		
2	1	0	0

↑

2,1 KW = 2100 W

Determinação da potência de um consumidor em CC

A potência elétrica (P) de um consumidor depende da tensão aplicada e da corrente que circula nos seus terminais. Matematicamente, essa relação é representada pela seguinte fórmula: $P = V \cdot I$.

Nessa fórmula V é a tensão entre os terminais do consumidor expressa em **volts (V)**; I é a corrente circulante no consumidor, expressa em **ampéres (A)** e P é a potência dissipada expressa em **watts (W)**.

Exemplo - Uma lâmpada de lanterna de 6 V solicita uma corrente de 0,5 A das pilhas. Qual a potência da lâmpada?

Formulando a questão, temos:

$V = 6V \Rightarrow$ tensão nos terminais da lâmpada

$I = 0,5A \Rightarrow$ corrente através da lâmpada

$P = ?$

Como $P = V \cdot I \Rightarrow P = 6 \cdot 0,5 = 3W$

Portanto, $P = 3W$

A partir dessa fórmula inicial, obtém-se facilmente as equações de corrente para o cálculo de qualquer das três grandezas da equação. Desse modo temos:

- Cálculo da potência quando se dispõe da tensão e da corrente:

$$P = V \cdot I.$$

- Cálculo da corrente quando se dispõe da potência e da tensão:

$$I = \frac{P}{V}$$

- Cálculo da tensão quando se dispõe da potência e da corrente:

$$V = \frac{P}{I}$$

Muitas vezes é preciso calcular a potência de um componente e não se dispõe da tensão e da corrente. Quando não se dispõe da tensão (V) não é possível calcular a potência pela equação $P = V \cdot I$. Esta dificuldade pode ser solucionada com auxílio da Lei de Ohm.

Para facilitar a análise, denomina-se a fórmula da Primeira Lei de Ohm, ou seja, $V = R \cdot I$, de **equação I** e a fórmula da potência, ou seja, $P = V \cdot I$, de **equação II**. Em seguida, substitui-se V da equação II pela definição de V da equação I:

$$\begin{array}{l} V = R \cdot I \rightarrow \text{equação I} \\ \downarrow \\ P = V \cdot I \rightarrow \text{equação II} \end{array}$$

Assim sendo, pode-se dizer que $P = R \cdot I \cdot I$, ou $P = R \cdot I^2$

Esta equação pode ser usada para determinar a potência de um componente. É conhecida como equação da potência por *efeito joule*.

Observação

Efeito joule é o efeito térmico produzido pela passagem de corrente elétrica através de uma resistência

Pode-se realizar o mesmo tipo de dedução para obter uma equação que permita determinar a potência a partir da tensão e resistência.

Assim, pela Lei de Ohm, temos:

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

→ equação I

$$P = V \cdot I \rightarrow \text{equação II}$$

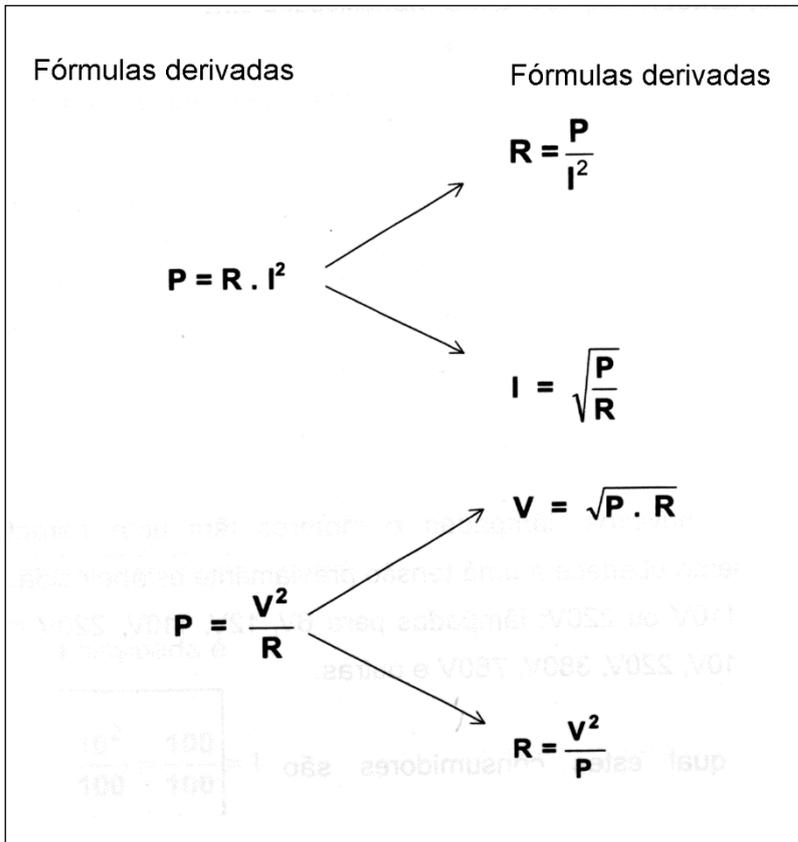
Fazendo a substituição, obtém-se:

$$P = V \cdot \frac{V}{R}$$

Que pode ser escrita da seguinte maneira:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

A partir das equações básicas, é possível obter outras equações por meio de operações matemáticas.



A seguir são fornecidos alguns exemplos de como se utilizam as equações para determinar a potência.

Exemplo 1 - Um aquecedor elétrico tem uma resistência de 8Ω e solicita uma corrente de 10 A . Qual é a sua potência?

Formulando a questão, temos:

$$I = 10\text{ A}$$

$$R = 8\ \Omega$$

$$P = ?$$

Aplicando a fórmula $P = I^2 \cdot R$, temos:

$$P = 10^2 \cdot 8 \Rightarrow P = 800\text{ W}$$

Exemplo 2 - Um isqueiro de automóvel funciona com 12 V fornecidos pela bateria. Sabendo que a resistência do isqueiro é de $3\ \Omega$, calcular a potência dissipada.

Formulando a questão, temos:

$$V = 12\text{ V}$$

$$R = 3\ \Omega$$

$$P = ?$$

Aplicando a fórmula:

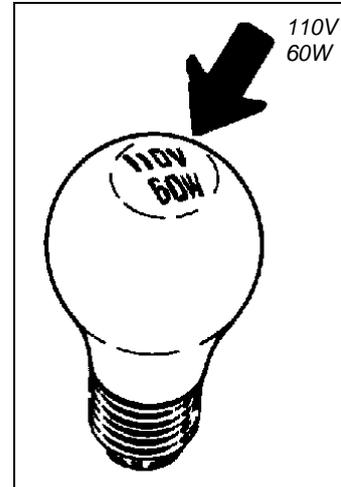
$$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow P = \frac{12^2}{3}$$

$$P = 48 \text{ W}$$

Potência nominal

Certos aparelhos como chuveiros, lâmpadas e motores têm uma característica particular: seu funcionamento obedece a uma tensão previamente estabelecida. Assim, existem chuveiros para 110V ou 220V; lâmpadas para 6V, 12V, 110V, 220V e outras tensões; motores, para 110V, 220V, 380V, 760V e outras.

Esta tensão, para a qual estes consumidores são fabricados, chama-se *tensão nominal de funcionamento*. Por isso, os consumidores que apresentam tais características devem sempre ser ligados na tensão correta (nominal), normalmente especificada no seu corpo.

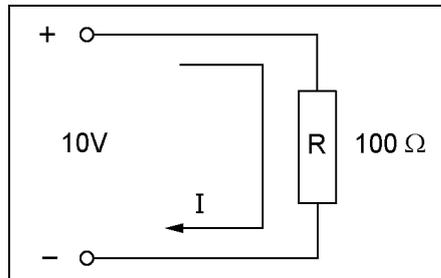


Quando esses aparelhos são ligados corretamente, a quantidade de calor, luz ou movimento produzida é exatamente aquela para a qual foram projetados. Por exemplo, uma lâmpada de 110 V/60 W ligada corretamente (em 110 V) produz 60 W entre luz e calor. A lâmpada, nesse caso, está dissipando a sua potência nominal. Portanto, potência nominal é a potência para qual um consumidor foi projetado. Enquanto uma lâmpada, aquecedor ou motor trabalha dissipando sua potência nominal, sua condição de funcionamento é ideal.

Limite de dissipação de potência

Há um grande número de componentes eletrônicos que se caracteriza por não ter uma tensão de funcionamento especificada. Estes componentes podem funcionar com os mais diversos valores de tensão. É o caso dos resistores que não trazem nenhuma referência quanto à tensão nominal de funcionamento.

Entretanto, pode-se calcular qualquer potência dissipada por um resistor ligado a uma fonte geradora. Vamos tomar como exemplo o circuito apresentado na figura a seguir.



A potência dissipada é

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{10^2}{100} = \frac{100}{100} = 1$$

$$P = 1 \text{ W}$$

Como o resistor não produz luz ou movimento, esta potência é dissipada em forma de calor que aquece o componente. Por isso é necessário verificar se a quantidade de calor produzida pelo resistor não é excessiva a ponto de danificá-lo

Desse modo podemos estabelecer a seguinte relação:

maior potência dissipada	→	maior aquecimento
menor potência dissipada	→	menor aquecimento

Portanto, se a dissipação de potência for limitada, a produção de calor também o será.

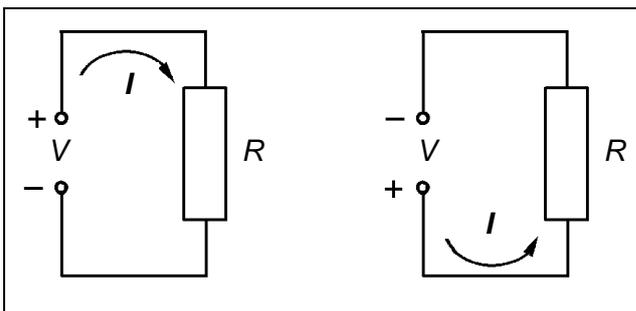
Corrente alternada

Neste capítulo, estudaremos um assunto de fundamental importância para os profissionais da área da manutenção elétrica: vamos estudar corrente e tensão alternadas monofásicas. Veremos como a corrente é gerada e a forma de onda senoidal por ela fornecida.

Para estudar esse assunto com mais facilidade, é necessário ter conhecimentos anteriores sobre corrente e tensão elétrica

Corrente e tensão alternadas monofásicas

Como já foi visto, a tensão alternada **muda** constantemente de **polaridade**. Isso provoca nos circuitos um fluxo de corrente ora em um sentido, ora em outro.

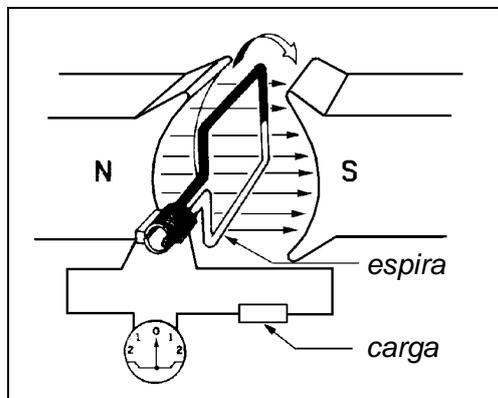


Geração de corrente alternada

Para se entender como se processa a geração de corrente alternada, é necessário saber como funciona um gerador elementar que consiste de uma espira disposta de tal forma que pode ser girada em um campo magnético estacionário.

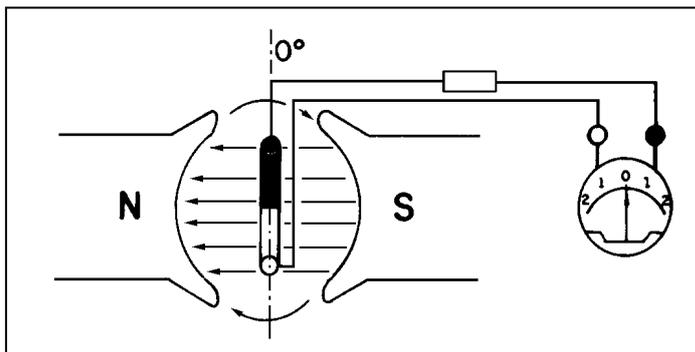
Desta forma, o condutor da espira corta as linhas do campo eletromagnético, produzindo a força eletromotriz (ou fem).

Veja, na figura a seguir, a representação esquemática de um **gerador elementar**.



Funcionamento do gerador

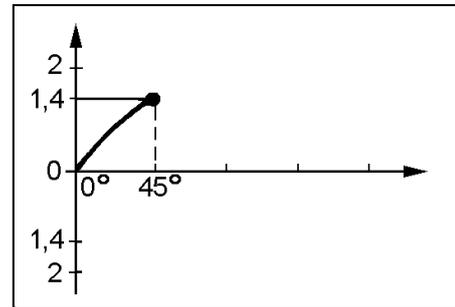
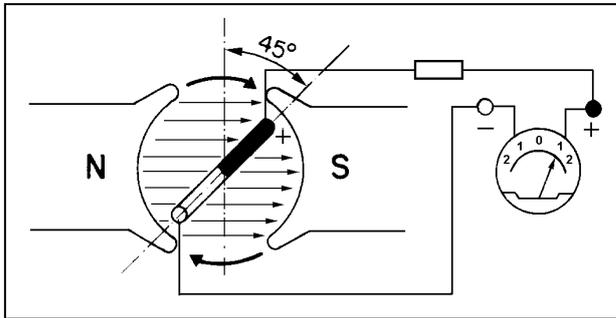
Para mostrar o funcionamento do gerador, vamos imaginar um gerador cujas pontas das espiras estejam ligadas a um galvanômetro.



Na posição inicial, o plano da espira está perpendicular ao campo magnético e seus condutores se deslocam paralelamente ao campo. Nesse caso, os condutores não cortam as linhas de força e, portanto, a força eletromotriz (fem) não é gerada.

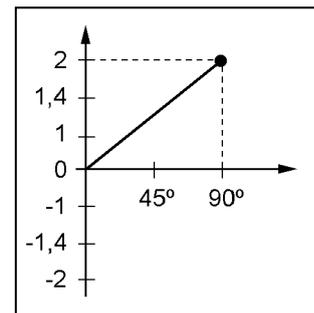
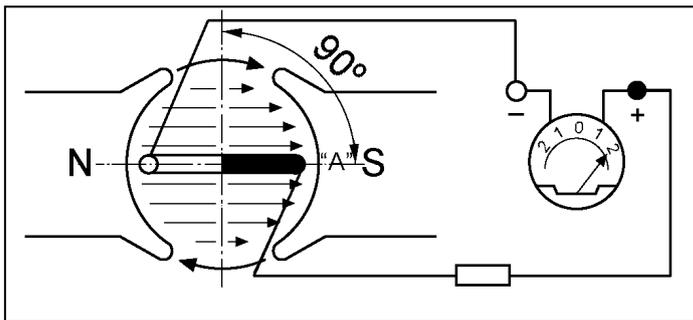
No instante em que a bobina é movimentada, o condutor corta as linhas de força do campo magnético e a geração de fem é iniciada.

Observe na ilustração a seguir, a indicação do galvanômetro e a representação dessa indicação no gráfico correspondente.

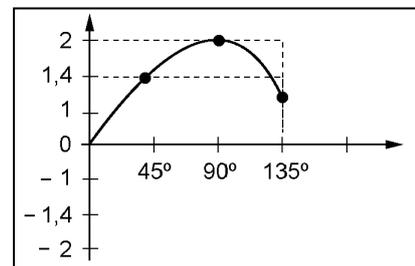
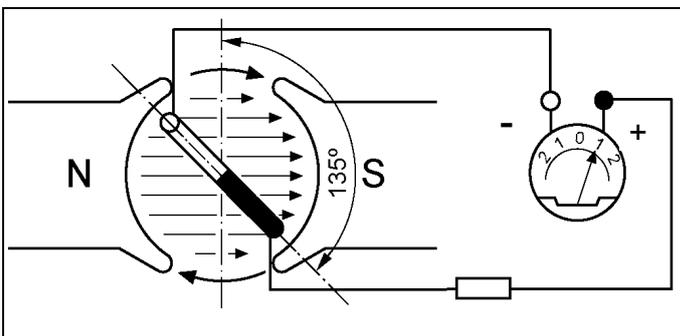


À medida que a espira se desloca, aumenta seu ângulo em relação às linhas de força do campo. Ao atingir o ângulo de 90° , o gerador atingirá a geração máxima da força eletromotriz, pois os condutores estarão cortando as linhas de força perpendicularmente.

