

MANUAL DO ALUNO

DISCIPLINA TECNOLOGIAS APLICADAS

Módulo 3

República Democrática de Timor-Leste
Ministério da Educação



FICHA TÉCNICA

TÍTULO

MANUAL DO ALUNO - DISCIPLINA DE TECNOLOGIAS APLICADAS
Módulo 3

AUTOR

JORGE FLÁVIO

COLABORAÇÃO DAS EQUIPAS TÉCNICAS TIMORENSES DA DISCIPLINA
XXXXXXX

COLABORAÇÃO TÉCNICA NA REVISÃO
XXXXXXXXXX

DESIGN E PAGINAÇÃO

UNDESIGN - JOAO PAULO VILHENA
EVOLUA.PT

IMPRESSÃO E ACABAMENTO
XXXXXX

ISBN

XXX - XXX - X - XXXXX - X

TIRAGEM

XXXXXXXX EXEMPLARES

COORDENAÇÃO GERAL DO PROJETO
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO DE TIMOR-LESTE
2013



Índice

Tecnologia dos Componentes Eletrônicos	7
Apresentação.....	8
Introdução	8
Objetivos de aprendizagem	8
Âmbito de conteúdos	8
Circuito elétrico. Constituição e função de cada elemento.	9
Conceito de circuito aberto e circuito fechado.....	10
Definição de sobreintensidade, sobrecarga e curto-circuito.	10
Geradores elétricos	11
Força eletromotriz e resistência interna de um gerador	11
Exercício.....	14
Resistência elétrica.....	15
Fatores que afetam a resistência de um condutor. Resistividade.....	16
Código de cores das resistências	17
Exercícios	19
Variação da resistência com a temperatura. Coeficiente de temperatura.	20
Condutância elétrica	21
Exercícios	22
Associação de resistências.....	23
Associação em série	23

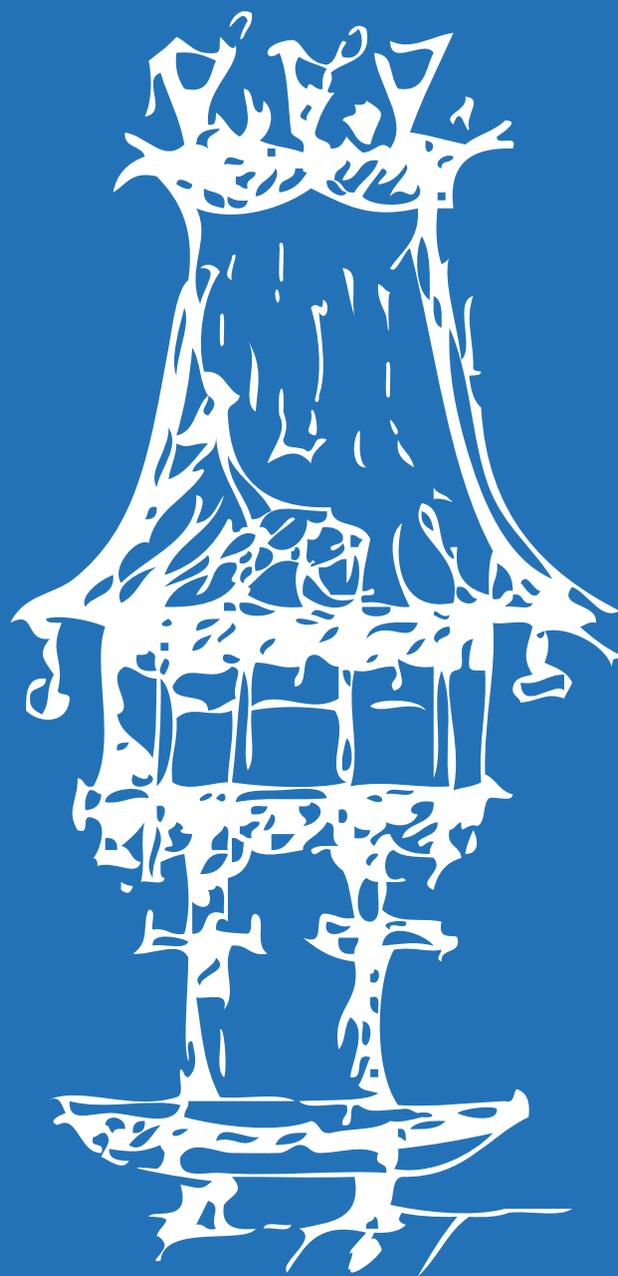


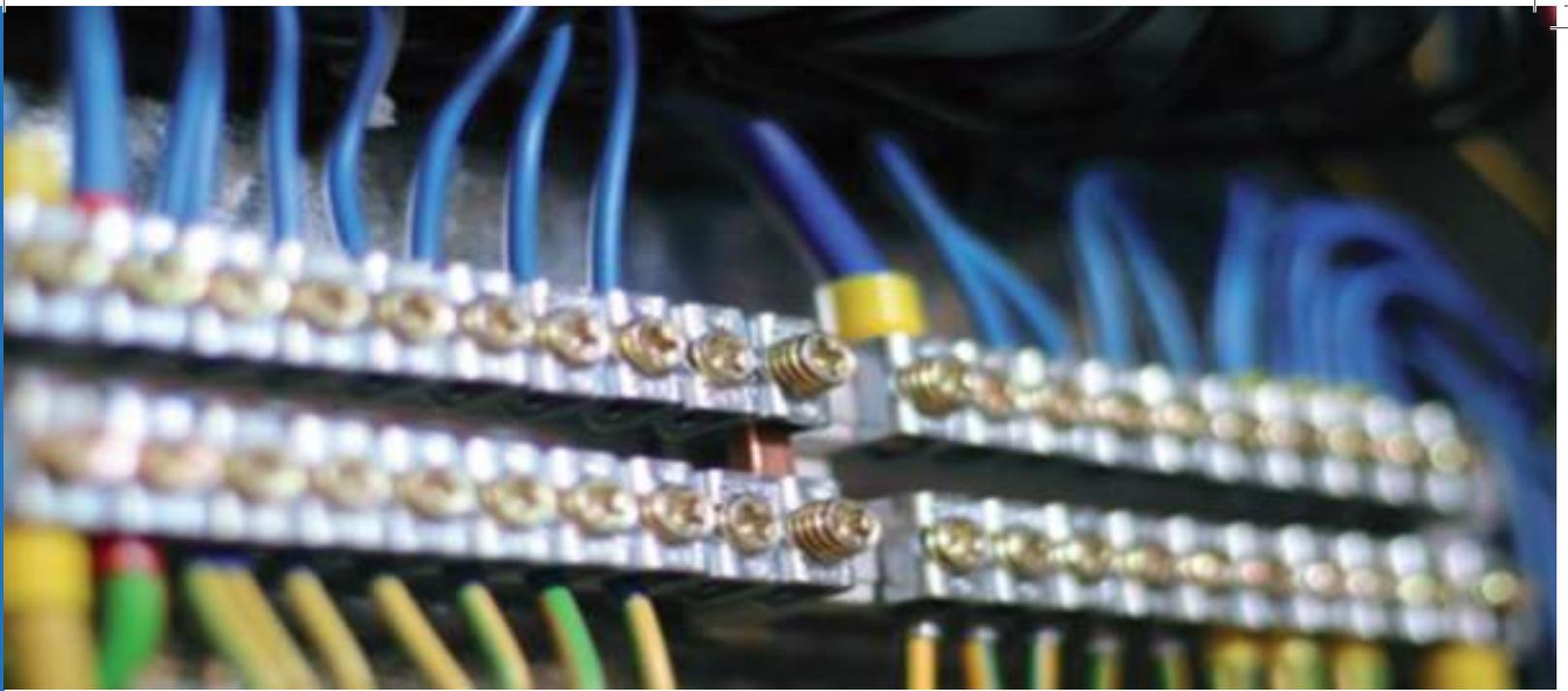
Associação em paralelo	24
Associação mista	24
Exercícios:	26
Condensadores.....	27
Introdução	27
Tipo de Condensadores	27
Capacidade de um condensador	28
Exercício.....	29
Código de cores dos condensadores	30
Código de letras.....	30
Análise de circuitos com condensadores.....	31
Exercícios	33
Constante de tempo num circuito RC.....	34
Condensadores em corrente contínua	35
Multímetro	37
Medição da Tensão.....	38
Medição da Corrente.....	39
Medição de Resistência	40
Cuidados no Manuseio de um Multímetro.....	41
Entendendo Múltiplos e Submúltiplos das Grandezas	43
Exercícios	49
Semicondutores	50



Apresentação.....	50
Atividades propostas	60
Bibliografia	61







Tecnologia dos Componentes Eletrônicos

Módulo 3

Apresentação

Este módulo tem caráter teórico-prático pelo que as aulas devem decorrer em ambiente laboratorial ou oficial, ou em ambos, de forma a permitir aos alunos a observação direta dos componentes eletrónicos, a sua manipulação e confirmarem, experimentalmente, algumas das suas características.