Acompanhe, na ilustração a seguir, a mudança no galvanômetro e no gráfico.

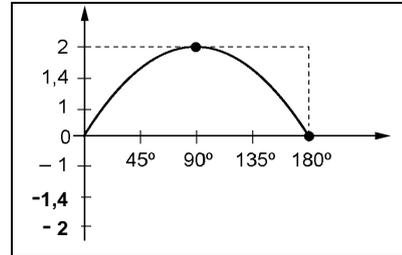
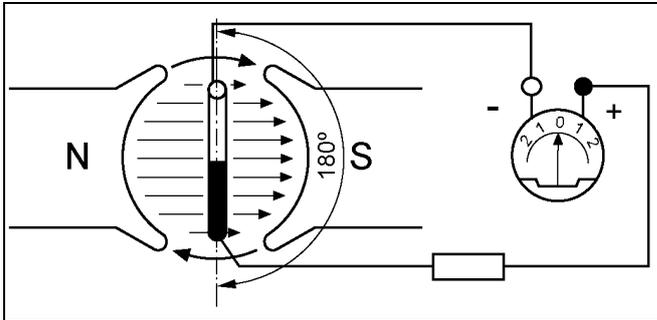


Girando-se a espira até a posição de 135° , nota-se que a fem gerada começa a diminuir.

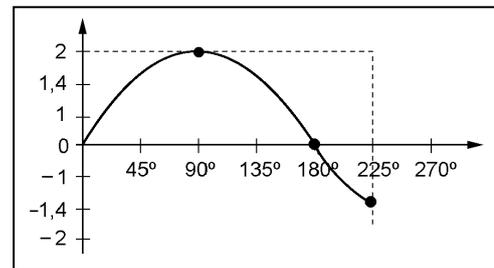
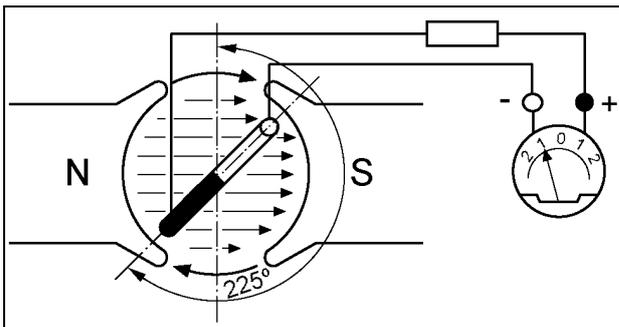


Quando a espira atinge os 180° do ponto inicial, seus condutores não mais cortam as linhas de força e, portanto, não há indução de fem e o galvanômetro marca zero.

Formou-se assim o primeiro semiciclo (positivo).

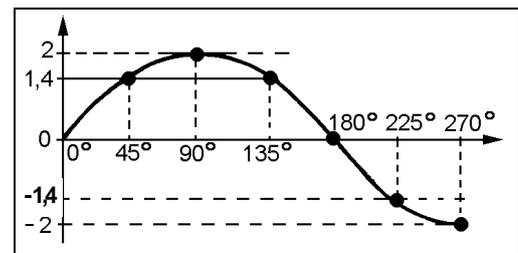
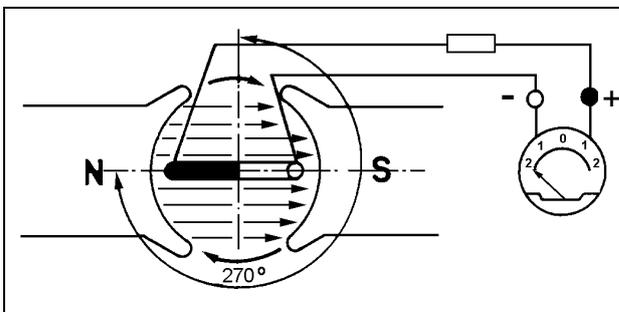


Quando a espira ultrapassa a posição de 180° , o sentido de movimento dos condutores em relação ao campo se inverte. Agora, o condutor preto se move para cima e o condutor branco para baixo. Como resultado, a polaridade da fem e o sentido da corrente também são invertidos.

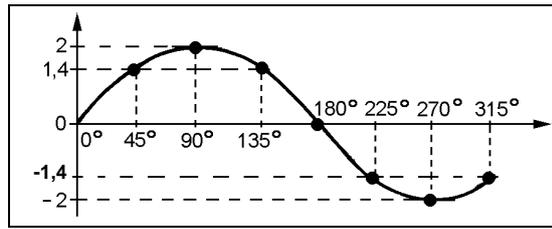
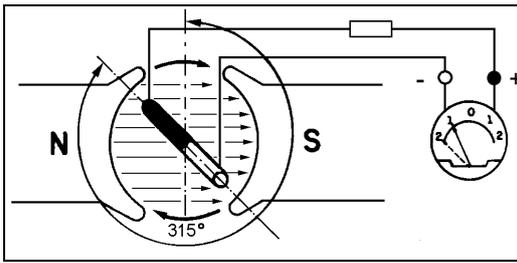


A 225° , observe que o ponteiro do galvanômetro e, conseqüentemente, o gráfico, mostram o semiciclo negativo. Isso corresponde a uma inversão no sentido da corrente, porque o condutor corta o fluxo em sentido contrário.

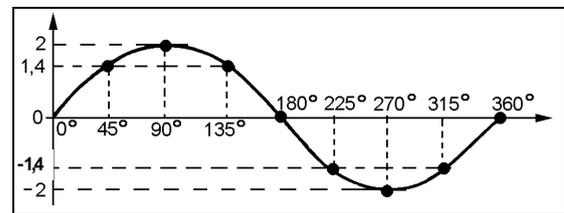
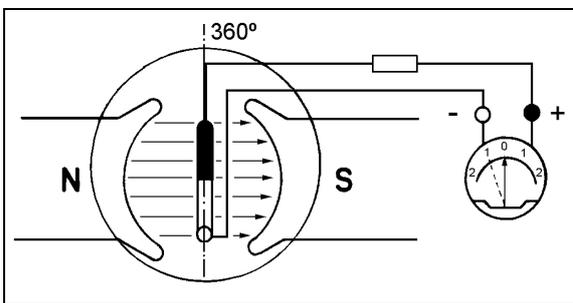
A posição de 270° corresponde à geração máxima da fem como se pode observar na ilustração a seguir.



No deslocamento para 315° , os valores medidos pelo galvanômetro e mostrados no gráfico começam a diminuir.



Finalmente, quando o segundo semiciclo (negativo) se forma, e obtém-se a volta completa ou ciclo (360°), observa-se a total ausência de força eletromotriz porque os condutores não cortam mais as linhas de força do campo magnético.

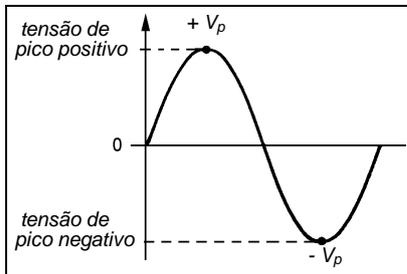


Observe que o gráfico resultou em uma curva senoidal (ou senoide) que representa a forma de onda da corrente de saída do gerador e que corresponde à rotação completa da espira.

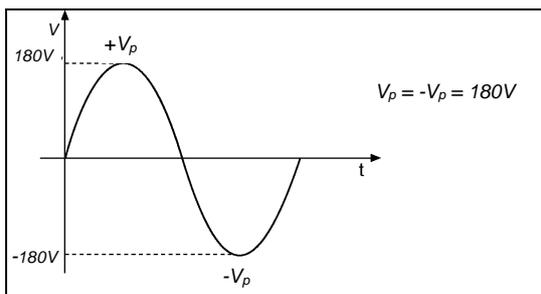
Nesse gráfico, o eixo horizontal representa o movimento circular da espira, daí suas subdivisões em graus. O eixo vertical representa a corrente elétrica gerada, medida pelo galvanômetro.

Valor de pico e valor de pico a pico da tensão alternada senoidal

Tensão de pico é o **valor máximo** que a tensão atinge em cada semiciclo. A tensão de pico é representada pela notação V_p .



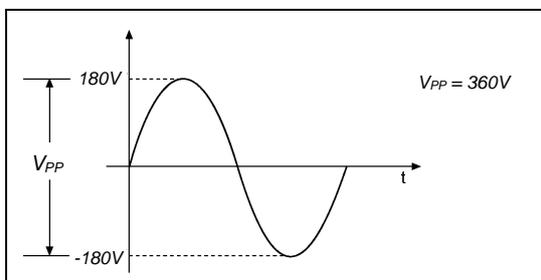
Observe que no gráfico aparecem tensão de pico positivo e tensão de pico negativo. O valor de pico negativo é numericamente igual ao valor de pico positivo. Assim, a determinação do valor de tensão de pico pode ser feita em qualquer um dos semiciclos.



A tensão de **pico a pico** da CA senoidal é o valor medido entre os picos positivo e negativo de um ciclo. A tensão de pico a pico é representada pela notação V_{PP} .

Considerando-se que os dois semiciclos da CA são iguais, pode-se afirmar que:

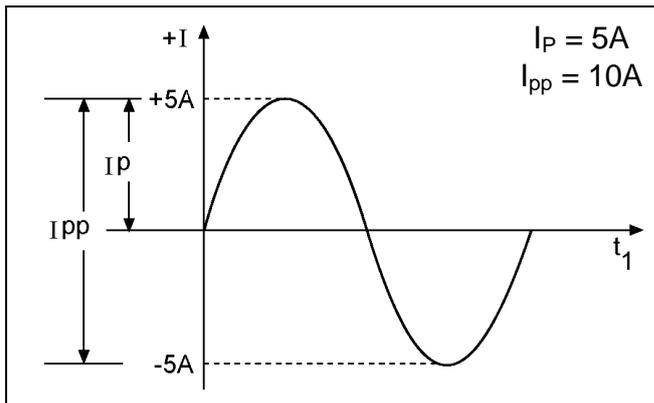
$$V_{PP} = 2V_p.$$



Observação

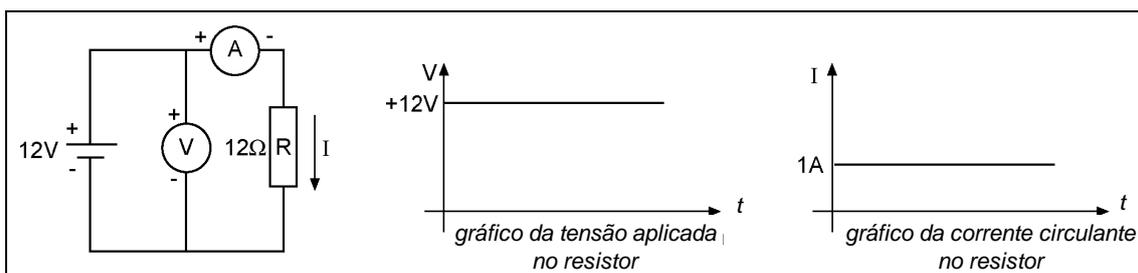
Essas medições e conseqüente visualização da forma de onda da tensão CA, são feitas com um instrumento de medição denominado de **osciloscópio**.

Da mesma forma que as medidas de pico e de pico a pico se aplicam à tensão alternada senoidal, aplicam-se também à corrente alternada senoidal.



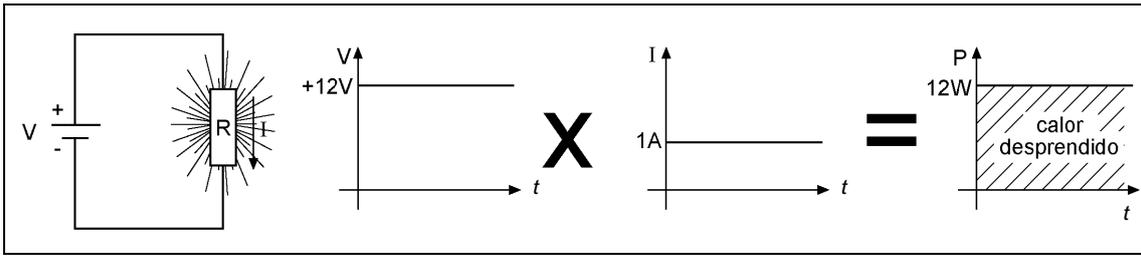
Tensão e corrente eficazes

Quando se aplica uma tensão contínua sobre um resistor, a corrente que circula por ele possui um valor constante.

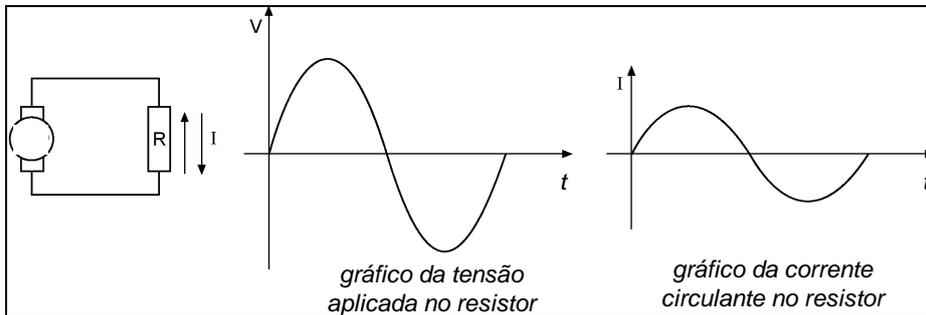


Como resultado disso, estabelece-se uma dissipação de potência no resistor

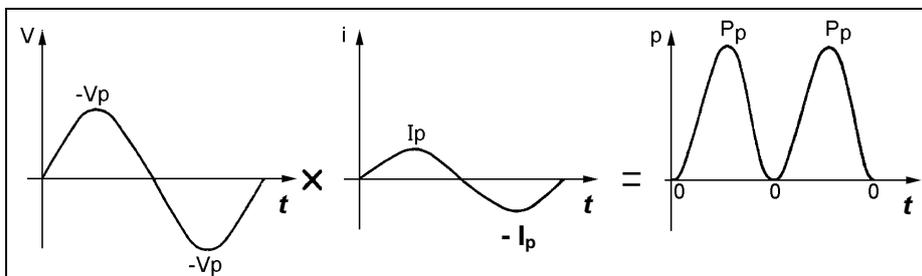
($P = E \cdot I$). Essa potência é dissipada em regime contínuo, fazendo com que haja um desprendimento constante de calor no resistor.



Por outro lado, aplicando-se uma tensão alternada senoidal a um resistor, estabelece-se a circulação de uma corrente alternada senoidal.



Como a tensão e a corrente são variáveis, a quantidade de calor produzido no resistor varia a cada instante.



Nos momentos em que a tensão é zero, não há corrente e também não há produção de calor ($P = 0$).

Nos momentos em que a tensão atinge o valor máximo (V_p), a corrente também atinge o valor máximo (I_p) e a potência dissipada é o produto da tensão máxima pela corrente máxima ($P_p = V_p \cdot I_p$).

Em consequência dessa produção variável de "trabalho" (calor) em CA, verifica-se que um resistor de valor R ligado a uma tensão contínua de 10V produz a mesma quantidade de "trabalho" (calor) que o mesmo resistor R ligado a uma tensão alternada de valor de pico de 14,1 V, ou seja, $10 V_{ef}$.

Assim, pode-se concluir que a tensão eficaz de uma CA senoidal é um valor que indica a tensão (ou corrente) contínua correspondente a essa CA em termos de produção de trabalho.

Cálculo da tensão/corrente eficazes

Existe uma relação constante entre o valor eficaz (ou valor RMS) de uma CA senoidal e seu valor de pico. Essa relação auxilia no cálculo da tensão/corrente eficazes e é expressa como é mostrado a seguir.

Tensão eficaz:

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

Corrente eficaz:

$$I_{ef} = \frac{I_p}{\sqrt{2}}$$

Exemplo de cálculo:

Para um valor de pico de 14,14 V, a tensão eficaz será:

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{14,14}{1,414} = 10V$$

Assim, para um valor de pico de 14,14 V, teremos uma tensão eficaz de 10 V.

A tensão/corrente eficaz é o dado obtido ao se utilizar, por exemplo, um multímetro.

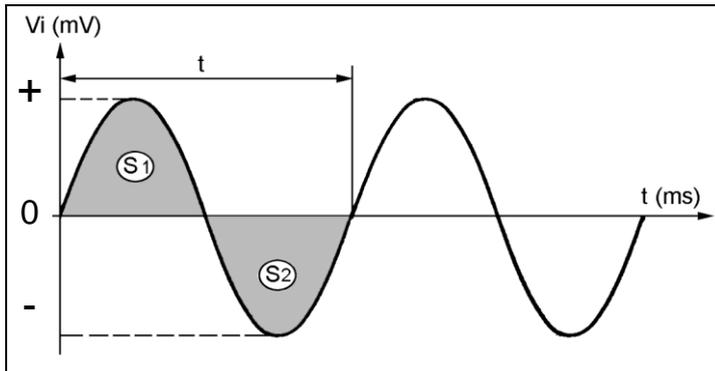
Observação

Quando se mede sinais alternados (senoidais) com um multímetro, este deve ser aferido em 60Hz que é a frequência da rede da concessionária de energia elétrica. Assim, os valores eficazes medidos com multímetro são válidos apenas para essa frequência.

Valor médio da corrente e da tensão alternada senoidal (Vdc)

O valor médio de uma grandeza senoidal, quando se refere a um ciclo completo é nulo. Isso acontece porque a soma dos valores instantâneos relativa ao semiciclo positivo é igual à soma do semiciclo negativo e sua resultante é constantemente nula.

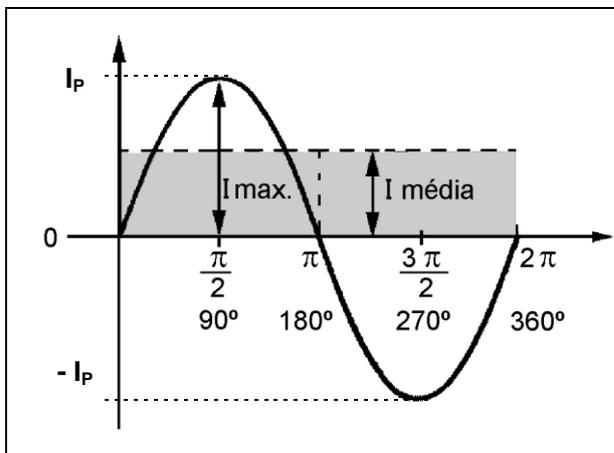
Veja gráfico a seguir.



Observe que a área S_1 da senoide (semiciclo) é igual a S_2 (semiciclo), mas S_1 está do lado positivo e S_2 tem valor negativo. Portanto $S_{\text{total}} = S_1 - S_2 = 0$.

O valor médio de uma grandeza alternada senoidal deve ser considerado como sendo a média aritmética dos valores instantâneos no intervalo de meio período (ou meio ciclo).

Esse valor médio é representado pela altura do retângulo que tem como área a mesma superfície coberta pelo semiciclo considerado e como base a mesma base do semiciclo.



A fórmula para o cálculo do valor médio da corrente alternada senoidal é:

$$I_{\text{dc}} = I_{\text{med}} = \frac{2 \cdot I_p}{\pi}$$

Nessa fórmula, I_{med} é a corrente média; I_p é a corrente de pico, e π é 3,14.

A fórmula para calcular o valor médio da tensão alternada senoidal é:

$$V_{dc} = V_{med} = \frac{2 \cdot V_p}{\pi}$$

Nela, V_{med} é a tensão média, V_p é a tensão máxima, e π é igual a 3,14.

Exemplo de cálculo:

Em uma grandeza senoidal, a tensão máxima é de 100V. Qual é a tensão média?

$$V_{med} = \frac{2 \cdot V_p}{\pi} = \frac{2 \cdot 100}{3,14} = \frac{200}{3,14} = 63,6 \text{ V}$$

Indutores

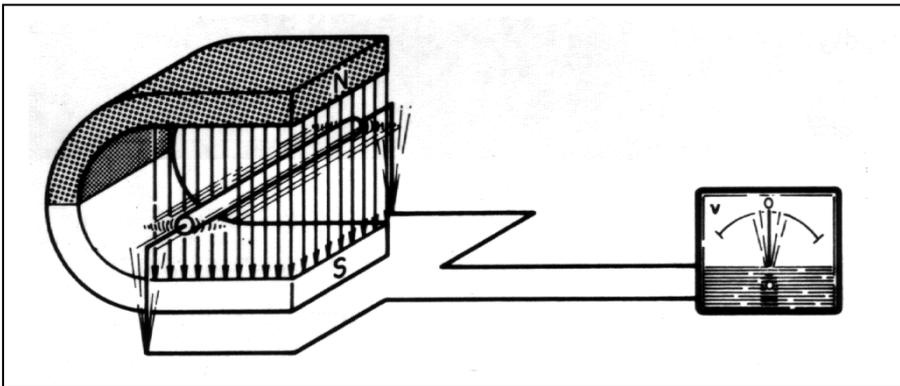
Neste capítulo, é iniciado o estudo de um novo componente: o indutor. Seu campo de aplicação se estende desde os filtros para caixas acústicas até circuitos industriais, passando pela transmissão de sinais de rádio e televisão.

O capítulo falará dos indutores, dos fenômenos ligados ao magnetismo que ocorrem no indutor e de seu comportamento em CA.

Para ter sucesso no desenvolvimento desses conteúdos, é necessário ter conhecimentos anteriores sobre magnetismo e eletromagnetismo.

Indução

O princípio da geração de energia elétrica baseia-se no fato de que toda a vez que um **condutor se movimenta** no interior de um **campo magnético** aparece neste condutor uma **diferença de potencial**.



Essa tensão gerada pelo movimento do condutor no interior de um campo magnético é denominada de **tensão induzida**.

Michael Faraday, cientista inglês, ao realizar estudos com o eletromagnetismo, determinou as condições necessárias para que uma tensão seja induzida em um condutor. Suas observações podem ser resumidas em duas conclusões que compõem as leis da auto-indução:

1. *Quando um condutor elétrico é sujeito a um campo magnético variável, uma tensão induzida tem origem nesse condutor.*

Observação

Para ter um campo magnético variável no condutor, pode-se manter o campo magnético estacionário e movimentar o condutor perpendicularmente ao campo, ou manter o condutor estacionário e movimentar o campo magnético.

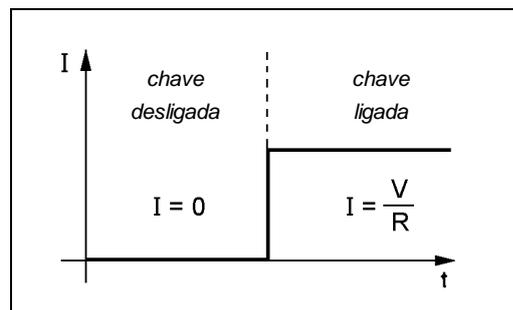
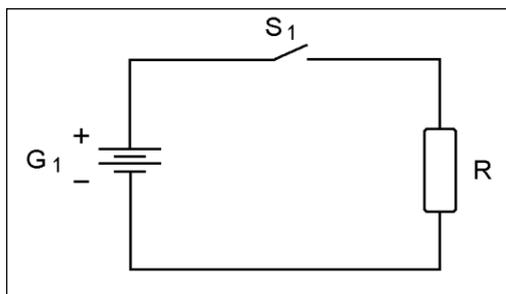
2. *A magnitude da tensão induzida é diretamente proporcional à intensidade do fluxo magnético e à velocidade de sua variação. Isso significa que quanto mais intenso for o campo, maior será a tensão induzida e quanto mais rápida for a variação do campo, maior será a tensão induzida.*

Para seu funcionamento, os geradores de energia elétrica se baseiam nesses princípios.

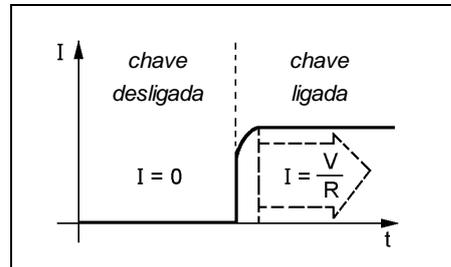
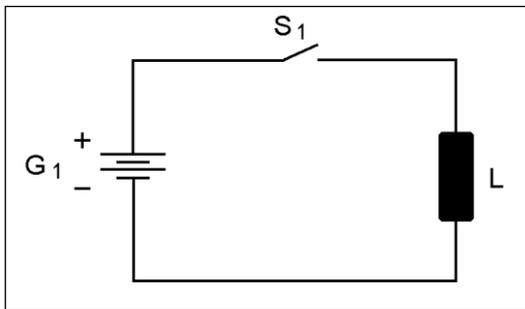
Auto-indução

O fenômeno da indução faz com que o comportamento das bobinas seja diferente do comportamento dos resistores em um circuito de CC.

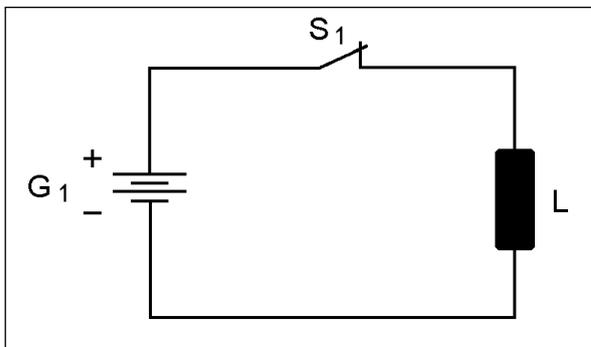
Em um circuito formado por uma fonte de CC, um resistor e uma chave, a corrente atinge seu valor máximo instantaneamente, no momento em que o interruptor é ligado.



Se, nesse mesmo circuito, o **resistor** for substituído por uma **bobina**, o comportamento será diferente. A corrente atinge o valor máximo algum tempo após a ligação do interruptor.

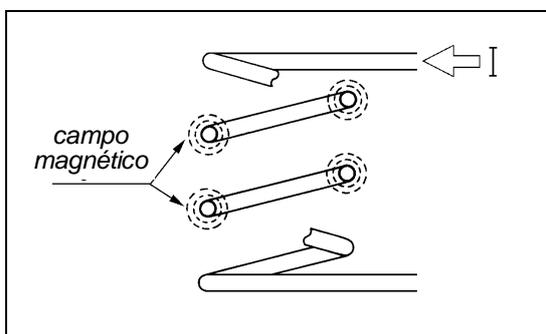


Esse atraso para atingir a corrente máxima se deve à indução e pode ser melhor entendido se imaginarmos passo a passo o comportamento de um circuito composto por uma **bobina**, uma fonte de CC e uma chave.

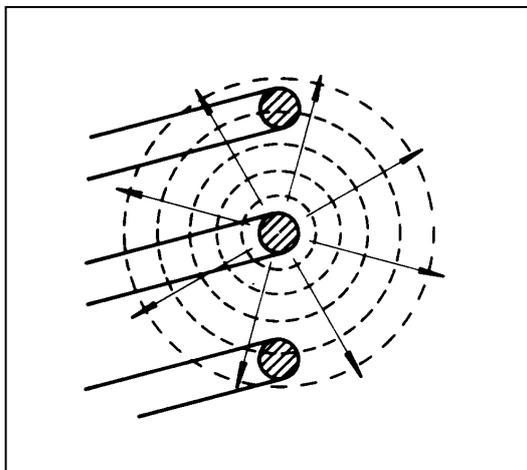


Enquanto a chave está desligada, não há campo magnético ao redor das espiras porque não há corrente circulante. No momento em que a chave é fechada, inicia-se a circulação de corrente na bobina.

Com a **circulação da corrente** surge o **campo magnético** ao redor de suas espiras.



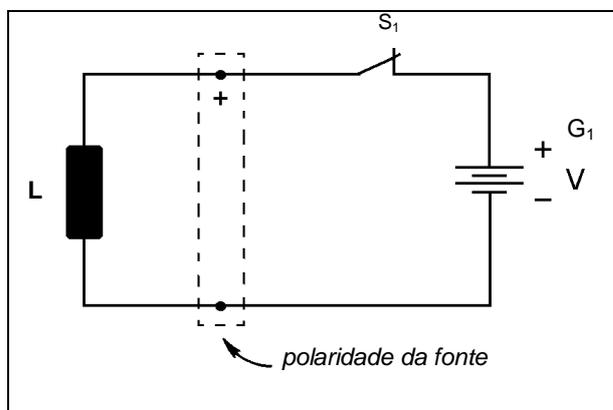
À medida que a **corrente cresce** em direção ao valor máximo, o **campo magnético** nas espiras se **expande**. Ao se expandir, o campo magnético em movimento gerado em uma das espiras corta a espira colocada ao lado.



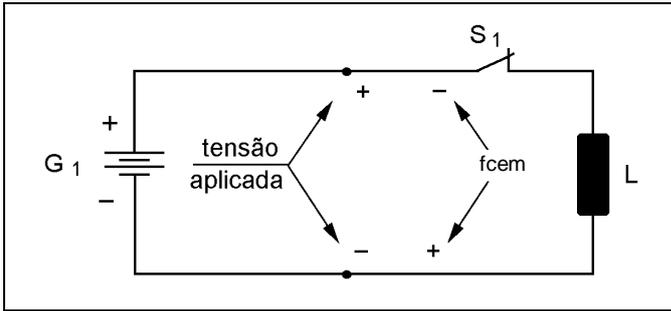
Conforme Faraday enunciou, induz-se uma determinada tensão nesta espira cortada pelo campo magnético em movimento. E **cada espira** da bobina **induz** uma **tensão** elétrica nas **espiras vizinhas**. Assim, a aplicação de tensão em uma bobina provoca o aparecimento de um campo magnético em expansão que gera na **própria bobina** uma **tensão induzida**. Este fenômeno é denominado de **auto-indução**.

A **tensão gerada** na bobina por auto-indução tem **polaridade oposta** à da tensão que é aplicada aos seus terminais, por isso é denominada de **força contra-eletromotriz** ou **fcem**.

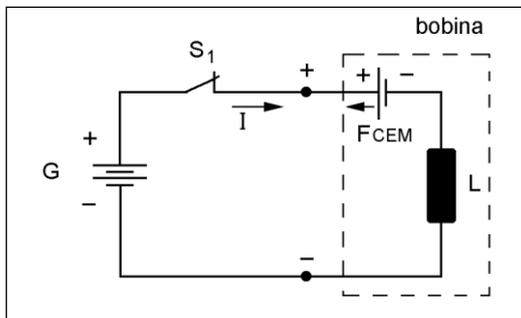
Resumindo, quando a chave do circuito é ligada, uma tensão com uma determinada polaridade é aplicada à bobina.



A auto-indução gera na bobina uma tensão induzida (f_{cem}) de polaridade oposta à da tensão aplicada.



Se representarmos a f_{cem} como uma "bateria" existente no interior da própria bobina, o circuito se apresenta conforme mostra a figura a seguir.



Como a f_{cem} atua contra a tensão da fonte, a tensão aplicada à bobina é, na realidade:

$$V_{\text{RESULTANTE}} = V_{\text{FONTE}} - f_{cem}.$$

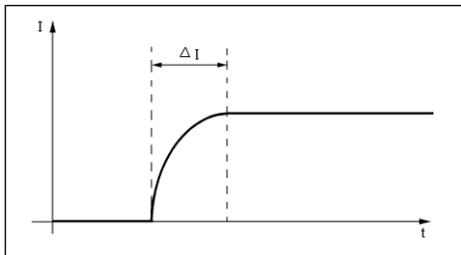
A corrente no circuito é causada por essa tensão resultante, ou seja:

$$I = \frac{(V - f_{cem})}{R}$$

Indutância

Como a f_{cem} existe **apenas** durante a **variação do campo magnético** gerado na bobina, quando este atinge o **valor máximo**, a f_{cem} **deixa de existir** e a corrente atinge seu valor máximo.

O gráfico a seguir ilustra detalhadamente o que foi descrito.



O mesmo fenômeno ocorre quando a chave é **desligada**. A contração do campo induz uma fcm na bobina, retardando o decréscimo da corrente. Essa capacidade de se opor às variações da corrente é denominada de **indutância** e é representada pela letra **L**.

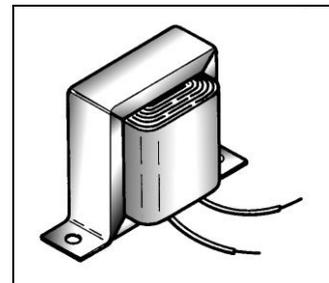
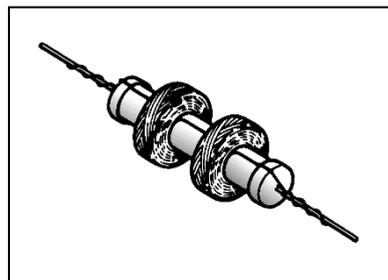
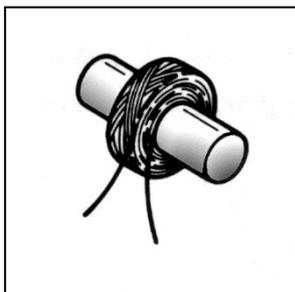
A unidade de medida da indutância é o **henry**, representada pela letra **H**. Essa unidade de medida tem submúltiplos muito usados em eletrônica. Veja tabela a seguir.