Introdução

A abordagem deste módulo de Tecnologias dos Componentes Eletrónicos leva-nos a um melhor entendimento dos vários tipos de componentes existentes no mercado assim como a melhor escolha deste tipo de componentes para que se ajuste às crescentes evoluções das tecnologias.

Objetivos de aprendizagem

- Conhecer e identificar as características gerais dos componentes eletrónicos.
- Determinar os valores nominais das Resistências e Condensadores pelos códigos de marcação.
- Identificar componentes eletrónicos através dos símbolos correspondentes.
- Consultar livros de características de componentes eletrónicos tipo “*Data Sheet*”.
- Identificar componentes eletrónicos através do seu código (*Proelectron*, JIS e JEDEC).
- Verificar o estado de funcionamento de um componente semicondutor com a ajuda de um multímetro.

Âmbito de conteúdos

- Resistências.
- Condensadores.
- Semicondutores.



Circuito elétrico. Constituição e função de cada elemento.

Consideremos um circuito hidráulico constituído por dois reservatórios colocados a níveis diferentes e ligados, por um lado, através de uma bomba e por outro, por uma turbina.

Se ligarmos os dois polos do gerador através de um condutor elétrico, inserindo um interruptor e um pequeno motor, constatamos que se passa algo idêntico ao que se verifica no circuito hidráulico.

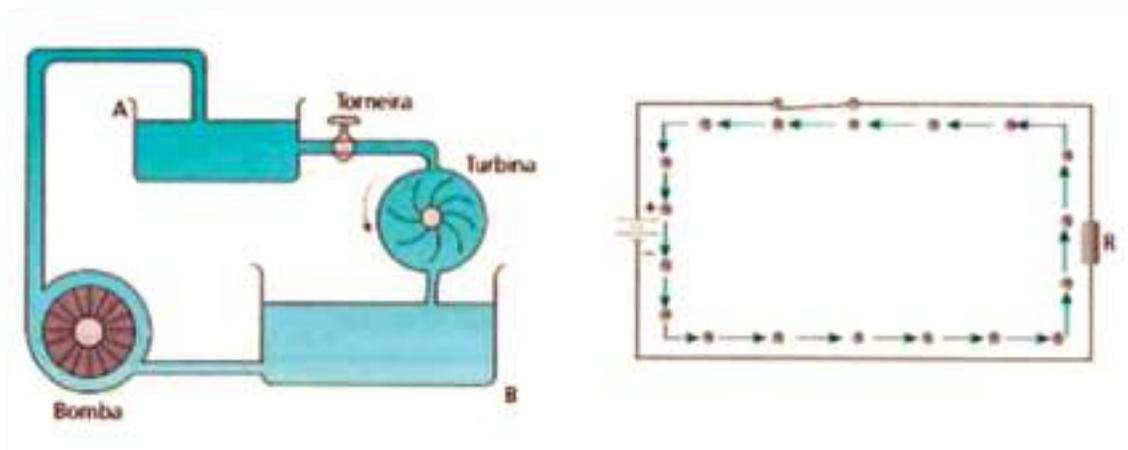


Fig. 1: Circuito hidráulico (à esquerda) e circuito elétrico (à direita)

Vejamos a analogia com um circuito elétrico.

A função da bomba é a de manter a diferença do nível da água nos dois reservatórios, deslocando a água do reservatório B para o reservatório A

A função do gerador também consiste em manter uma diferença de potencial aos seus terminais, deslocando, para isso, os eletrões no seu interior do polo positivo para o polo negativo. O gerador, devido à diferença de potencial nos seus terminais, provoca um deslocamento dos eletrões do seu polo negativo para o polo positivo, através do motor. O sentido de deslocamento dos eletrões designa-se por sentido real da corrente. Contudo, está convencionado que no exterior dos geradores a corrente elétrica tem o sentido do polo positivo para o polo negativo, sentido convencional.

Designaremos por circuito elétrico o conjunto de componentes elétricos ligados de forma a possibilitarem o estabelecimento de uma corrente elétrica através deles.



É evidente que um circuito elétrico para funcionar terá de ser fechado, caso contrário não haverá passagem de corrente.

Conceito de circuito aberto e circuito fechado

Quando no circuito da figura o interruptor estiver aberto e, conseqüentemente, não houver passagem de corrente, diz-se que o circuito está aberto.

Se o interruptor estiver fechado verifica-se passagem de corrente elétrica e diremos então que o circuito está fechado.

Definição de sobreintensidade, sobrecarga e curto-circuito.

Diz-se que um elemento de um circuito está sujeito a uma sobreintensidade quando a intensidade da corrente que passa através dele ultrapassa em muito o valor normal de funcionamento, chamado de valor nominal, que resulta sempre de uma avaria, defeito ou operação errada no circuito. Uma das causas mais frequentes de sobreintensidades é o curto-circuito.

Diz-se que há um curto-circuito quando existe uma diminuição brusca da resistência, para valores próximos de zero, entre dois pontos sob tensões diferentes. Uma representação deste problema pode ser uma ligação entre os bornos de uma pilha ou bateria com uma pinça por exemplo o que originará uma resistência quase nula, logo uma corrente bastante elevada.

Diremos que se verifica uma sobrecarga quando os valores normais do circuito são excedidos por virtude de uma maior solicitação em potência.



Geradores elétricos

Os geradores de corrente contínua mais usuais são:

- As pilhas, que transformam a energia química nelas contidas em energia elétrica.
- Os acumuladores, que igualmente transformam energia química em energia elétrica, apresentando a vantagem relativamente às pilhas de serem recarregáveis, ou seja, podem funcionar como recetores de corrente elétrica transformando energia elétrica em energia química.
- Os dínamos (geradores mecânicos), que transformam energia mecânica em energia elétrica.
- Os geradores fotoelétricos (células fotovoltaicas), que transformam energia luminosa em energia elétrica.

Força eletromotriz e resistência interna de um gerador

Vimos que a corrente elétrica é originada na d.d.p. (diferença de potencial) existente nos terminais do gerador. Enquanto existir essa d.d.p. manter-se-á a corrente elétrica, isto é, existe no polo negativo um excesso de eletrões e no polo positivo falta deles.

É então necessário que o gerador realize internamente trabalho e conseqüentemente gaste energia. Daqui a necessidade do gerador dispor de algum tipo de energia para transformar em energia elétrica.

Podemos dizer que a força eletromotriz (f.e.m.) é a causa que cria e mantém uma d.d.p. nos terminais de um gerador. Essa f.e.m. existe nos terminais independentemente do gerador se encontrar ou não ligado a um circuito.

A f.e.m. mede-se pela d.d.p. existente nos seus terminais em circuito aberto, isto é, na ausência de corrente elétrica.

A f.e.m. exprime-se em Volt e representa-se por E .