Denominação		Símbolo	Valor com relação ao henry
Unidade	henry	H	1
Submúltiplos	milihenry	mH	10^{-3} ou 0,001
	microhenry	μ H	10^{-6} ou 0,000001

A indutância de uma bobina depende de diversos fatores:

- Material, seção transversal, formato e tipo do núcleo;
- Número de espiras;
- Espaçamento entre as espiras;
- Tipo e seção transversal do condutor.

Como as **bobinas** apresentam indutância, elas também são chamadas de **indutores**. Estes podem ter as mais diversas formas e podem inclusive ser parecidos com um transformador. Veja figura a seguir.



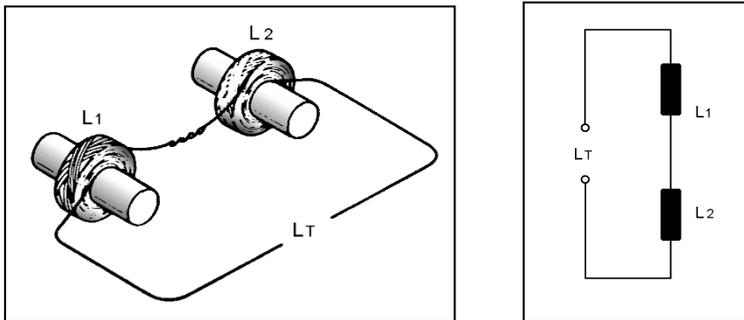
Os indutores têm a função de se opor às variações da corrente alternada que passa por ele.

Associação de indutores

Os indutores podem ser associados **em série**, **em paralelo** e até mesmo de forma **mista**, embora esta última não seja muito utilizada.

Associação em série

As ilustrações a seguir mostram uma associação série de indutores e sua representação esquemática.

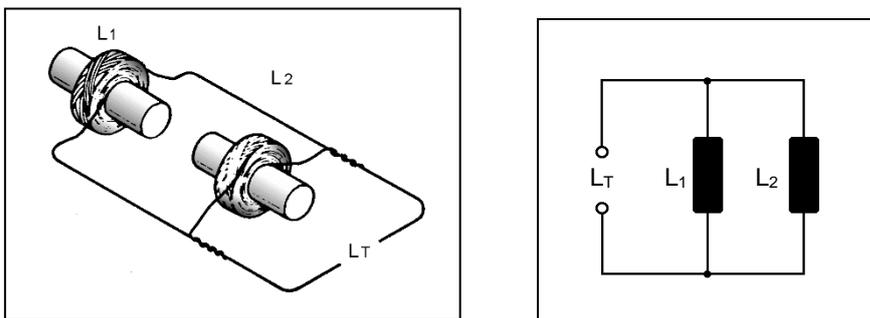


A representação matemática desse tipo de associação é:

$$L_T = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

Associação em paralelo

A associação paralela pode ser usada como forma de obter indutâncias menores ou como forma de dividir uma corrente entre diversos indutores.



A indutância total de uma associação paralela é representada matematicamente por:

$$L_T = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}}$$

Nessa expressão, L_T é a indutância total e L_1, L_2, \dots, L_n são as indutâncias associadas.

Essa expressão pode ser desenvolvida para duas situações particulares:

- Associação paralela de dois indutores:

$$L_T = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$$

- Associação paralela de “n” indutores de mesmo valor (L):

$$L_T = \frac{L}{n}$$

Para utilização das equações, **todos os valores** de indutâncias devem ser convertidos para a **mesma unidade**.

Reatância indutiva

Neste capítulo, continuaremos a estudar o comportamento dos indutores em circuitos de CA. Veremos que o efeito da indutância nestas condições se manifesta de forma permanente.

Para aprender esses conteúdos com mais facilidade, é necessário ter bons conhecimentos sobre magnetismo, eletromagnetismo e indutância.

Reatância indutiva

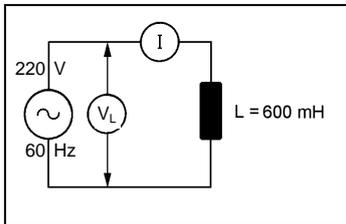
Quando se aplica um indutor em um circuito de CC, sua indutância se manifesta apenas nos momentos em que existe uma variação de corrente, ou seja, no momento em que se liga e desliga o circuito.

Em CA, como os valores de tensão e corrente estão em constante modificação, o efeito da indutância se manifesta permanentemente. Esse fenômeno de oposição permanente à circulação de uma corrente variável é denominado de **reatância indutiva**, representada pela notação X_L . Ela é expressa em ohms e representada matematicamente pela expressão: $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$

Na expressão, X_L é a reatância indutiva em ohms (Ω); 2π é uma constante (6,28); f é a frequência da corrente alternada em hertz (Hz) e L é a indutância do indutor em henrys (H).

Exemplo de cálculo

No circuito a seguir, qual é a reatância de um indutor de 600 mH aplicado a uma rede de CA de 220 V, 60Hz?



$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 6,28 \cdot 60 \cdot 0,6 = 226,08$$

$$X_L = 226,08 \Omega$$

É importante observar que a **reatância indutiva** de um indutor **não depende** da **tensão** aplicada aos seus terminais.

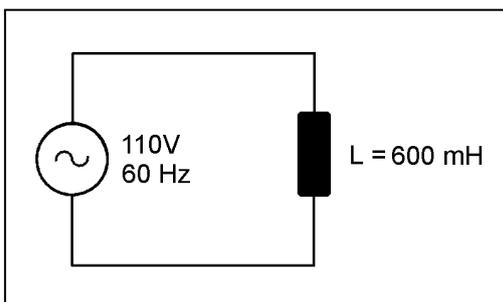
A corrente que circula em um indutor aplicado à CA (I_L) pode ser calculada com base na Lei de Ohm, substituindo-se R por X_L , ou seja:

$$I_L = \frac{V_L}{X_L}$$

Na expressão, I_L é a corrente eficaz no indutor em ampères (A); V_L é a tensão eficaz sobre o indutor, expressa em volts (V); e X_L é a reatância indutiva em ohms (Ω).

Exemplo de cálculo

No circuito a seguir, qual o valor da corrente que um indutor de 600 mH aplicado a uma rede de CA de 110V, 60Hz, permitiria que circulasse?



$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 6,28 \cdot 60 \cdot 0,6 = 226,08 \Omega$$

$$I_L = \frac{V_L}{X_L} = \frac{110}{226,08} = 0,486$$

$$I_L = 0,486 \text{ A}$$

Fator de qualidade Q

Todo indutor apresenta, além da reatância indutiva, uma resistência ôhmica que se deve ao material com o qual é fabricado.

O fator de qualidade Q é uma relação entre a reatância indutiva e a resistência ôhmica de um indutor, ou seja:

$$Q = \frac{X_L}{R}$$

Na expressão, Q é o fator de qualidade adimensional; X_L é a reatância indutiva (Ω); R é a resistência ôhmica da bobina (Ω).

Um indutor ideal deveria apresentar resistência ôhmica zero. Isso determinaria um fator de qualidade infinitamente grande. No entanto, na prática, esse indutor não existe porque o condutor sempre apresenta resistência ôhmica.

Exemplo de cálculo

O fator de qualidade de um indutor com reatância indutiva de 3768Ω (indutor de $10H$ em $60Hz$) e com resistência ôhmica de 80Ω é:

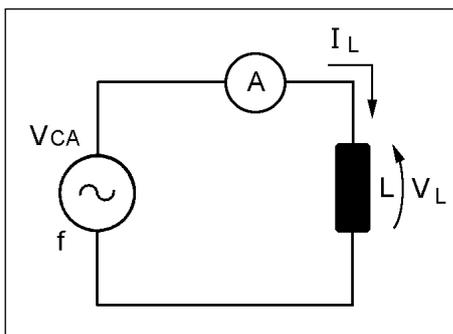
$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{3768}{80} = 47,1$$

$$Q = 47,1$$

Determinação experimental da indutância de um indutor

Quando se deseja utilizar um indutor e sua indutância é desconhecida, é possível determiná-la aproximadamente por processo experimental. O valor encontrado não será exato porque é necessário considerar que o indutor é puro ($R = 0 \Omega$).

Aplica-se ao indutor uma corrente alternada com frequência e tensão conhecidas e determina-se a corrente do circuito com um amperímetro de corrente alternada.



Conhecidos os valores de tensão e corrente do circuito, determina-se a reatância indutiva do indutor:

$$X_L = \frac{V_L}{I_L}$$

Na expressão, V_L é a tensão sobre o indutor; I_L é a corrente do indutor.

Aplica-se o valor encontrado na equação da reatância indutiva e determina-se a indutância: $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$.

Isolando-se L, temos:

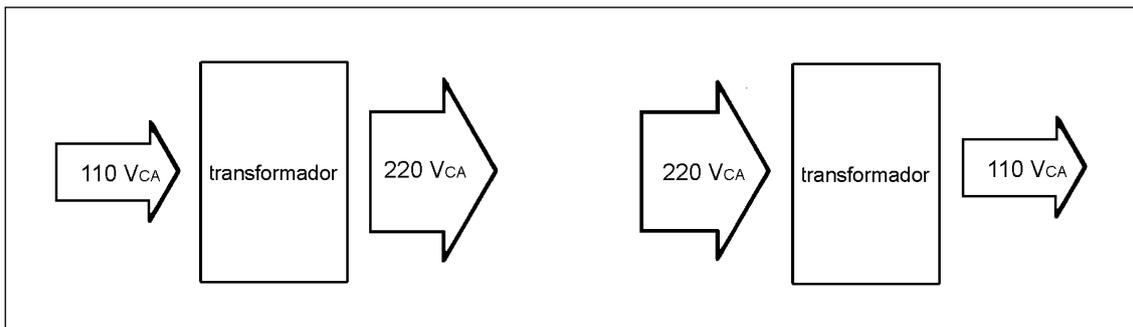
$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

A imprecisão do valor encontrado não é significativa na prática, porque os valores de resistência ôhmica da bobina são pequenos quando comparados com a reatância indutiva (alto Q).

O transformador

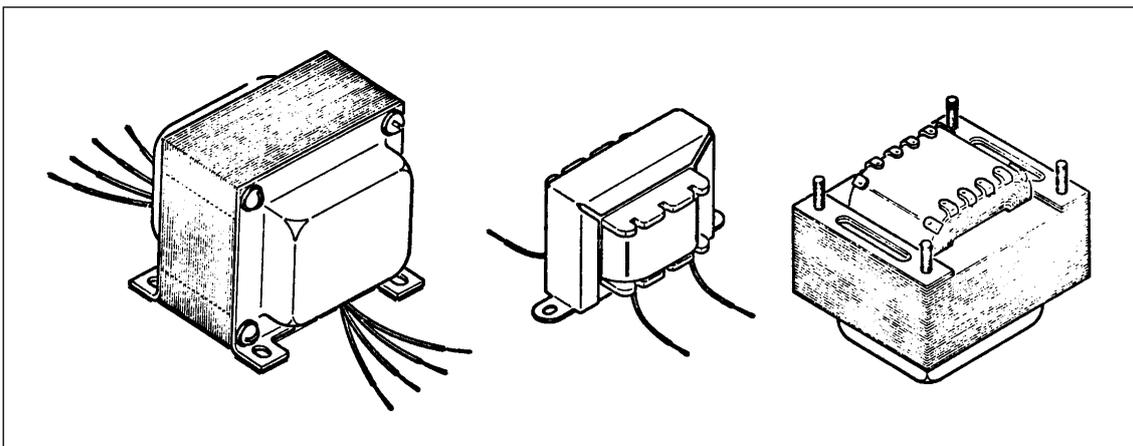
Princípio de funcionamento

O transformador é um dispositivo que permite elevar ou rebaixar os valores da tensão ou corrente em um circuito de CA.



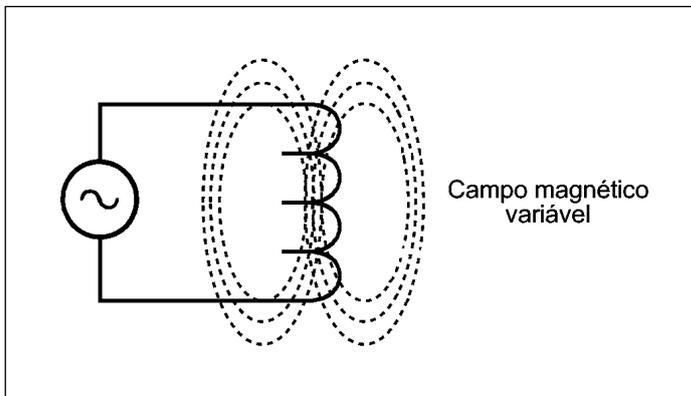
A grande maioria dos equipamentos eletrônicos empregam transformadores, seja como elevador ou rebaixador de tensões.

Veja alguns transformadores na figura abaixo.

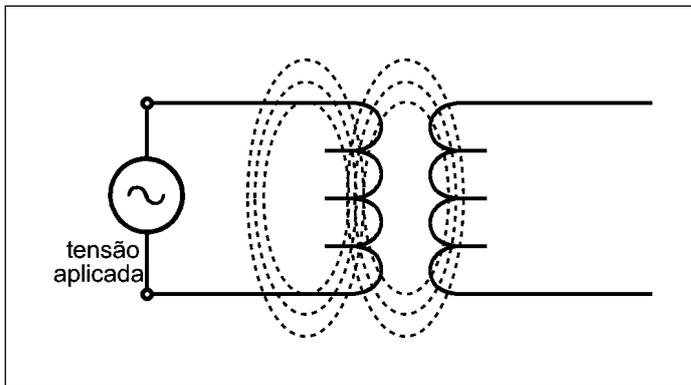


Princípio de funcionamento

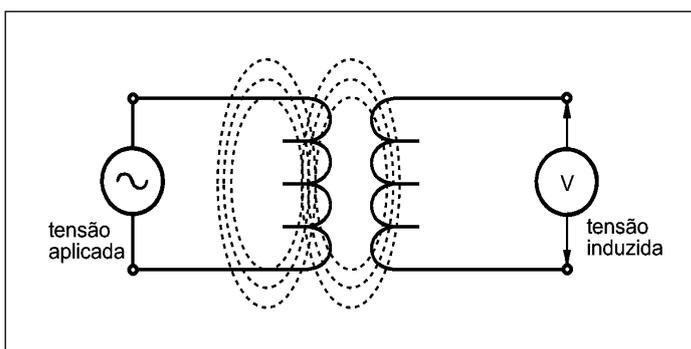
Quando uma bobina é conectada a uma fonte de CA surge um campo magnético variável ao seu redor.



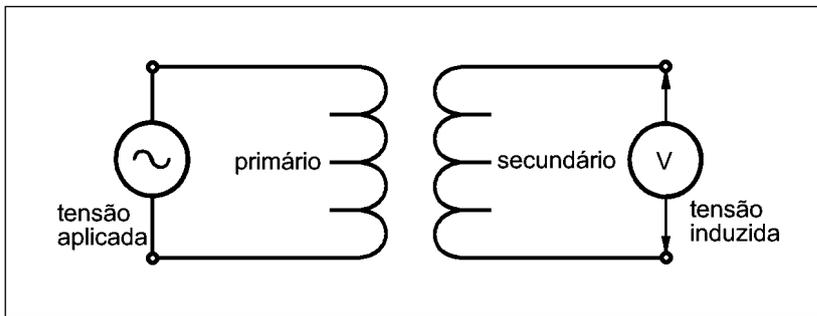
Aproximando-se outra bobina à primeira o campo magnético variável gerado na primeira bobina “corta” as espiras da segunda bobina.



Como consequência da variação de campo magnético sobre suas espiras surge na segunda bobina uma tensão induzida.



A bobina na qual se aplica a tensão CA é denominada de primário do transformador e a bobina onde surge a tensão induzida é denominada de secundário do transformador.



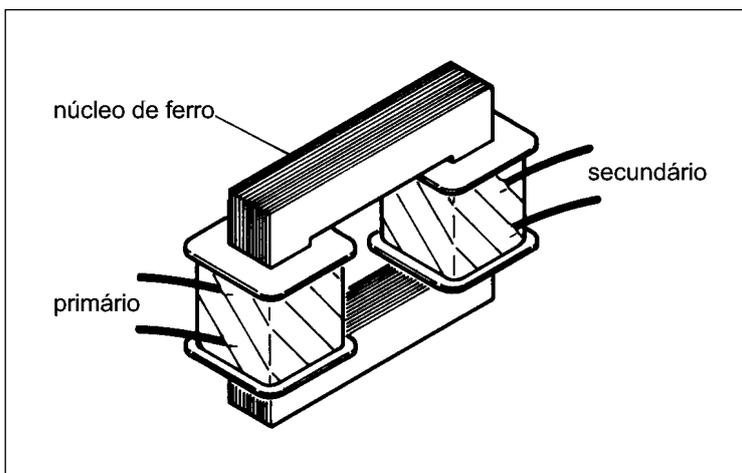
A bobina do transformador em que se aplica uma tensão CA é denominada de primário e a bobina em que surge uma tensão induzida é denominada de secundário.

É importante observar que as bobinas primária e secundária são eletricamente isoladas entre si. A transferência de energia de uma para a outra se dá exclusivamente através das linhas de força magnéticas.

O primário e o secundário de um transformador são eletricamente isolados entre si.

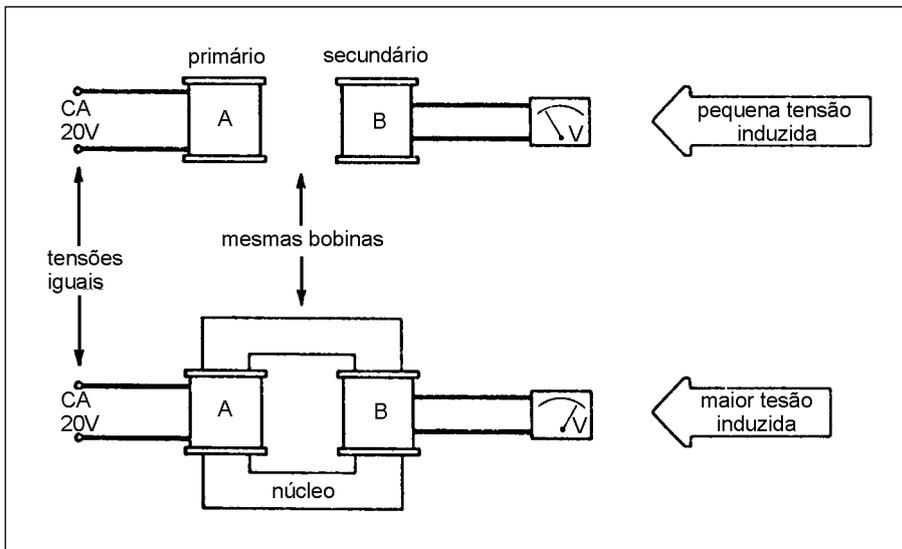
A tensão induzida no secundário de um transformador é proporcional ao número de linhas magnéticas que corta a bobina secundária.

Por esta razão, o primário e o secundário de um transformador são montados sobre um núcleo de material ferromagnético.



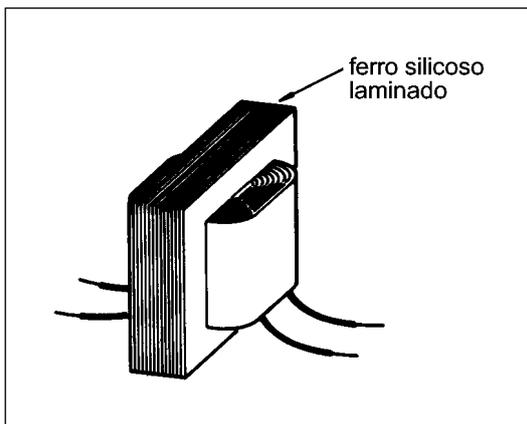
O núcleo diminui a dispersão do campo magnético, fazendo com que o secundário seja cortado pelo maior número de linhas magnéticas possível, obtendo uma melhor transferência de energia entre o primário e o secundário.

A figura a seguir ilustra o efeito provocado pela colocação do núcleo no transformador.



Com a inclusão do núcleo o aproveitamento do fluxo magnético gerado no primário é maior. Entretanto, surge um inconveniente: o ferro maciço sofre grande aquecimento com a passagem do fluxo magnético.

Para diminuir este aquecimento utiliza-se ferro silicoso laminado para a construção do núcleo.

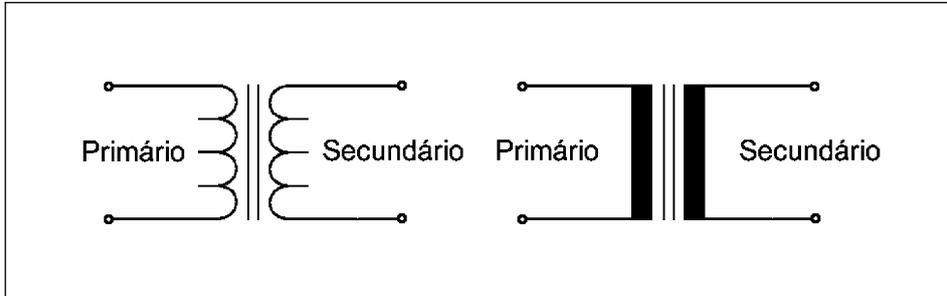


Com a laminação do ferro se reduzem as “correntes parasitas” responsáveis pelo aquecimento o núcleo.

O núcleo de um transformador é laminado para reduzir as correntes parasitas que provocam o seu aquecimento.

A laminação não elimina o aquecimento, mas reduz sensivelmente em relação ao ferro maciço.

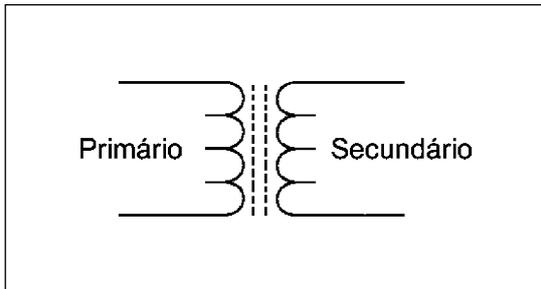
A figura a seguir mostra os símbolos empregado para representar o transformador, segundo a norma ABNT.



Os traços colocados no símbolo entre as bobinas do primário e secundário indicam o núcleo de ferro laminado.

O núcleo de ferro é empregado em transformadores que funcionam em baixas frequências (50Hz, 60Hz, 120Hz).

Transformadores que funcionam em frequências mais altas (kHz) geralmente são montados em núcleo de **ferrite**. A figura abaixo mostra o símbolo de um transformador com núcleo de ferrite.



Capacitores

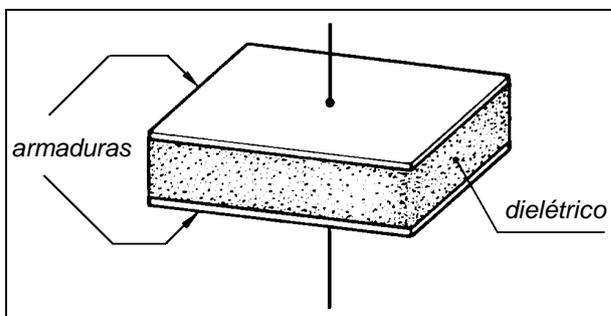
Os capacitores são componentes largamente empregados nos circuitos eletrônicos. Eles podem cumprir funções tais como o armazenamento de cargas elétricas ou a seleção de frequências em filtros para caixas acústicas.

Este capítulo vai falar sobre o capacitor: sua constituição, tipos, características. Ele falará também sobre a capacitância que é a característica mais importante desse componente.

Para ter sucesso no desenvolvimento dos conteúdos e atividades deste capítulo, você já deverá ter conhecimentos relativos a condutores, isolantes e potencial elétrico.

Capacitor

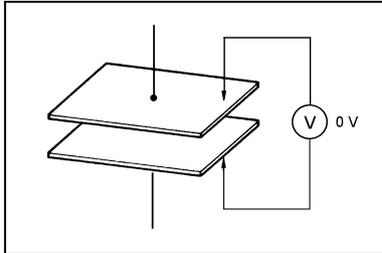
O capacitor é um componente capaz de **armazenar cargas elétricas**. Ele se compõe basicamente de duas placas de material condutor, denominadas de **armaduras**. Essas **placas** são **isoladas** eletricamente **entre si** por um material isolante chamado **dielétrico**.



Observações:

O material condutor que compõe as armaduras de um capacitor é **eletricamente neutro** em seu **estado natural**;

em cada uma das armaduras o número total de **prótons e elétrons é igual**, portanto as placas **não têm potencial elétrico**. Isso significa que entre elas não há diferença de potencial (tensão elétrica).



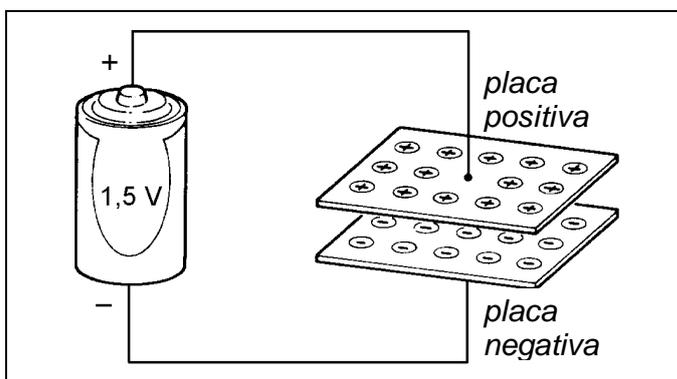
Armazenamento de carga

Conectando-se os terminais do capacitor a uma fonte de CC, ele fica sujeito à diferença de potencial dos pólos da fonte.

O **potencial** da bateria aplicado a cada uma das **armaduras** faz surgir entre elas uma força chamada **campo elétrico**, que nada mais é do que uma **força de atração** (cargas de sinal diferente) ou **repulsão** (cargas de mesmo sinal) entre **cargas** elétricas.

O pólo positivo da fonte absorve elétrons da armadura à qual está conectada enquanto o pólo negativo fornece elétrons à outra armadura.

A armadura que fornece elétrons à fonte fica com íons positivos adquirindo um potencial positivo. A armadura que recebe elétrons da fonte fica com íons negativos adquirindo potencial negativo.

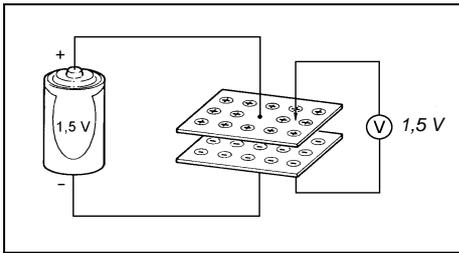


Observação

Para a análise do movimento dos elétrons no circuito usou-se o **sentido eletrônico** da corrente elétrica.

Isso significa que ao conectar o capacitor a uma fonte CC surge uma diferença de potencial entre as armaduras.

A tensão presente nas armaduras do capacitor terá um valor tão próximo ao da tensão da fonte que, para efeitos práticos, podem ser considerados iguais.



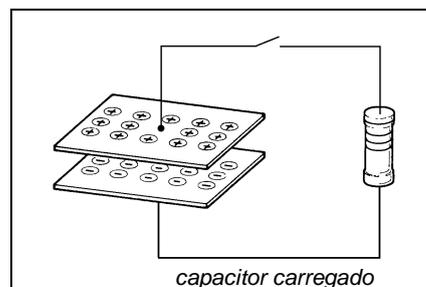
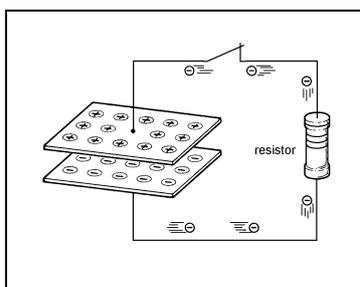
Quando o **capacitor** assume a **mesma tensão da fonte** de alimentação diz-se que o capacitor está "**carregado**".

Se, após ter sido carregado, o capacitor for desconectado da fonte de CC, suas armaduras permanecem com os potenciais adquiridos.

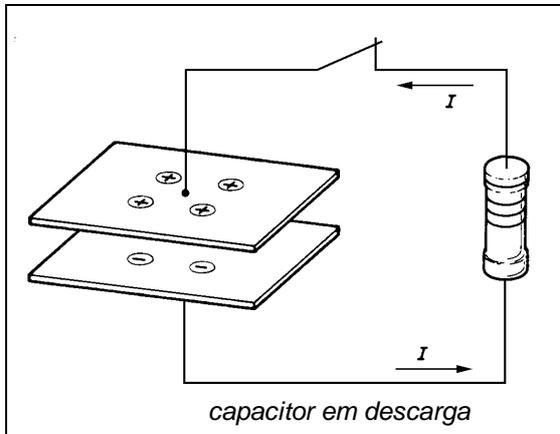
Isso significa, que, mesmo após ter sido desconectado da fonte de CC, ainda existe tensão presente entre as placas do capacitor. Assim, essa energia armazenada pode ser reaproveitada.

Descarga do capacitor

Tomando-se um **capacitor carregado** e conectando seus terminais a uma **carga** haverá uma **circulação de corrente**, pois o capacitor atua como fonte de tensão.



Isso se deve ao fato de que através do circuito fechado inicia-se o estabelecimento do equilíbrio elétrico entre as armaduras. Os elétrons em excesso em uma das armaduras, se movimentam para a outra onde há falta de elétrons, até que se **restabeleça o equilíbrio de potencial entre elas**.



Durante o tempo em que o **capacitor se descarrega**, a **tensão entre suas armaduras diminui**, porque o número de íons restantes em cada armadura é cada vez menor. Ao fim de algum tempo, a tensão entre as armaduras é tão pequena que pode ser considerada zero.

Capacitância

A **capacidade de armazenamento** de cargas de um capacitor depende de alguns fatores:

Área das armaduras, ou seja, quanto maior a área das armaduras, maior a capacidade de armazenamento de um capacitor;

Espessura do dielétrico, pois, quanto mais fino o dielétrico, mais próximas estão as armaduras. O campo elétrico formado entre as armaduras é maior e a capacidade de armazenamento também;

Natureza do dielétrico, ou seja, quanto maior a capacidade de isolamento do dielétrico, maior a capacidade de armazenamento do capacitor.

Essa **capacidade de um capacitor de armazenar cargas** é denominada de **capacitância**, que é um dos fatores elétricos que identifica um capacitor.

A **unidade de medida** de capacitância é o **farad**, representado pela letra **F**. Por ser uma unidade muito "grande", apenas seus submúltiplos são usados.

Veja tabela a seguir.

Unidade	Símbolo	Valor com relação ao farad
microfarad	μF	10^{-6} F ou 0,000001 F
nanofarad	nF (ou KpF)	10^{-9} F ou 0,000000001 F

picofarad	pF	10^{-12} F ou 0,000000000001 F
-----------	----	----------------------------------

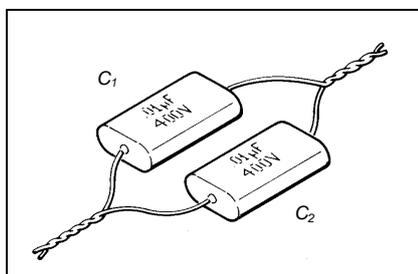
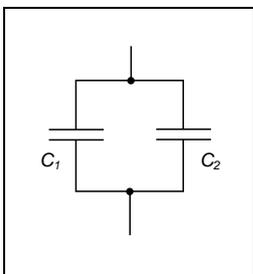
Tensão de trabalho

Além da capacitância, os capacitores têm ainda outra característica elétrica importante: a **tensão de trabalho**, ou seja, a **tensão máxima** que o capacitor pode suportar entre as armaduras. A aplicação no capacitor de uma tensão superior à sua tensão máxima de trabalho provoca o rompimento do dielétrico e faz o capacitor entrar em curto. Na maioria dos capacitores, isso danifica permanentemente o componente.

Associação de capacitores

Os **capacitores**, assim como os resistores podem ser **conectados entre si** formando uma associação série, paralela e mista. As associações paralela e série são encontradas na prática. As mistas raramente são utilizadas.

A **associação paralela** de capacitores tem por objetivo obter **maiores valores de capacitância**.