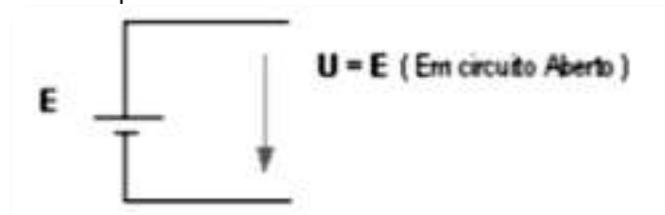


Fig. 2: Medição da força eletromotriz



O valor da f.e.m. de um gerador, em circuito fechado, não coincide exatamente com o valor da tensão lida no recetor. Esta diferença deve-se ao facto de o gerador apresentar uma certa oposição à passagem da corrente eléctrica, que passaremos a designar por resistência interna do gerador (r_i). O valor desta resistência é normalmente baixo. Essa resistência interna deve-se, no caso das pilhas e acumuladores, ao eletrólito e no caso dos dínamos, depende da resistência dos enrolamentos da máquina. Analisemos a queda de tensão na resistência interna, consideremos o circuito seguinte:

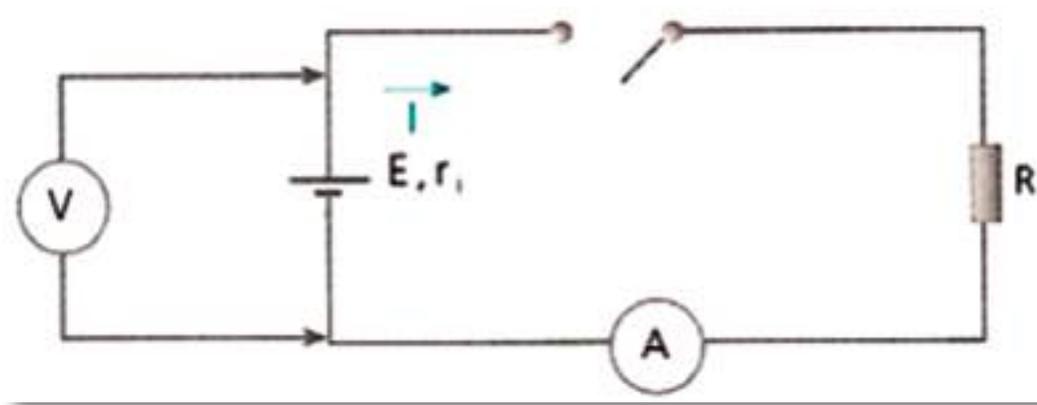


Fig. 3: Medição da força eletromotriz num circuito

Se no circuito o interruptor se encontrar fechado, haverá passagem de corrente no circuito e conseqüentemente verificar-se-á na resistência interna do gerador, r_i , uma queda de tensão dada por:

$$U = r_i \times I$$

que se designa por queda de tensão no interior do gerador.

Assim, a d.d.p. que chegará ao circuito será então a f.e.m. que o gerador gera menos a queda de tensão na resistência interna do gerador, ou seja:

$$U = E - r_i \times I$$

Esta expressão é designada por Lei de ohm para um gerador.

Podemos ainda definir qual a intensidade de corrente eléctrica no circuito, assim teremos:



$$I = \frac{E}{R+r_i}$$

Ou seja, os elétrons ao circular no circuito encontram duas oposições à sua passagem, a resistência R e a resistência interna r_i .

Esquemáticamente, podemos desenhar o gerador da seguinte forma:

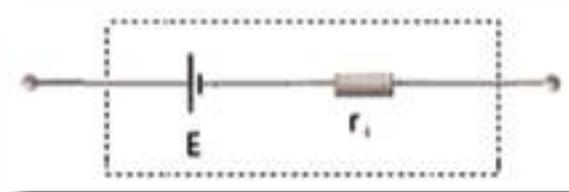


Fig. 4: Esquema equivalente de um gerador elétrico

De notar que, estando o gerador desligado de qualquer circuito (gerador em vazio), a queda de tensão interna do gerador é nula, pois não há intensidade de corrente. Assim:

$$U = r_i \times I = 0$$

Daqui constata-se a definição introduzida na página anterior: Quando o gerador está em circuito aberto a f.e.m é igual à d.d.p. nos seus terminais.

$$E = U \text{ (Em circuito aberto)}$$

Atualmente, os geradores de tensão, constituídos com componentes eletrónicos, apresentam resistências internas praticamente nulas, pelo que deixa de ter sentido distinguir f.e.m. e tensão nos seus terminais.



Exercício

1. Um gerador fornece uma intensidade de corrente elétrica de 0,8A a um circuito, quando a sua d.d.p. é de 10,9 V. Sendo a sua f.e.m. de 12 V, calcule a sua resistência interna.



Resistência elétrica

Consideremos 2 circuitos elétricos simples, 1 e 2, que apenas diferem nos condutores metálicos M e N.

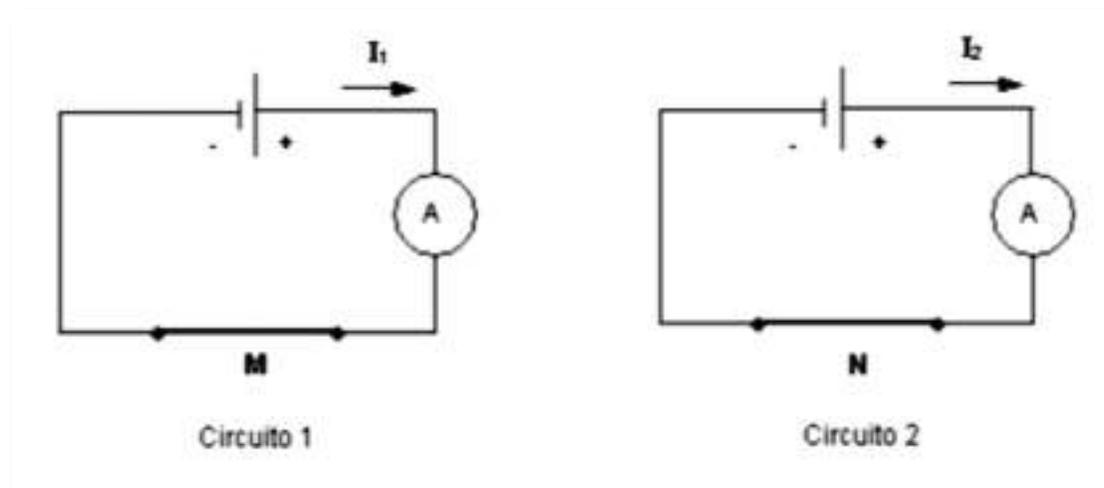


Fig. 5: Circuitos elétricos

Se os amperímetros registarem valores diferentes, então, a intensidade de corrente no circuito 1 (I_1) é diferente da intensidade de corrente no circuito 2 (I_2).

Sendo $I_1 \neq I_2$ é porque num determinado espaço de tempo, o número de cargas que atravessa uma dada secção transversal do circuito 1 é diferente do que atravessa o circuito 2. Esta diferença deve-se, exclusivamente, aos condutores M e N, pois são os únicos elementos diferentes nos dois circuitos.

Então, os condutores M e N oferecem diferentes oposições - resistências - ao movimento das cargas elétricas.

Para uma mesma diferença de potencial aplicada a vários condutores, quanto maior for a resistência do condutor, menor será a intensidade de corrente que o percorre.

Para caracterizar esta oposição à passagem da corrente elétrica definimos a grandeza Resistência elétrica.

A Resistência elétrica representa-se por R. Exprime-se em Ohm (Ω).

O aparelho utilizado para medir a resistência elétrica é o ohmímetro.



A expressão matemática que define a resistência elétrica é a seguinte:

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

em que:

R - Resistência elétrica - Ohm (Ω)

U - Tensão ou diferença de potencial - Volt (V)

I - Intensidade da corrente elétrica - Ampere (A)

Múltiplo	Simbolo	Valor
KiloOhm	$k\Omega$	10^3
MegaOhm	$M\Omega$	10^6

Fig. 6 - Múltiplos

Fatores que afetam a resistência de um condutor. Resistividade.

A resistência de um condutor com uma secção uniforme é dependente do material, é diretamente proporcional ao comprimento e inversamente proporcional à área de secção, ou seja:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad (\Omega)$$

Onde:

R - Resistência elétrica - (Ω)

ρ - Resistividade do material (lê-se " ró ") - ($\Omega \cdot m$)¹

L - Comprimento - (m)

¹ No sistema internacional (S.I.) a unidade da resistividade é $\Omega \cdot m$, onde a secção é expressa em m^2 .

Para secções expressas em mm^2 a resistividade assume a unidade $\Omega \cdot mm^2 / m$.



S - Área de secção - (m²)

Como já referimos, um bom condutor possui uma resistividade da ordem dos $10^{-8} \Omega \cdot m$ ou $10^{-4} \text{ mm}^2/m$ e os materiais com resistividades superiores a $10^{10} \Omega \cdot m$ ou $10^{14} \Omega \cdot \text{mm}^2/m$ são designados por isoladores.

Código de cores das resistências

As tabelas abaixo permitem a leitura de resistências que utilizam um código de cores para a identificação do seu valor.

Na maior parte das vezes o código de cores é impresso como listas sobre o corpo da resistência. A leitura das listas deve ser feita a partir da que começa mais perto de uma extremidade da resistência, ou seja, a lista mais perto da extremidade é a 1 a seguinte a 2 e assim sucessivamente.

As resistências comuns geralmente apresentam 3 ou 4 listas e as de precisão possuem 5 listas.