Essa associação tem características particulares com relação à capacitância total e à tensão de trabalho.

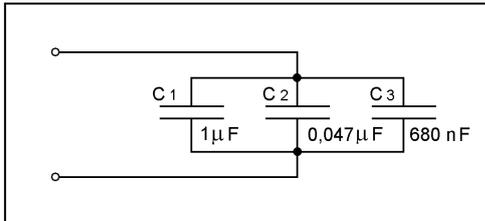
A **capacitância total** (C_T) da associação paralela é a **soma das capacitâncias individuais**. Isso pode ser representado matematicamente da seguinte maneira:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 \dots + C_n$$

Para executar a soma, todos os valores devem ser convertidos para a mesma unidade.

Exemplo:

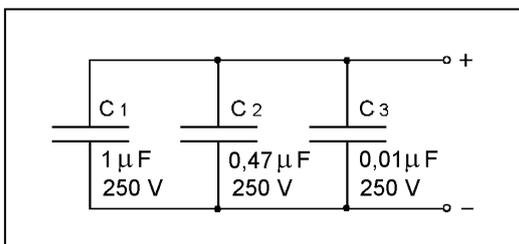
Qual a capacitância total da associação paralela de capacitores mostrada a seguir:



$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 1 + 0,047 + 0,68 = 1,727$$

$$C_T = 1,727 \mu\text{F}$$

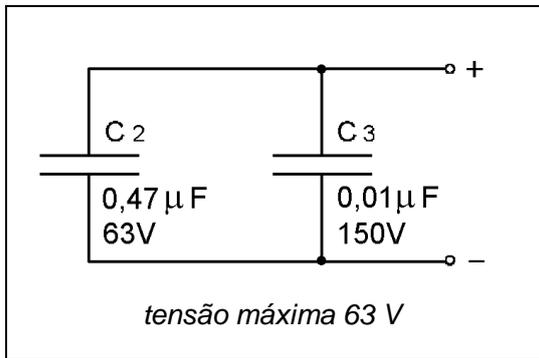
A **tensão de trabalho** de todos os **capacitores** associados em paralelo corresponde à **mesma tensão aplicada** ao conjunto.



Assim, a **máxima tensão** que pode ser **aplicada** a uma associação paralela é a do **capacitor** que tem **menor tensão** de trabalho.

Exemplo:

A máxima tensão que pode ser aplicada nas associações apresentadas nas figuras a seguir é **63 V**.



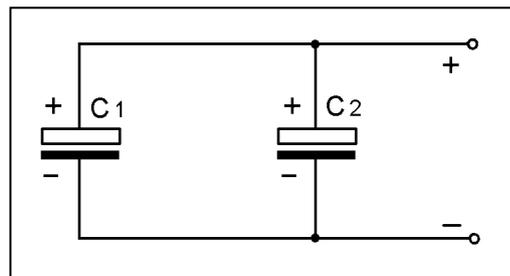
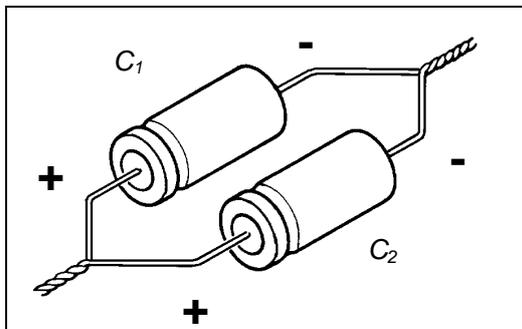
É importante ainda lembrar dois aspectos:

Deve-se evitar aplicar sobre um capacitor a tensão máxima que ele suporta;

Em **CA**, a tensão máxima é a **tensão de pico**. Um capacitor com tensão de trabalho de 100 V pode ser aplicado a uma tensão eficaz máxima de 70 V, pois 70 V eficazes correspondem a uma tensão CA com pico de 100 V.

Associação paralela de capacitores polarizados

Ao associar capacitores polarizados em paralelo, tanto os terminais positivos dos capacitores quanto os negativos devem ser ligados em conjunto entre si.

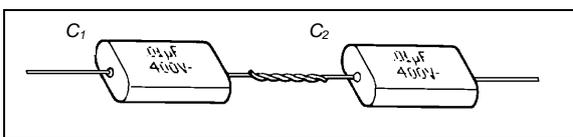
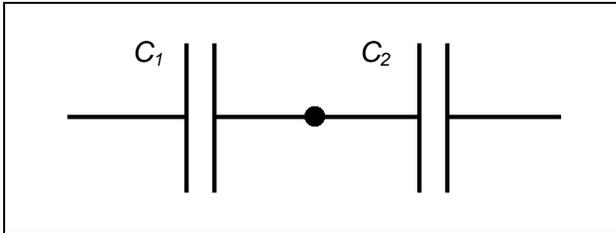


Observação

Deve-se lembrar que **capacitores polarizados** só podem ser usados em **CC** porque não há troca de polaridade da tensão.

Associação série de capacitores

A associação série de capacitores tem por objetivo obter **capacitâncias menores** ou **tensões de trabalho maiores**.



Quando se associam capacitores em série, a capacitância total é **menor** que o valor do menor capacitor associado. Isso pode ser representado matematicamente da seguinte maneira:

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

Essa expressão pode ser desenvolvida (como a expressão para R_T de resistores em paralelo) para duas situações particulares:

Associação série de dois capacitores:

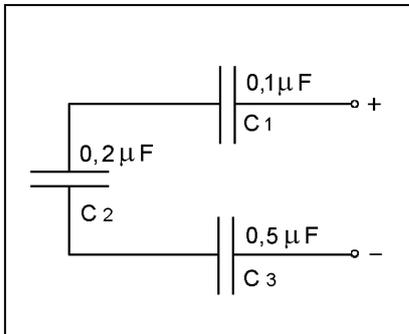
$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

Associação série de "n" capacitores de mesmo valor:

$$C_T = \frac{C}{n}$$

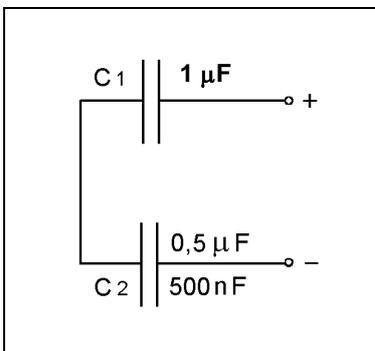
Para a utilização das equações, **todos os valores** de capacitância devem ser convertidos para a **mesma unidade**.

Exemplos de cálculos



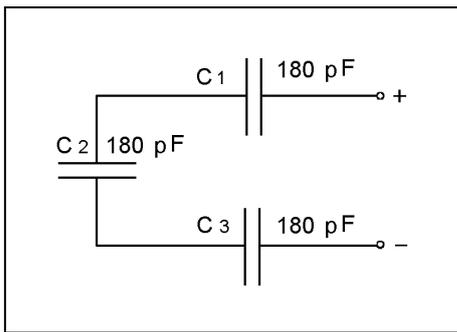
$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,5}} = \frac{1}{10 + 5 + 2} = \frac{1}{17} = 0,059$$

$$C_T = 0,059 \mu\text{F}$$



$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{1 \times 0,5}{1 + 0,5} = \frac{0,5}{1,5} = 0,33$$

$$C_T = 0,33 \mu\text{F}$$



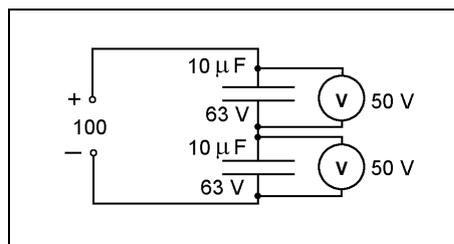
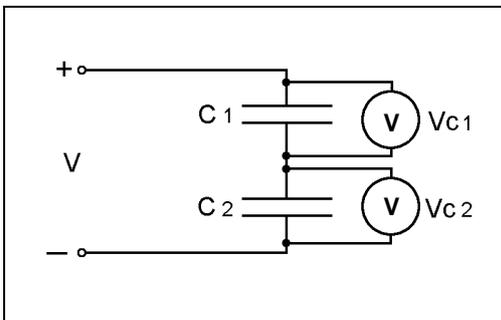
$$C_1 = C_2 = C_3 = C = 180 \text{ pF}$$

$$C_T = \frac{C}{n} = \frac{180}{3} = 60$$

$$C_T = 60 \text{ pF}$$

Tensão de trabalho da associação série

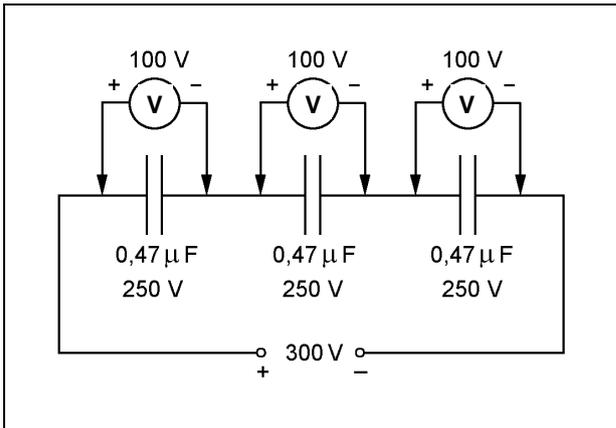
Quando se aplica tensão a uma associação série de capacitores, a **tensão** aplicada **se divide** entre os dois capacitores.



A **distribuição da tensão** nos capacitores ocorre de forma **inversamente proporcional à capacitância**, ou seja, quanto maior a capacitância, menor a tensão; quanto menor a capacitância, maior a tensão.

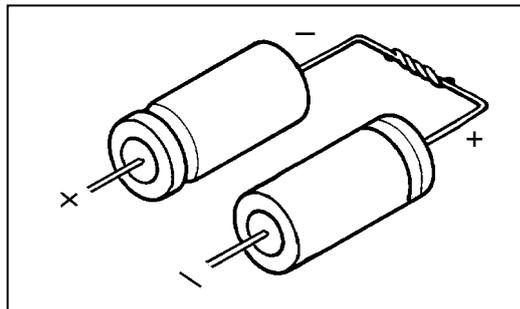
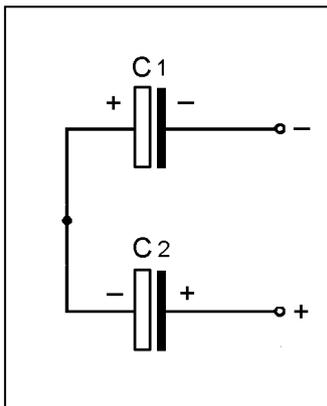
Como forma de simplificação pode-se adotar um procedimento simples e que evita a aplicação de tensões excessivas a uma associação série de capacitores. Para isso, associa-se em série **capacitores de mesma capacitância e mesma tensão de trabalho**.

Desta forma, a tensão aplicada se distribui igualmente sobre todos os capacitores.



Associação série de capacitores polarizados

Ao associar capacitores polarizados em série, o **terminal positivo** de um capacitor é conectado ao **terminal negativo** do outro.



É importante lembrar que **capacitores polarizados** só devem ser ligados em **CC**.

Reatância capacitiva

Em resposta à corrente contínua, um capacitor atua como um armazenador de energia elétrica. Em corrente alternada, contudo, o comportamento do capacitor é completamente diferente devido à troca de polaridade da fonte.

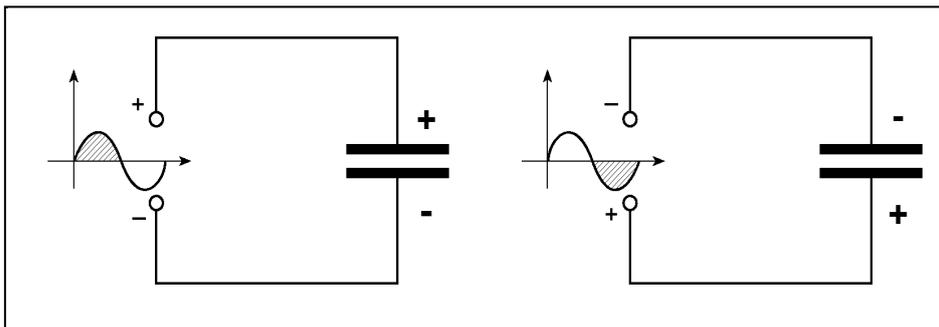
Este capítulo apresentará o comportamento do capacitor nas associações em circuitos CA.

Para aprender esses conteúdos com mais facilidade, é necessário ter conhecimentos anteriores sobre corrente alternada e capacitores.

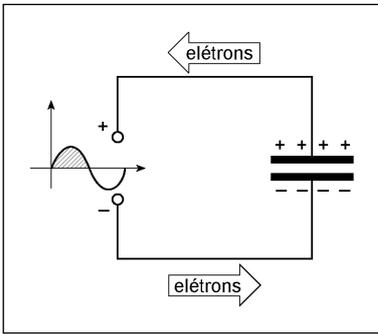
Funcionamento em CA

Os capacitores despolarizados podem funcionar em corrente alternada, porque cada uma de suas armaduras pode receber tanto potencial positivo como negativo.

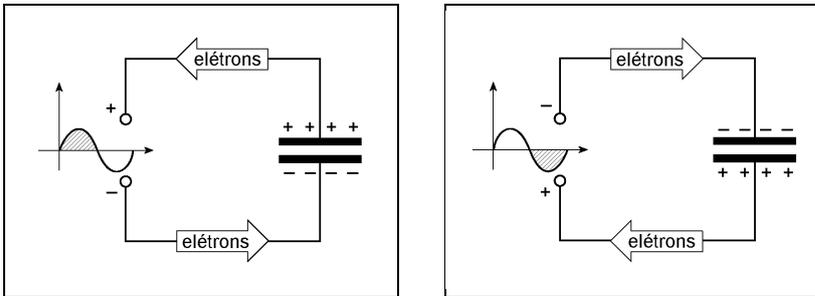
Quando um capacitor é conectado a uma fonte de corrente alternada, a troca sucessiva de polaridade da tensão é aplicada às armaduras do capacitor.



A cada semiciclo, a **armadura** que **recebe potencial positivo entrega elétrons** à fonte, enquanto a armadura que está ligada ao potencial negativo recebe elétrons.



Com a troca sucessiva de polaridade, uma mesma armadura durante um semiciclo recebe elétrons da fonte e no outro devolve elétrons para a fonte.



Existe, portanto, um movimento de elétrons ora entrando, ora saindo da armadura. Isso significa que circula uma corrente alternada no circuito, embora as **cargas elétricas não passem de uma armadura** do capacitor **para a outra** porque entre elas há o dielétrico, que é um isolante elétrico.

Reatância capacitiva

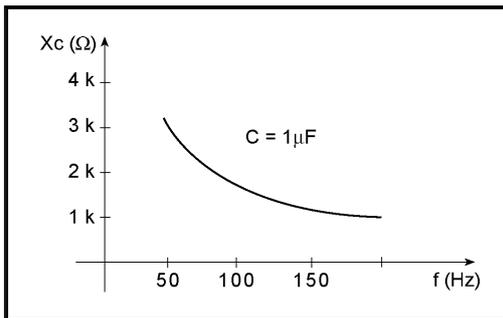
Os processos de **carga e descarga sucessivas** de um capacitor ligado em CA dão origem a uma **resistência** à passagem da corrente CA no circuito. Essa resistência é denominada de **reatância capacitiva**. Ela é representada pela notação X_C e é expressa em **ohms (Ω)**, através da expressão:

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

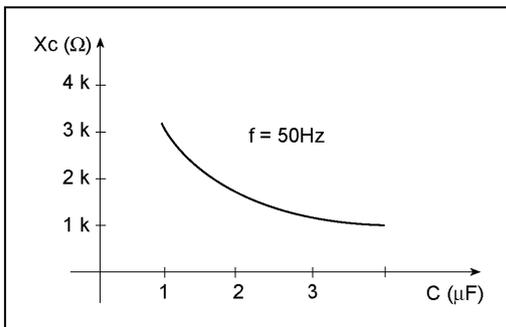
Na expressão apresentada, X_C é a reatância capacitiva em ohms (Ω); f é a frequência da corrente alternada em Hertz (Hz); C é a capacitância do capacitor em Farad (F); 2π é uma constante matemática cujo valor aproximado é 6,28.