Resistências comuns:

1ª e 2ª lista = Valor

3ª Lista = Multiplicador

4ª Lista = Tolerância

Nas resistências com tolerância de 20% só há três listas.

Resistências de precisão:

1ª, 2ª e 3ª lista = Valor

4ª Lista = Multiplicador

5ª Lista = Tolerância



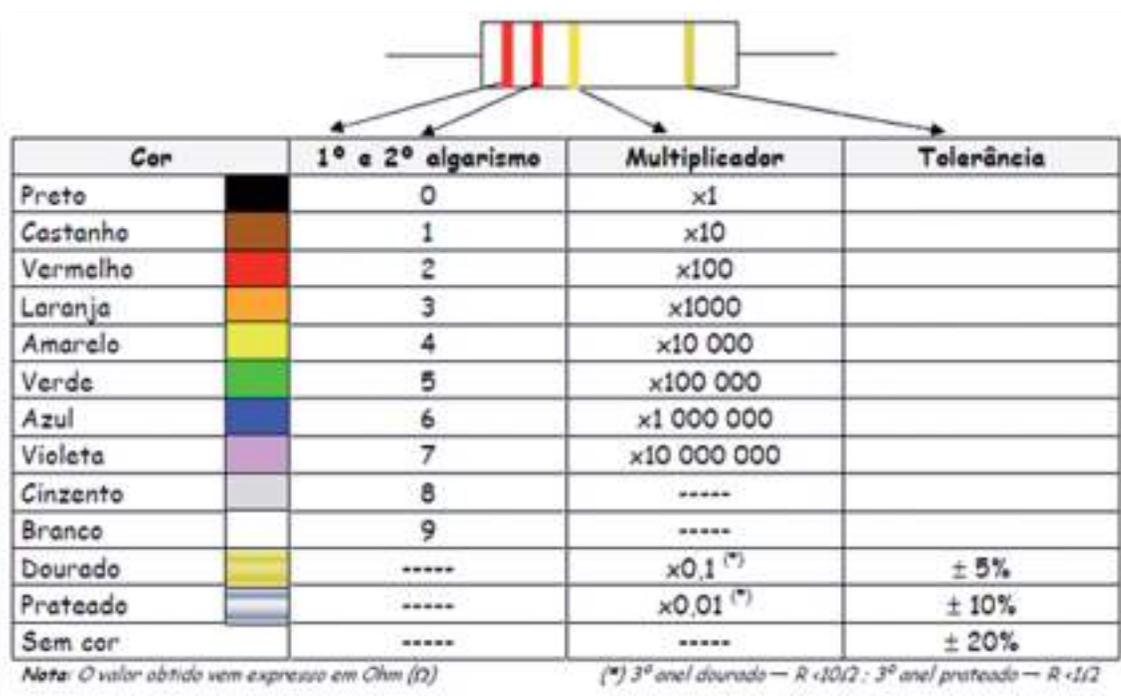


Fig. 7 - Código de cor das resistências de precisão (4 Listas)

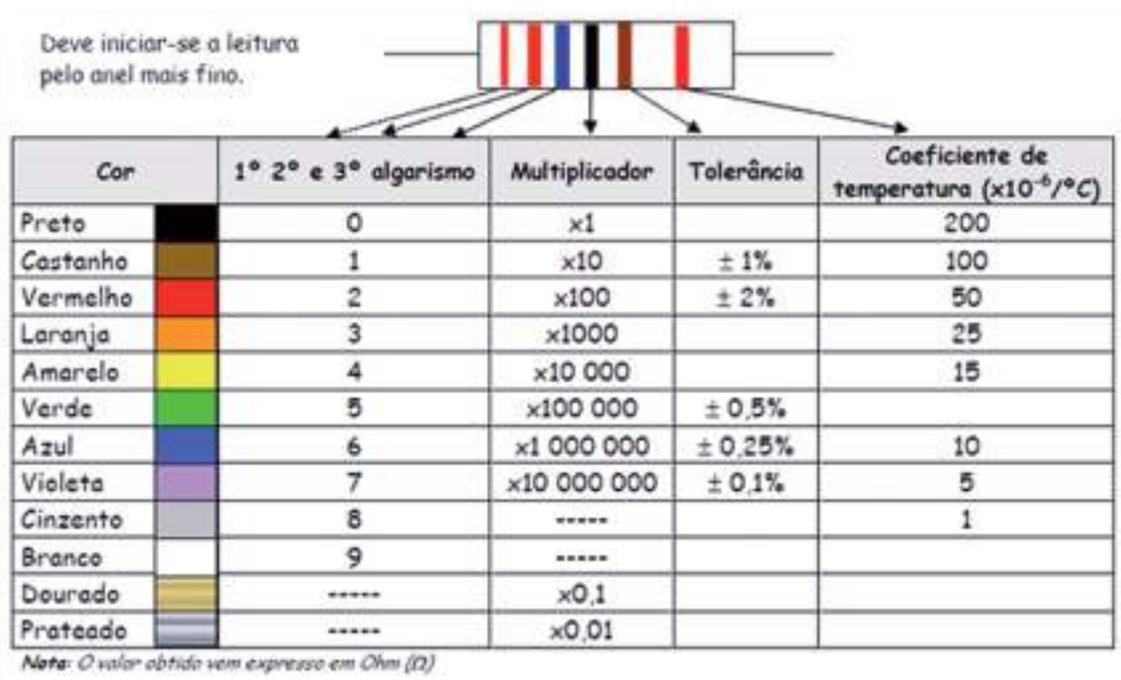


Fig. 8 - Código de cor das resistências de precisão (5 ou 6 Listas)



Exercícios

Castanho (1) + Preto (0) + Castanho (+1) = _____

Castanho (1) + Preto (0) + Vermelho (+2) = _____

Castanho (1) + Preto (0) + Laranja (+3) = _____

Vermelho (2) + Violeta (7) + Vermelho (+2) = _____

Vermelho (2) + Violeta (7) + Vermelho (+2) + Dourado (5%) = _____

Amarelo (4) + Violeta (7) + Amarelo (+4) + Prata (10%) = _____

Verde (5) + Azul (6) + Amarelo (+4) = _____

Verde (5) + Castanho (1) + Verde (+5) = _____

Laranja (3) + Laranja (3) + Verde (5) + Vermelho (+2) = _____

Laranja (3) + Laranja (3) + Verde (5) + Vermelho (+2) + Vermelho (2%) = _____



Variação da resistência com a temperatura. Coeficiente de temperatura.

Apesar de materiais diferentes terem resistividades diferentes, verifica-se que para cada material a resistividade depende da temperatura e portanto a resistência dos condutores também depende da temperatura.

O coeficiente de temperatura traduz a variação que sofre uma resistência de 1Ω , do material considerado, quando a temperatura aumenta 1°C .

A lei de variação da resistividade e da resistência com a temperatura são, respetivamente:

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot [1 + \alpha \cdot (T_2 - T_1)] (\Omega \cdot \text{m})$$

$$R_2 = R_1 \cdot [1 + \alpha \cdot (T_2 - T_1)] (\Omega)$$

Onde:

ρ_2 - Resistividade do material à temperatura T_2 (temperatura mais alta) - ($\Omega \cdot \text{m}$)

ρ_1 - Resistividade do material à temperatura T_1 (temperatura mais baixa) - ($\Omega \cdot \text{m}$)

α - Coeficiente de temperatura - ($^\circ\text{C}^{-1}$)

T_2 - Temperatura mais alta - ($^\circ\text{C}$)

T_1 - Temperatura mais baixa - ($^\circ\text{C}$)

R_2 - Resistência do material à temperatura T_2 (temperatura mais alta) - (Ω)

R_1 - Resistência do material à temperatura T_1 (temperatura mais baixa) - (Ω)

As expressões que caracterizam as leis de variação de resistividade com a temperatura e de resistência com a temperatura são idênticas, uma vez que a resistência de um material condutor é proporcional à sua resistividade.

Há substâncias para as quais α é positivo, isto é, a resistividade e portanto a resistência aumentam com a temperatura - é o caso dos metais; para outras substâncias α é negativo e então a resistividade e a resistência diminuem quando a temperatura aumenta - é o caso dos líquidos e gases condutores.



Condutância elétrica

A resistência é, como vimos, a oposição que um material oferece à passagem da corrente elétrica. O inverso da resistência designa-se por condutância.

Para uma mesma diferença de potencial aplicada a vários condutores, quanto maior for a condutância do condutor, maior será a intensidade de corrente que o percorre.

A Condutância elétrica representa-se por G. Exprime-se em Siemens (S).

O valor da condutância elétrica é dado pela expressão:

$$G = \frac{1}{R} \text{ (S) = Siemens}$$

em que:

G - Condutância elétrica - (S)

R - Resistência elétrica - (Ω)



Exercícios

1. Uma lâmpada de incandescência tem um filamento de tungstênio com comprimento de 70 mm e 0,075 mm de diâmetro. Pretende-se saber qual a sua resistência ôhmica. A resistividade do tungstênio à temperatura de 20°C é $\rho_{20^\circ\text{C}} = 0,056 \mu\Omega\cdot\text{m}$.
2. Quando se liga a lâmpada do exercício anterior, o filamento atinge quase instantaneamente uma temperatura elevada de 2200°C. Sabendo que o coeficiente de temperatura do tungstênio a 20°C é $\alpha_{20^\circ\text{C}} = 0,005 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, calcule o valor da resistência e da resistividade a 2200 °C.



Associação de resistências

Geralmente uma fonte de tensão está ligada a várias resistências. O comportamento de uma associação de resistências será análogo ao de uma única resistência, que se designa por resistência equivalente.

As associações ou agrupamentos podem ser de três tipos:

- **Série** - tem apenas um terminal comum ou seja, um terminal de um deles está ligado a um só terminal do outro.
- **Paralelo** - tem dois pontos em comum.
- **Misto** - circuitos onde se encontram simultaneamente associações série e paralelo.

Associação em série

Num circuito série existe somente um caminho para os elétrons logo, estes terão de percorrer todos os componentes constituintes deste.

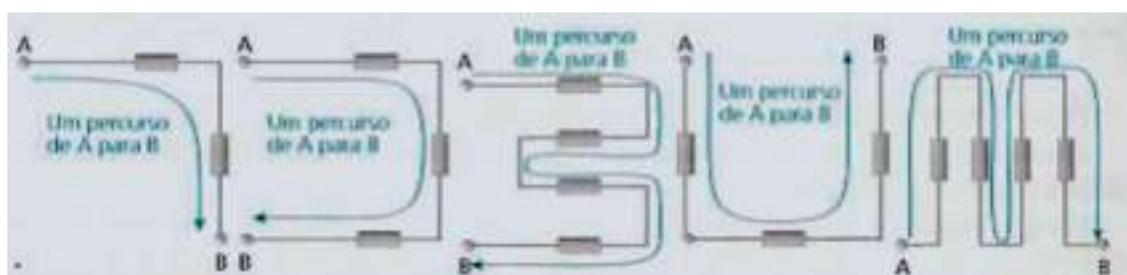


Fig. 9: Resistências associadas em série

A resistência equivalente ou resistência total será dada por:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

A resistência total R_T de uma associação série é maior que cada resistência parcial.

Caso particular

Se associarmos em série duas resistências iguais, a R_T é igual ao dobro da resistência inicial. Caso sejam mais de duas a R_T é dada pela expressão:

$$R_T = n \times R$$



Associação em paralelo

Num circuito em paralelo existem vários caminhos para os elétrons, a maior quantidade destes percorrerá o caminho com menos oposição.

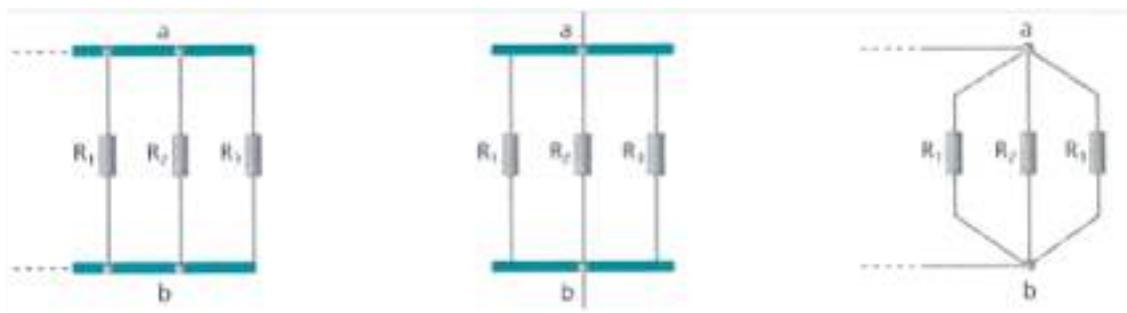


Fig. 10: Resistências associadas em paralelo

No caso particular, de 2 resistências poderemos utilizar a seguinte expressão:

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

O valor da resistência total R_T de uma associação paralelo é menor que a menor resistência do paralelo.

Caso particular

Se associarmos em paralelo duas resistências iguais, a R_T é igual a metade da resistência inicial. Caso sejam mais de duas a R_T é dada pela expressão:

$$R_T = \frac{R}{n}$$

Associação mista

Para determinar a resistência equivalente de uma associação mista é necessário substituir sucessivamente as associações principais (série e paralelo) pela sua equivalente, o que vai simplificando o esquema inicial.



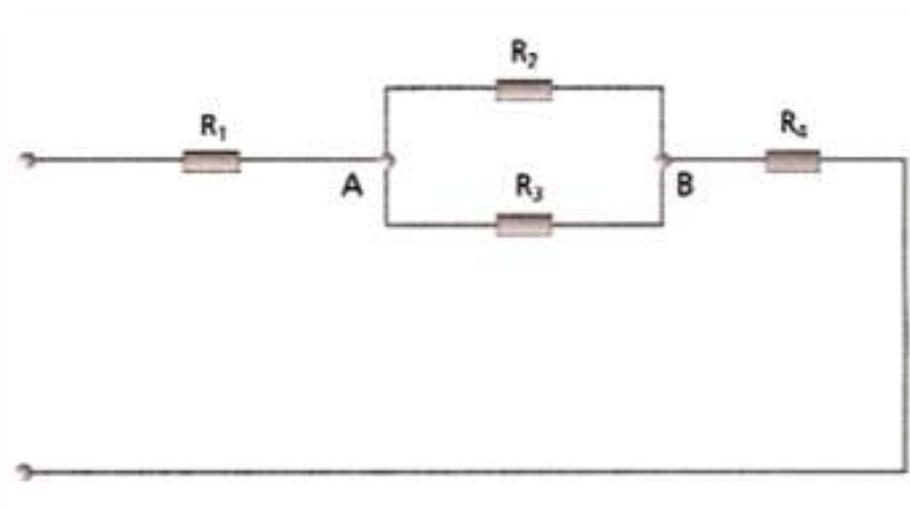
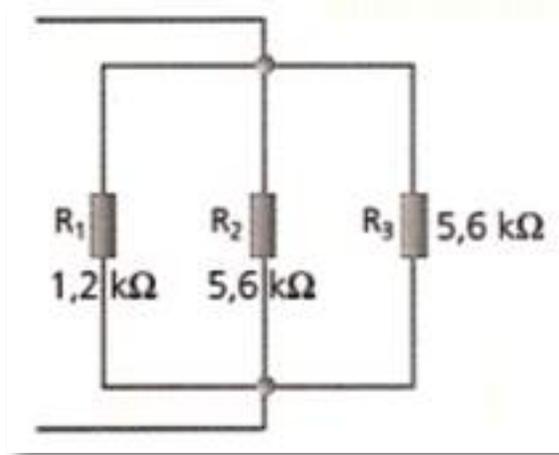


Fig. 11: Associação mista de resistências

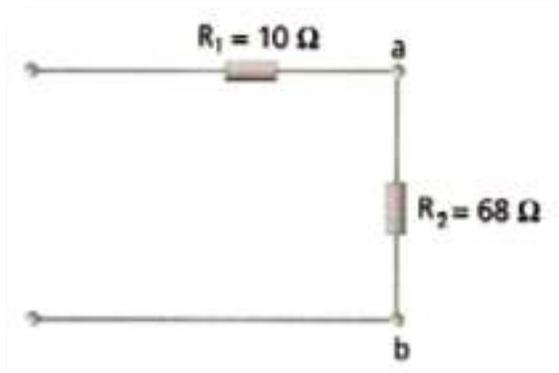


Exercícios:

3. Determine a resistência equivalente do circuito da figura seguinte.



4. Calcule a resistência total do circuito da figura que se segue.



Condensadores

Introdução

O condensador é um componente utilizado na eletrônica cuja principal função é o armazenamento de energia elétrica. São constituídos, basicamente, por duas placas de metal separadas por um material isolante chamado de dielétrico. A cada uma dessas placas de metal é ligado um fio que constitui os terminais do condensador.