Fatores que influenciam na reatância capacitiva

A reatância capacitiva de um capacitor depende apenas da sua capacitância e da frequência da rede CA. O gráfico a seguir mostra o comportamento da **reatância capacitiva** com a variação da **frequência da CA**, no qual é possível perceber que a **reatância capacitiva diminui** com o **aumento da frequência**.



No gráfico a seguir, está representado o comportamento da reatância capacitiva com a variação da capacitância. Observa-se que a **reatância capacitiva diminui** com o **aumento da capacitância**.



Na equação da reatância, não aparece o valor de tensão. Isso significa que a reatância capacitiva é **independente** do valor de tensão de CA aplicada ao capacitor.

A tensão CA aplicada ao capacitor influencia apenas na intensidade de corrente CA circulante no circuito.

Relação entre tensão CA, corrente CA e reatância capacitiva

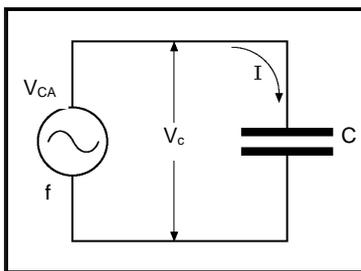
Quando um capacitor é conectado a uma fonte de CA, estabelece-se um circuito elétrico. Nesse circuito estão envolvidos três valores:

Tensão aplicada;

Reatância capacitiva;

Corrente circulante.

Esses três valores estão relacionados entre si nos circuitos de CA da mesma forma que nos circuitos de CC, através da **Lei de Ohm**.

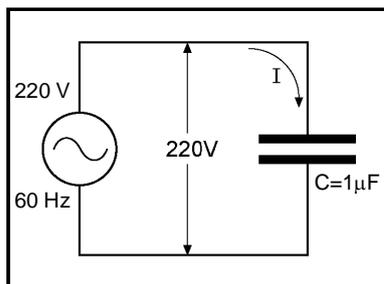


Assim, $V_C = I \cdot X_C$.

Nessa expressão, V_C é a tensão no capacitor em volts (V); I é a corrente (eficaz) no circuito em ampères (A); X_C é a reatância capacitiva em omhs (Ω).

Exemplo de cálculo:

Um capacitor de $1 \mu\text{F}$ é conectado a uma rede de CA de 220 V, 60 Hz. Qual é a corrente circulante no circuito?



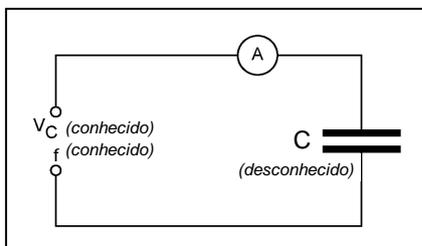
$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{6,28 \cdot 60 \cdot 0,000001} = 2654 \Omega$$

$$I = \frac{V_C}{X_C} = \frac{220}{2654} = 0,0829 \text{ ou } 82,9 \text{ mA}$$

Deve-se lembrar que os valores de V e I são eficazes, ou seja, são valores que serão indicados por um **voltímetro** e um **miliamperímetro** de **CA** conectados ao circuito.

Determinação experimental da capacitância de um capacitor

Quando a capacitância de um capacitor despolarizado é desconhecida, é possível determiná-la por um processo experimental. Isso é feito aplicando-se o capacitor a uma fonte de CA com tensão (V_C) e frequência (f) conhecidos e medindo-se a corrente com um amperímetro de CA (I_C).



Observação

O valor de **tensão de pico da CA** aplicada deve ser **inferior à tensão** de trabalho do **capacitor**.

Conhecendo-se os valores de tensão e corrente no circuito, determina-se a reatância capacitiva do capacitor por meio da expressão:

$$X_C = \frac{V_C}{I_C}$$

A capacitância (C) é obtida a partir da expressão:

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

Isolando C :

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

Impedância

Quando um circuito composto apenas por resistores é conectado a uma fonte de CC ou CA, a oposição total que esse tipo de circuito apresenta à passagem da corrente é denominada de **resistência total**. Entretanto, em circuitos CA que apresentam resistências associadas e reatâncias associadas, a expressão resistência total não é aplicável.

Nesse tipo de circuito, a oposição total à passagem da corrente elétrica é denominada de **impedância**, que não pode ser calculada da mesma forma que a resistência total de um circuito composta apenas por resistores, por exemplo.

A existência de componente reativos, que defasam correntes ou tensões, torna necessário o uso de formas particulares para o cálculo da impedância de cada tipo de circuito em CA. Esse é o assunto deste capítulo.

Para ter um bom aproveitamento no estudo deste assunto, é necessário ter conhecimentos anteriores sobre tipos de circuitos em CA, resistores, capacitores e indutores.

Circuitos resistivos, indutivos e capacitivos

Em circuitos alimentados por CA, como você já estudou, existem três tipos de resistências que dependem do tipo de carga.

Em **circuitos resistivos**, a resistência do circuito é somente a dificuldade que os elétrons encontram para circular por um determinado material, normalmente níquel-cromo ou carbono. Esta resistência pode ser medida utilizando-se um ohmímetro.

Nos **circuitos indutivos**, a resistência total do circuito não pode ser medida somente com um ohmímetro, pois, além da resistência ôhmica que a bobina oferece à passagem da corrente (resistência de valor muito baixo), existe também uma corrente de auto-indução que se opõe à corrente do circuito, dificultando a passagem da corrente do circuito.

Desta forma, a resistência do circuito vai depender, além da sua resistência ôhmica, da indutância da bobina e da frequência da rede, pois são estas grandezas que influenciam o valor da corrente de auto-indução.

Nos **circuitos capacitivos**, a resistência total do circuito também não pode ser medida com um ohmímetro, porque a mudança constante do sentido da tensão da rede causa uma oposição à passagem da corrente elétrica no circuito.

Neste caso, a resistência total do circuito, vai depender da frequência de variação da polaridade da rede e da capacitância do circuito.

A tabela que segue, ilustra de forma resumida os três casos citados.

Tipo de circuito	Grandeza	Símbolo	Unidade	Representação	Fórmula	Causa da oposição
------------------	----------	---------	---------	---------------	---------	-------------------

Resistivo	resistência	R	ohm	Ω	$R = \frac{V}{I}$	resistência do material usado
Indutivo	reatância indutiva	X_L	ohm	Ω	$2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$	corrente de auto-indução e quadrática
Capacitivo	reatância capacitiva	X_C	ohm	Ω	$\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$	variação constante de polaridade da tensão da rede

Impedância

Em circuitos alimentados por CA, com cargas resistivas-indutivas ou resistivas-capacitivas, a resistência total do circuito será a soma quadrática da resistência pura

(R) com as reatâncias indutivas (X_L) ou capacitivas (X_C). A este somatório quadrático denomina-se **impedância**, representada pela letra **Z** e expressa em ohms (Ω):

$$Z^2 = R^2 + X_L^2 \text{ ou } Z^2 = R^2 + X_C^2$$

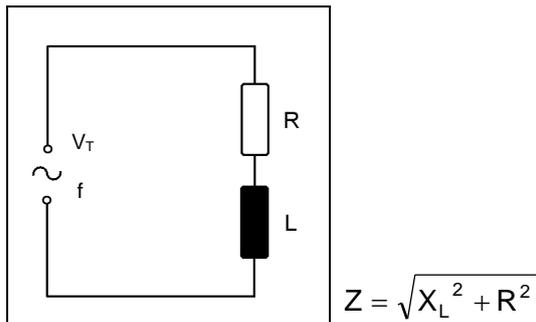
Para cálculo da impedância de um circuito, não se pode simplesmente somar valores de resistência com reatâncias, pois estes valores não estão em fase.

De acordo com o tipo de circuito, são usadas equações distintas para dois tipos de circuitos: **em série** e **em paralelo**.

Circuitos em série

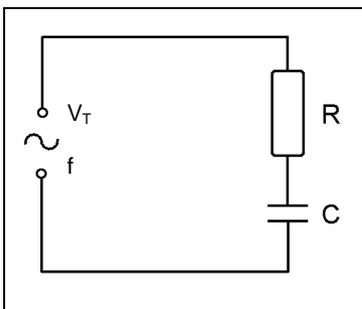
Nos circuitos em série, pode-se ter três situações distintas: **resistor e indutor**, **resistor e capacitor**, ou **resistor, indutor e capacitor** simultaneamente.

Resistor e indutor (circuito RL - série).

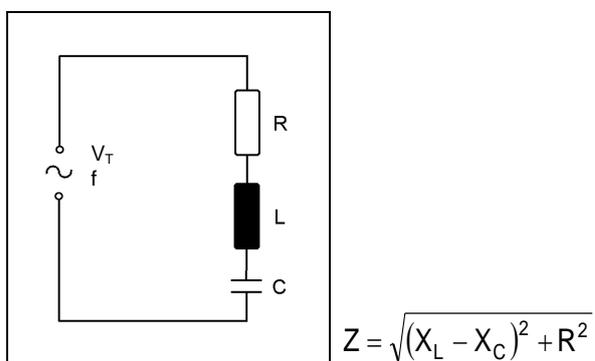


Resistor e capacitor (circuito RC - série).

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



Resistor indutor e capacitor (circuito RLC - série).



Tensão e corrente

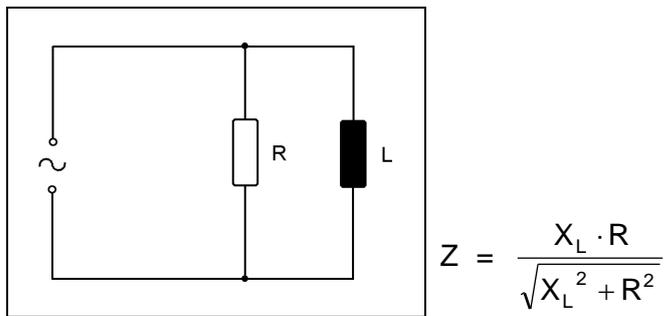
Para cálculos de tensão e corrente, as equações são apresentadas na tabela a seguir:

Tipo de circuito série	Tensão				Corrente			
	Total	Resistor	Capacitor	Indutor	Total	Resistor	Capacitor	Indutor
RL	$V_T = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$	$V_R = \sqrt{V_T^2 - V_L^2}$	-	$V_L = \sqrt{V_T^2 - V_R^2}$	$I_T = \frac{V_T}{Z}$	$I_R = \frac{V_R}{R}$	$I_C = \frac{V_C}{X_C}$	$I_L = \frac{V_L}{X_L}$
RC	$V_T = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$	$V_R = \sqrt{V_T^2 - V_C^2}$	$V_C = \sqrt{V_T^2 - V_R^2}$	-				
RLC	$V_T = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$	$V_R = \sqrt{V_T^2 - (V_L - V_C)^2}$	$V_C = X_C \cdot I_T$	$V_L = X_L \cdot I_T$				

Circuitos em paralelo

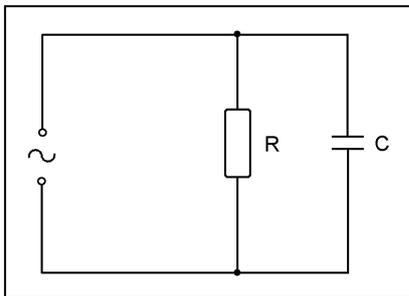
Nos circuitos em paralelo, podem ocorrer três situações estudadas distintas; resistor e indutor, resistor e capacitor ou resistor, indutor e capacitor simultaneamente. A seguir será apresentado as três situações.

Resistor e indutor (circuito RL - paralelo).

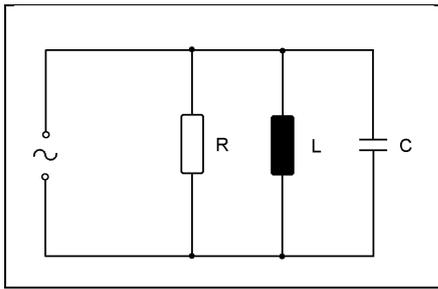


Resistor e capacitor (circuito RC - paralelo).

$$Z = \frac{X_C \cdot R}{\sqrt{X_C^2 + R^2}}$$



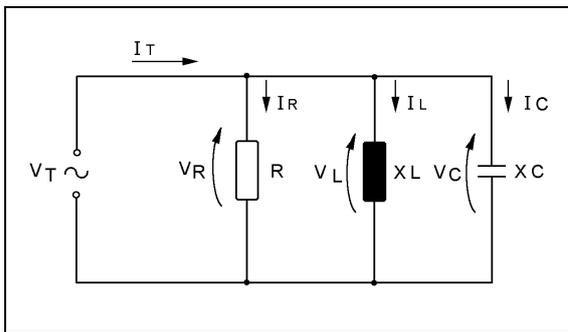
Resistor indutor e capacitor (circuito RLC -série).



$$Z = \frac{1}{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}$$

Tensão e corrente

Para cálculos de tensão e corrente as equações são apresentadas a seguir.



$$V_T = V_R = V_L = V_C$$

Ti po de circuito	Tensão				Corrente			
	Total	Resistor	Capacitor	Indutor	Total	Resistor	Capacitor	Indutor
RL	$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$	$I_R = \sqrt{I_T^2 - I_L^2}$	-	$I_L = \sqrt{I_T^2 - I_R^2}$	$I_T = \frac{V_T}{Z}$	$I_R = \frac{V_R}{R}$	$I_C = \frac{V_C}{X_C}$	$I_L = \frac{V_L}{X_L}$
RC	$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$	$I_R = \sqrt{I_T^2 - I_C^2}$	$I_C = \sqrt{I_T^2 - I_R^2}$	-				
RLC	$I_T = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$	$I_R = \sqrt{I_T^2 - (I_L - I_C)^2}$	$I_C = I_L + \sqrt{I_T^2 - I_R^2}$	$I_L = I_C + \sqrt{I_T^2 - I_R^2}$				

Sistemas de distribuição

Introdução

Toda energia elétrica gerada ou transformada por meio de transformadores, deve ser transportada e distribuída de alguma forma. Para efetuar, no gerador ou transformador, as ligações necessárias ao transporte e distribuição da energia, alguns detalhes devem ser observados.

Neste capítulo serão estudados os sistemas de ligações existentes e algumas particularidades importantes destes sistemas. Para ter bom aproveitamento nesse estudo, é necessário ter bons conhecimentos anteriores sobre geração de energia elétrica e tensão alternada.

Tipos de sistemas

O sistema de distribuição deve ser escolhido considerando-se a natureza dos aparelhos ou consumidores e os limites de utilização da fonte disponível pelo distribuidor de energia elétrica, e a tensão do sistema.

Neste capítulo serão estudados somente sistemas de baixas tensões. Por definição da NBR 5473, são considerados como sendo de baixa tensão em CA, os sistemas cujos valores de tensão não ultrapassem 1.000 V.

A norma NBR 5410 (item 4.2.2), considera os seguintes sistemas de CA:

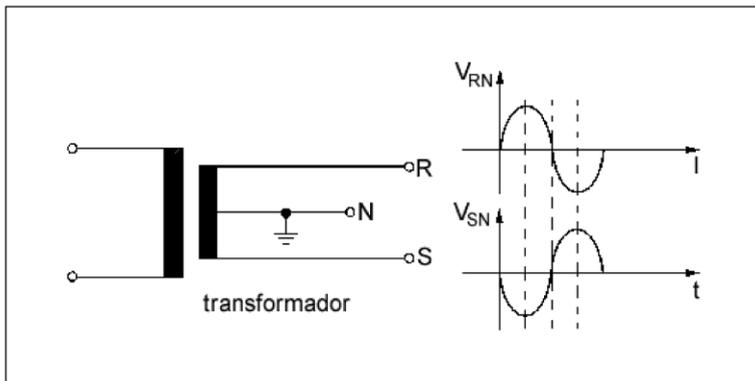
- Monofásico;
- Bifásico;
- Trifásico.

Sistema de distribuição monofásico

O sistema de distribuição monofásico é o sistema de distribuição que usa dois ou três condutores para distribuir a energia. Enquanto os sistemas com dois condutores podem ter duas fases, ou fase e neutro, o sistema monofásico de três condutores tem duas fases e neutro.

Sistema de distribuição bifásico

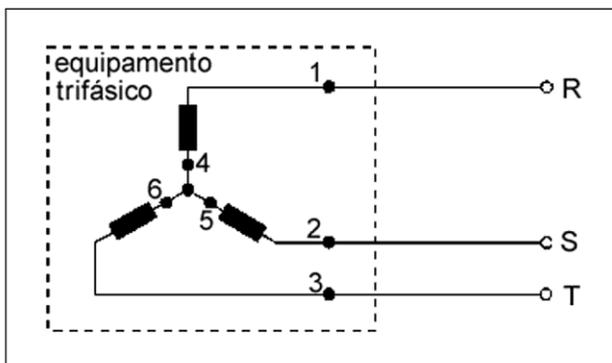
Neste sistema são utilizados três condutores para a distribuição da energia. Trata-se de um sistema simétrico, ou seja, aquele no qual as senoides alcançam seus valores máximos e mínimos ao mesmo tempo, como pode ser observado na ilustração a seguir.