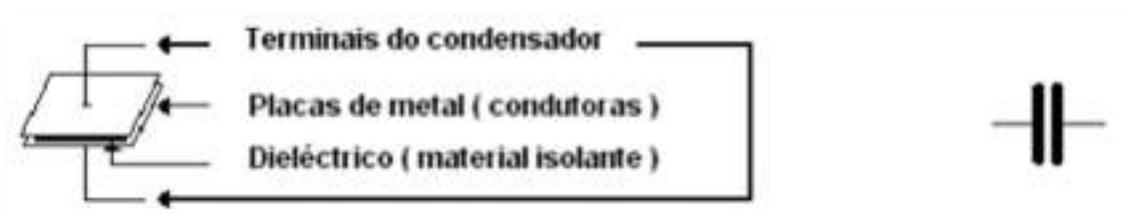


Fig. 12: Esquema interno de um condensador (à esquerda). Símbolo do condensador.

Tipo de Condensadores

Cerâmico - valores pequenos (até $1\mu\text{F}$), tensões elevadas.



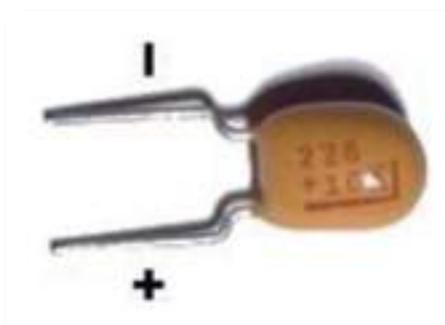
Poliéster - propriedades semelhantes aos cerâmicos e valores mais elevados (até $10\mu\text{F}$)



Eletrolítico - Polarizados. Valores elevados mas com baixa precisão e estabilidade com a temperatura.



Tântalo - Polarizados. Maior capacidade volumétrica e melhor desempenho que os eletrolíticos. Baixas tensões. Dispendiosos.



Capacidade de um condensador

À propriedade do condensador em armazenar cargas elétricas ou energia elétrica dá-se o nome de capacidade. Quanto maior é o seu valor, maior será a quantidade de cargas elétricas que o condensador pode armazenar.

A capacidade representa-se por C. Exprime-se em Farad (F)

Múltiplo/ Submúltiplo	Símbolo	Valor
microFarad	μF	10^{-6}
nanoFarad	nF	10^{-9}
picoFarad	pF	10^{-12}

Fig. 13 - Submúltiplos



O valor da intensidade de corrente elétrica é dado pela expressão:

$$C = \frac{Q}{U}$$

em que:

Q - Carga elétrica - (C)

U - Tensão aplicada - (V)

C - Capacidade - Farad (F)

Exercício

1. Determinar a carga de um condensador de $22\mu\text{F}$ quando alimentado à tensão de 12 V.



Código de cores dos condensadores

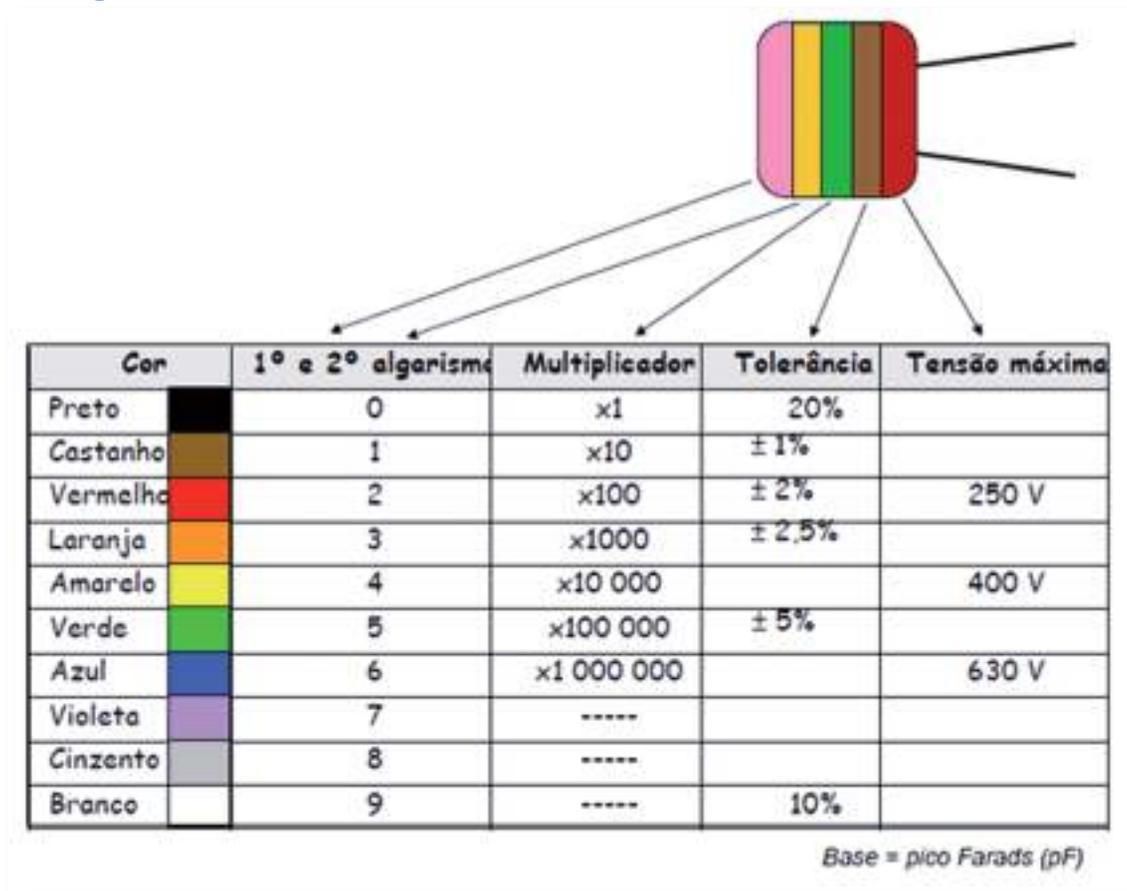


Fig. 14 - Tabela de cores dos condensadores

Código de letras

É o mais habitual:

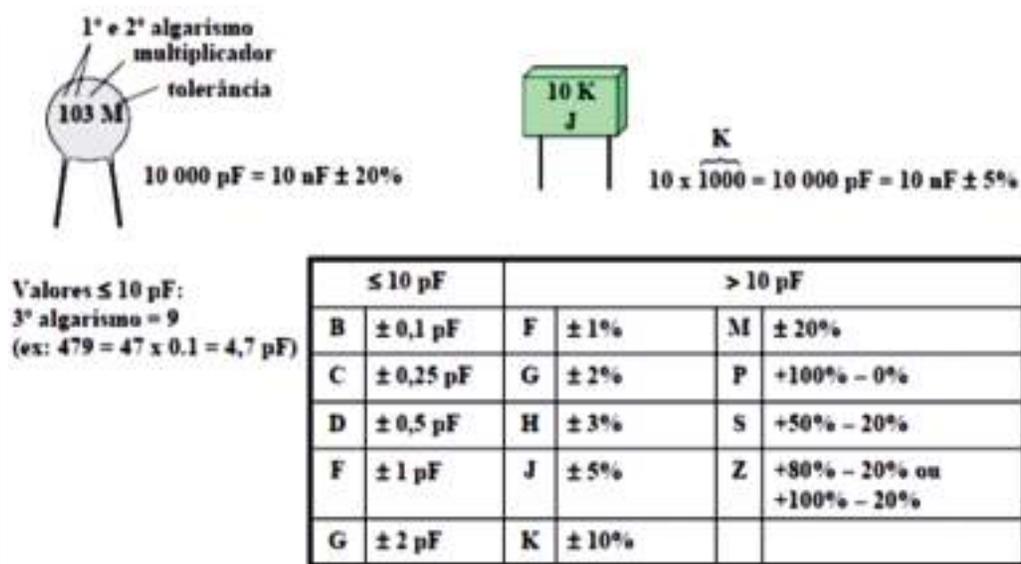


Fig. 15 - Tabela dos códigos de letras



Análise de circuitos com condensadores

Uma forma simples de fixar a associação de condensadores é o facto de, no cálculo da capacidade total C_T , ser o inverso das resistências, ou seja o circuito série de condensadores é idêntico ao circuito paralelo de resistências, verificando-se o mesmo para circuitos paralelos de condensadores que são idênticos aos circuitos série de resistências.