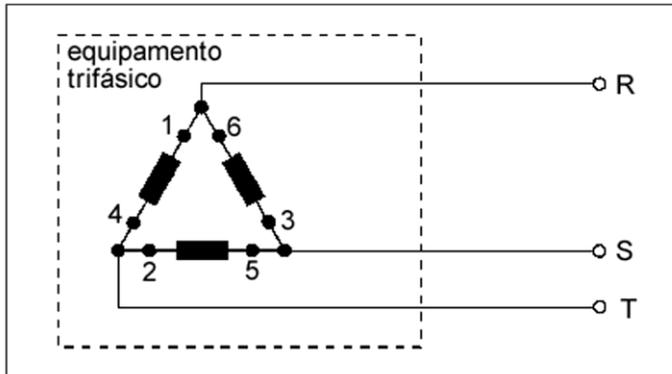
Sistema trifásico de distribuição

O sistema trifásico distribui energia por meio de três ou quatro condutores, e os terminais do equipamento fornecedor (gerador ou transformador) podem ser fechados, ou seja ligados, de duas formas: **estrela** ou **triângulo**.

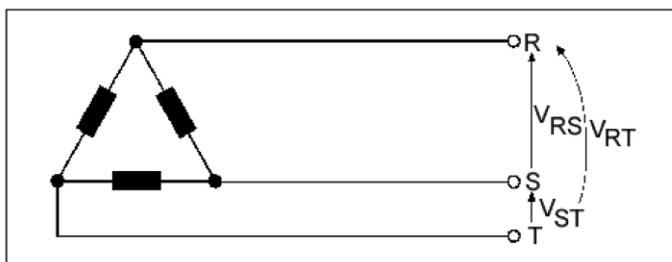
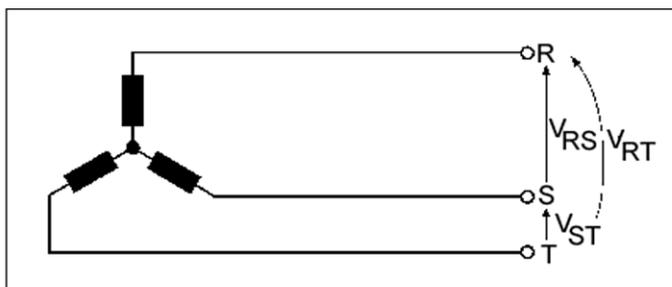
No fechamento **estrela**, as extremidades 1, 2 e 3 dos grupos de bobinas fornecem as fases R, S, T, enquanto que as extremidades 4, 5 e 6 são interligadas. Observe isso na ilustração a seguir:



No fechamento **triângulo**, as ligações são feitas de forma que o início de um grupo de bobinas é ligado ao final de um outro grupo de bobinas. O aspecto final desse tipo de ligação lembra o formato de um triângulo. Veja ilustração a seguir:



No sistema trifásico com três condutores, as tensões entre os condutores são chamadas de tensão linha e têm valores iguais. As figuras que seguem ilustram os fechamentos neste sistema.



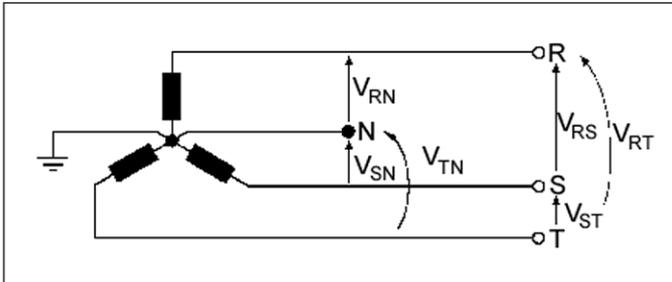
$$V_{RS} = V_{RT} = V_{ST}$$

O sistema trifásico com quatro condutores apresenta além dos condutores das fases, o condutor neutro. Este sistema com ligação estrela, fornece tensões iguais entre as fases, porém a tensão entre o neutro e uma das fases é obtida com o auxílio da equação:

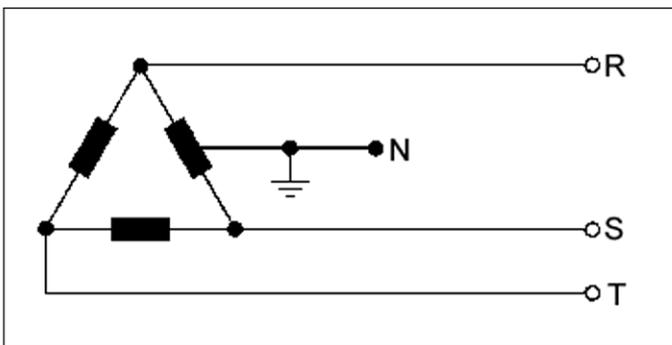
$$V_{FN} = \frac{V_{FF}}{\sqrt{3}}$$

Nessa igualdade, V_{FN} é a tensão entre fase e neutro, e V_{FF} é a tensão entre fases.

Dizer V_{FF} é o mesmo que dizer: V_{RS} , ou V_{RT} , ou V_{ST} .



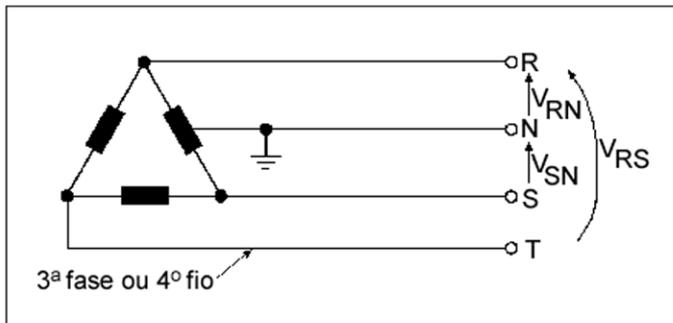
Na ligação triângulo (ou delta) com quatro fios, as tensões entre as fases são iguais porém, obtém-se o fio neutro a partir da derivação do enrolamento de uma das fases, conforme ilustração que segue.



$$V_{RS} = V_{RT} = V_{ST}$$

A utilização do fio neutro nesta ligação deve ser feito com alguns cuidados, pois, entre o fio neutro e as fases de onde ele derivou, a tensão obtida é a metade da tensão entre as fases.

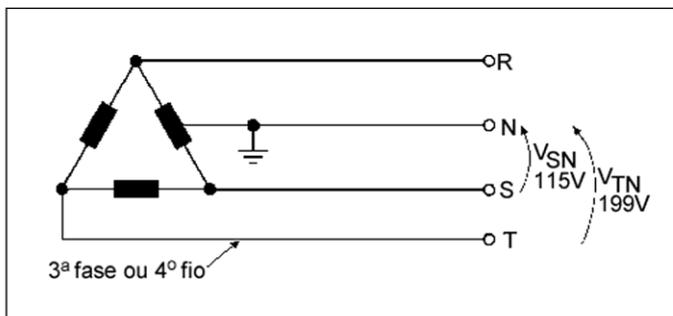
$$\frac{V_{FF}}{2}$$



$$V_{FN} = \frac{V_{FF}}{2} = V_{RN} = V_{SN}$$

V_{FN} é a tensão derivada entre fase e neutro e V_{FF} é a tensão entre as duas fases. Porém entre o neutro e a fase não-derivada, normalmente chamada de **terceira fase** ou **quarto fio (fase T)**, a tensão será 1,73 vezes **maior** que a V_{FN} prevista na instalação.

Logo, se esta fase for usada com o neutro na instalação para alimentações de equipamentos, eles provavelmente serão danificados por excesso de tensão. Através de um exemplo, é possível observar esta ocorrência.



Potência em CA

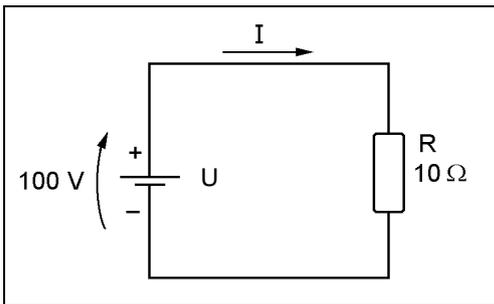
Além da tensão e da corrente, a potência é um parâmetro muito importante para o dimensionamento dos diversos equipamentos elétricos.

Neste capítulo, estudaremos a potência em corrente alternada em **circuítos monofásicos**, o fator de potência e suas unidades de medida.

Para aprender esse conteúdo com mais facilidade, é necessário ter conhecimentos anteriores sobre corrente alternada, comportamento de indutores e capacitores em CA.

Potência em corrente alternada⁴⁴

Como já vimos, a capacidade de um consumidor de produzir trabalho em um determinado tempo, a partir da energia elétrica, é chamada de **potência elétrica**. Em um circuito de corrente contínua, a potência é dada em **watts**, multiplicando-se a tensão pela corrente.



O cálculo apresentado a seguir é válido não só para **CC** mas também para **CA**, quando os circuitos são **puramente resistivos**.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{100}{10} = 10 \text{ A}$$

$$P = U \cdot I = 100 \cdot 10 = 1000 \text{ W}$$

Todavia, quando se trata de circuitos de CA com cargas indutivas e/ou capacitivas, ocorre uma **defasagem** entre **tensão** e **corrente**. Isso nos leva a considerar três tipos de potência:

- Potência aparente (S);
- Potência ativa (P);
- Potência reativa (Q).

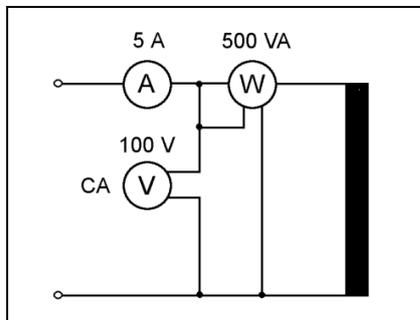
Potência aparente

A **potência aparente (S)** é o resultado da multiplicação da tensão pela corrente. Em circuitos não resistivos em CA, essa potência **não é real**, pois não considera a defasagem que existe entre tensão e corrente.

A unidade de medida da potência aparente é o **volt-ampère (VA)**.

Exemplo de cálculo:

Determinar a potência aparente do circuito a seguir.



$$S = U \cdot I = 100 \cdot 5 = 500$$

$$S = 500 \text{ VA}$$

Potência ativa

A **potência ativa**, também chamada de potência real, é a potência **verdadeira** do circuito, ou seja, a potência que **realmente** produz trabalho. Ela é representada pela notação **P**.

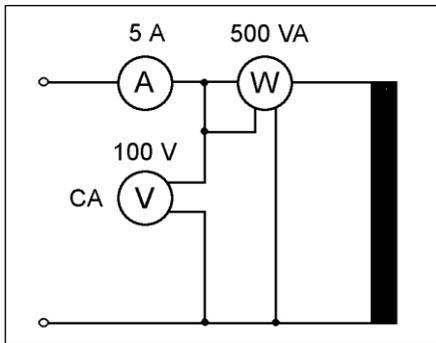
A potência ativa pode ser **medida** diretamente através de um **wattímetro** e sua unidade de medida é o **watt (W)**.

No cálculo da potência ativa, deve-se considerar a defasagem entre as potências, através do fator de potência ($\cos \Phi$) que determina a defasagem entre tensão e corrente. Assim, a fórmula para esse cálculo

$$\text{é: } P = U \cdot I \cdot \cos \Phi$$

Exemplo de cálculo:

Determinar a potência ativa do circuito a seguir, considerando $\cos \varphi = 0,8$.



$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 100 \cdot 5 \cdot 0,8 = 400$$

$$P = 400 \text{ W}$$

Observação

O fator $\cos \varphi$ (cosseno do ângulo de fase) é chamado de fator de **potência do circuito**, pois determina qual a porcentagem de potência aparente é empregada para produzir trabalho.

O fator de potência é calculado por meio da seguinte fórmula:

$$\cos = \frac{P}{S}$$

No circuito do exemplo acima, a potência ativa é de 400 W e a potência aparente é de 500 VA. Assim, o $\cos \varphi$ é:

$$\cos = \frac{P}{S} = \frac{400}{500} = 0,8$$

A concessionária de energia elétrica especifica o valor mínimo do fator de potência em **0,92**, medido junto ao medidor de energia.

O fator de potência deve ser o mais alto possível, isto é, próximo da unidade ($\cos \varphi = 1$). Assim, com a mesma corrente e tensão, consegue-se maior potência ativa que é a que produz trabalho no circuito.

Potência reativa

Potência reativa é a porção da potência aparente que é fornecida ao circuito. Sua função é constituir o **circuito magnético** nas bobinas e um **campo elétrico** nos capacitores.

Como os campos aumentam e diminuem acompanhando a frequência, a potência reativa varia duas vezes por período entre a fonte de corrente e o consumidor.

A potência reativa **aumenta a carga** dos **geradores**, dos **condutores** e dos **transformadores** originando perdas de potência nesses elementos do circuito.

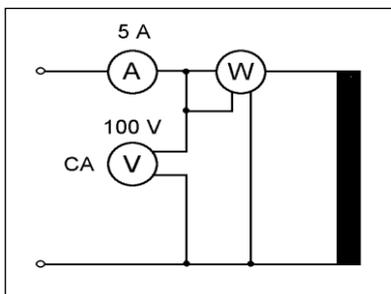
A unidade de medida da potência reativa é o **volt-ampère reativo (VAr)**, e é representada pela letra **Q**.

A potência reativa é determinada por meio da seguinte expressão:

$$Q = S \cdot \text{sen } \varphi$$

Exemplo de cálculo:

Determinar a potência reativa do circuito a seguir.



Primeiramente, verifica-se na tabela, o valor do ângulo φ e o valor do seno desse ângulo:

$$\begin{aligned} \text{arc cos } 0,8 &= 36^\circ 52' \\ \text{sen } 36^\circ 52' &= 0,6 \end{aligned}$$

Outra maneira de determinar o $\text{sen } \varphi$ é por meio da seguinte fórmula:

$$\text{sen } \varphi = \sqrt{1 - (\text{cos } \varphi)^2}$$

No exemplo dado, tem-se

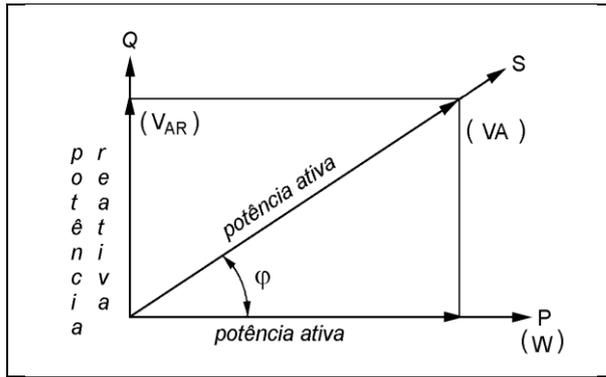
$$\text{sen } \varphi = \sqrt{1 - (\text{cos } \varphi)^2} = \sqrt{1 - 0,8^2} = \sqrt{1 - 0,64} = \sqrt{0,36} = 0,6$$

$$Q = S \cdot \text{sen } \varphi = 500 \cdot 0,6 = 300$$

$$Q = 300 \text{ VAr}$$

Triângulo das potências

As equações que expressam as potências ativa, aparente e reativa podem ser desenvolvidas geometricamente em um triângulo retângulo chamado de triângulo das potências.



Assim, se duas das três potências são conhecidas, a terceira pode ser determinada pelo teorema de Pitágoras.

Exemplo

Determinar as potências aparente, ativa e reativa de um motor monofásico alimentado por uma tensão de 220 V, com uma corrente de 3,41 A circulando, e tendo

um $\cos \varphi = 0,8$.

Potência aparente

$$S = V \cdot I = 220 \text{ V} \cdot 3,41$$

$$S \cong 750 \text{ VA}$$

Potência ativa

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi = 220 \times 3,41 \times 0,8$$

$$P = 600 \text{ W}$$

Potência reativa

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{750^2 - 600^2} = \sqrt{202500}$$

$$Q = 450 \text{ VAR}$$