Circuito série

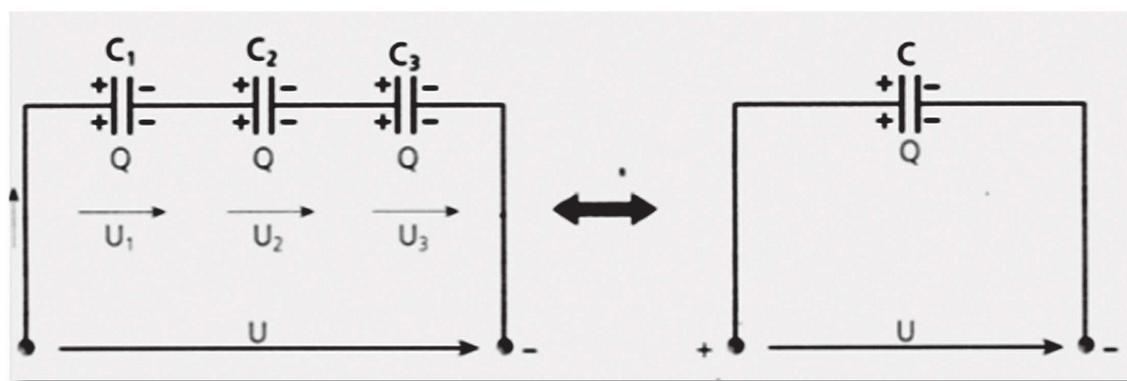


Fig. 16: Associação em série de condensadores e seu equivalente

A tensão divide-se pelos condensadores 1, 2 e 3 logo, a tensão total será a soma da tensão no condensador 1 mais, a tensão no condensador 2, mais a tensão no condensador 3.

$$U_T = U_1 + U_2 + U_3$$

Na combinação em série, como foi dito anteriormente, a capacidade equivalente é:

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

No caso particular, de 2 condensadores poderemos utilizar a seguinte expressão:

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

A capacidade equivalente é sempre inferior a cada um dos condensadores agrupados.



Circuito paralelo

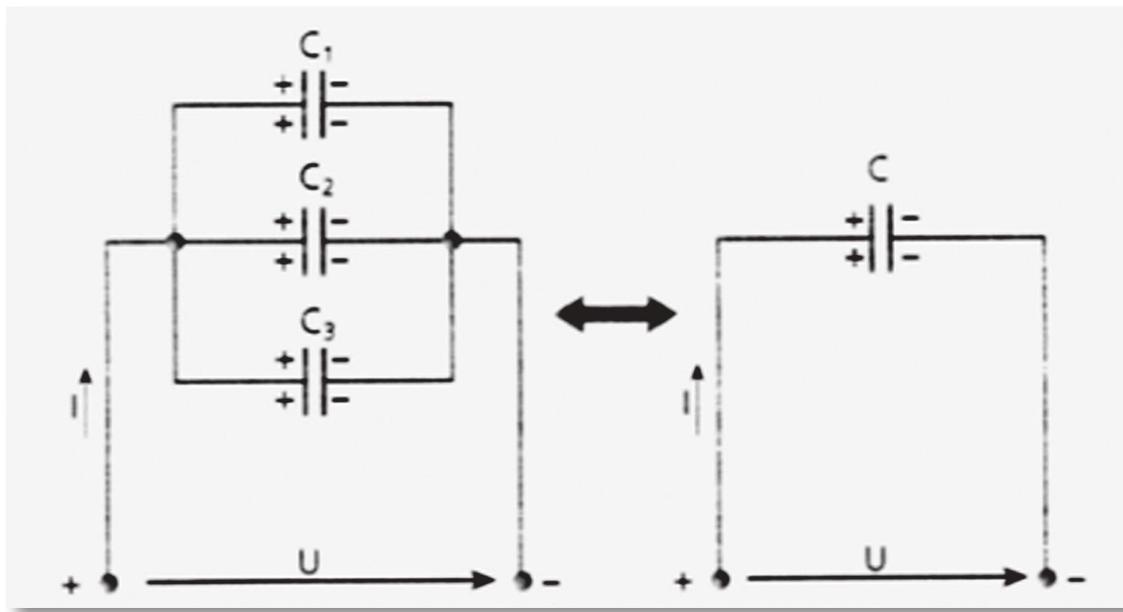


Fig. 17: Associação em paralelo de condensadores e seu equivalente.

Nos circuitos paralelos temos sempre dois pontos comuns, logo a tensão que chegará a cada condensador será sempre a mesma logo, diremos que esta é constante ao longo do circuito.

$$U_T = U_1 = U_2 = U_3$$

Sendo C a capacidade equivalente teremos:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

Ou, generalizando:

$$C_T = \sum_{i=1}^n C_i$$

A capacidade equivalente é sempre superior a cada um dos condensadores agrupados.



Exercícios

2. Agrupamos três condensadores de $10\ \mu\text{F}$, $12\ \mu\text{F}$ e $47\ \mu\text{F}$ com tensão nominal de 16 V. Determine:
 - 2.1. A capacidade equivalente.
 - 2.2. A carga armazenada quando se aplica ao conjunto dos condensadores 12 V.
 - 2.3. A tensão nos terminais de cada condensador.

3. Associaram-se em paralelo dois condensadores de $10\ \mu\text{F}$ e $15\ \mu\text{F}$, 16 V. Calcule:
 - 3.1 A capacidade equivalente.
 - 3.2 A carga armazenada quando o conjunto é alimentado a 12 V.
 - 3.3 A carga adquirida por cada um dos condensadores.



Constante de tempo num circuito RC

Ao aplicarmos a tensão U_{in} ao circuito da figura seguinte, o condensador vai carregar-se mais ou menos rapidamente, conforme os valores de R e C. Como vimos atrás, no instante da ligação, o condensador comporta-se como um curto-circuito. Com o aumento da carga, a tensão U_c aumenta, até atingir o valor da tensão de alimentação, ficando a tensão U_R nula. A carga será tanto mais rápida, quanto menores forem os valores de R e C.

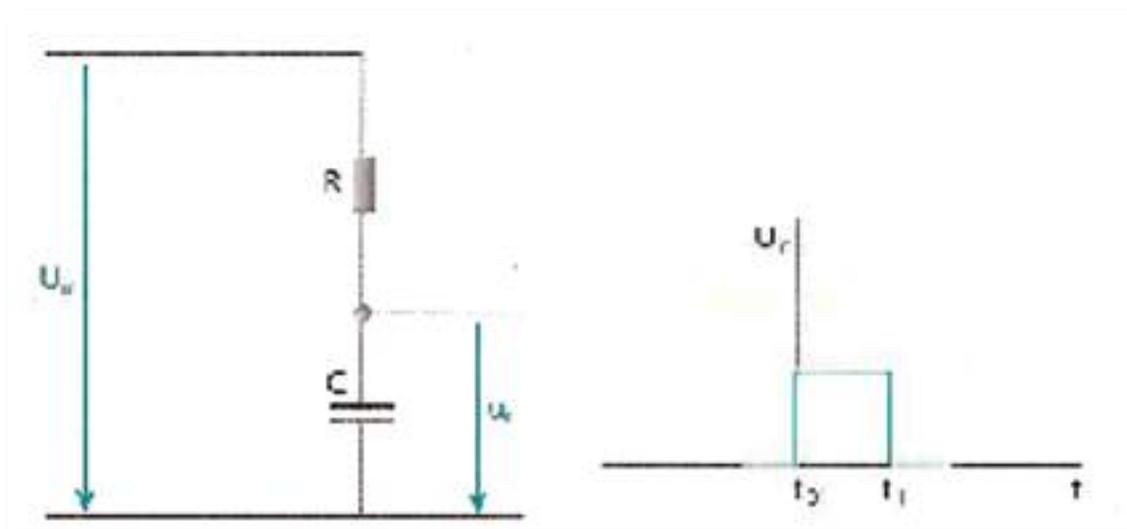


Fig. 27: Circuito de análise da carga e descarga de um condensador e respectiva forma da tensão U_{in} .

Assim, o produto $R C$ designa-se por constante de tempo do circuito, que se representa por:

$$T = R \cdot C$$

A variação da tensão no condensador, assim como a variação da corrente no circuito estão representadas na figura seguinte



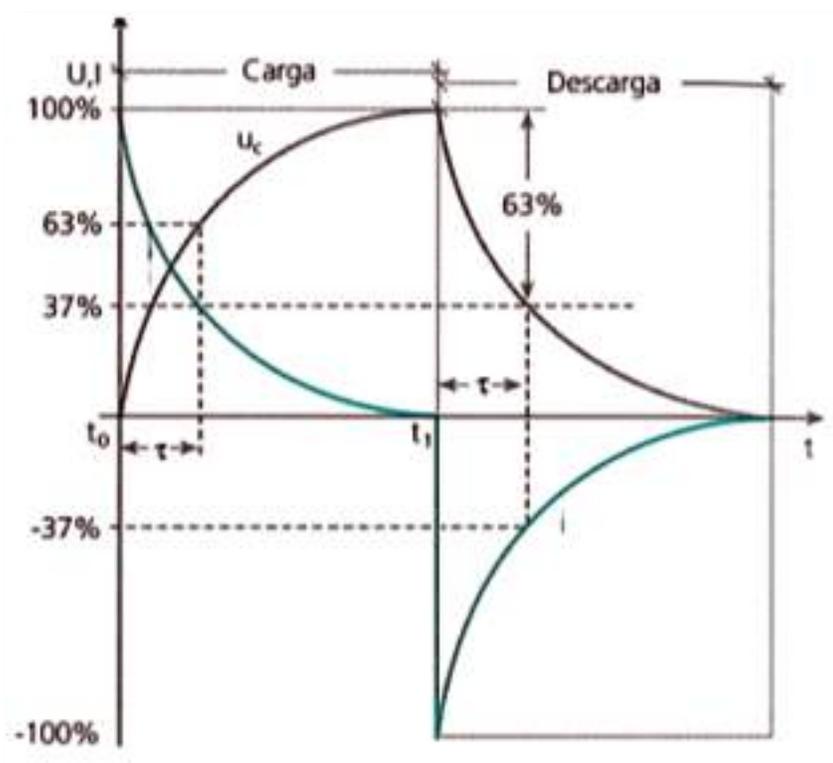


Fig. 19: Gráfico de carga e descarga de um condensador e respectivos valores de τ

No instante t_0 , a tensão U_m é aplicada ao circuito carregando, conseqüentemente, o condensador. No instante t_1 o condensador está na sua fase de descarga.

A constante de tempo de um circuito define-se como o tempo necessário para que a tensão atinja 63% da sua variação total, ou para que a corrente atinja 37% do seu valor inicial.

Condensadores em corrente contínua

Carga de um condensador

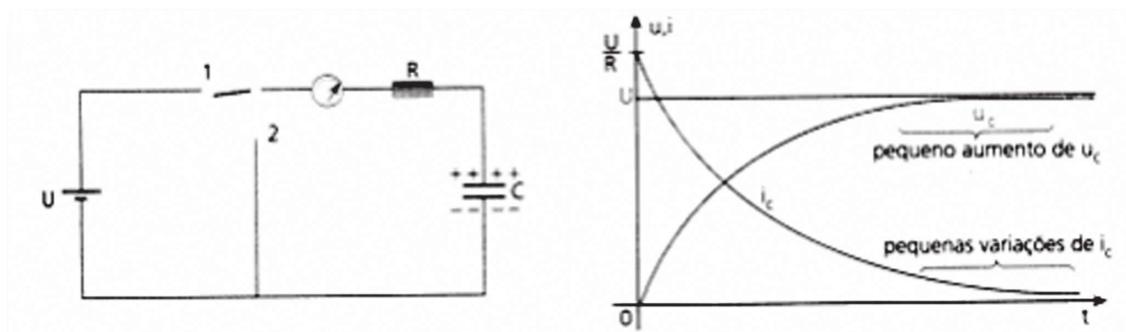


Fig. 20: Curvas de carga de um condensador e da corrente no circuito.



Ao ligarmos um circuito constituído por um condensador e um galvanómetro, (instrumento capaz de detetar a passagem da corrente eléctrica) como o da figura acima, aos terminais de um gerador de corrente contínua, a f.e.m. do gerador provoca o movimento de grande número de eletrões de uma armadura para outra através do circuito.

No instante da ligação a intensidade da corrente de carga tem o seu valor máximo. Um grande número de eletrões são deslocados da armadura negativa para a armadura positiva, sendo atraídos pelo polo positivo do gerador, que lança igual quantidade na outra armadura que se vai carregando negativamente. A intensidade de corrente é pois, de elevado valor, decrescendo rapidamente até se anular.

A quantidade de eletricidade aumenta à medida que se vai efetuando a carga, fazendo aumentar a tensão U_C aos terminais do condensador. Quando U_C iguala U , cessa a corrente no circuito. O ponteiro do galvanómetro, que se deslocou bruscamente num sentido, indica agora o zero. Desligando o comutador da posição 1, o condensador mantém-se carregado.

Descarga do condensador

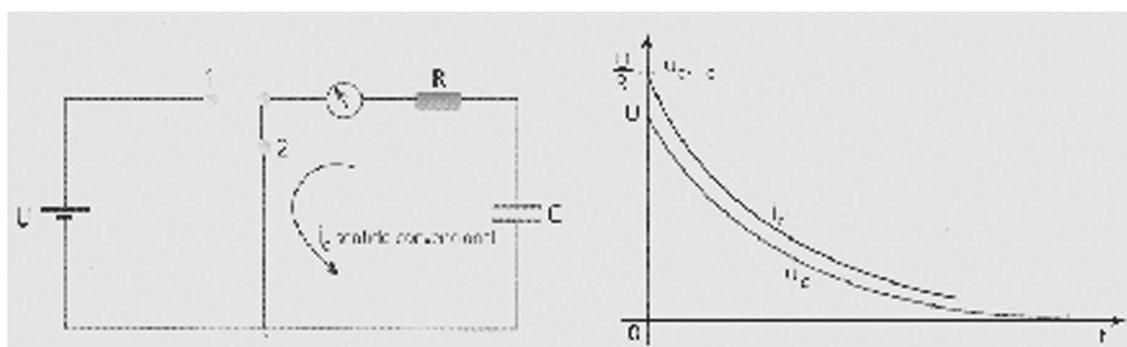


Fig. 21: Curvas de descarga de um condensador e respetivas formas de U_C e I .

Passando o comutador à posição 2, as armaduras do condensador são ligadas entre si, pelo que se inicia a descarga. O ponteiro do galvanómetro desloca-se em sentido contrário ao da carga. A grande quantidade de eletrões em excesso na armadura negativa passa para a armadura positiva através do circuito. De início esta corrente é bastante intensa, mas gradualmente o ponteiro vai regressando a zero, o que sucede quando também é nula a tensão entre as armaduras.



Multímetro

Um multímetro digital oferece a facilidade de mostrar diretamente no seu visor, que chamamos de *display* de cristal líquido, ou simplesmente *display*, o valor numérico da grandeza medida, sem termos que ficar a fazer multiplicações e leituras em escalas complicadas como ocorre com os multímetros analógicos.

Um multímetro digital pode ser utilizado para diversos tipos de medidas, as mais comuns são:

- Tensão elétrica (medida em volts - V).
- Corrente elétrica (medida em amperes - A).
- Resistência elétrica (medida em Ohms - Ω -letra Grega ômega).

Além destas, ele pode ter escalas para outras medidas específicas como: temperatura, frequência, semicondutores (escala indicada pelo símbolo de um diodo), capacitância, ganho de transistores, continuidade (através de um sinal sonoro), etc.

Em multímetros digitais o valor da escala já indica o máximo valor a ser medido por ela, independentemente da grandeza. Temos abaixo uma indicação de valores típicos encontrados na prática para estas escalas:

- Escalas de tensão contínua: 200mV; 2V; 20V; 1000V ou 200mV; 2V; 20V; 1000V ou 1kV.
- Escalas de tensão alternada: 200V; 750V.
- Escalas de resistência: 200 Ω 2000 Ω ou 2k Ω 20k Ω 200k Ω 2M Ω ou 20000k Ω
- Escalas de corrente contínua: 200 μ A. 2000 μ A ou 2mA. 20mA, 200mA. 2A. 10 ou 20A.
- Escalas de corrente alternada: 2A. 10A.

A seleção entre as escalas pode ser feita através de um seletor de escala posicionado a meio como a figura o demonstra ou o multímetro poderá não ter nenhum seletor, neste caso



estamos na presença de um multímetro digital Autorrange (escala automática), ou seja, ele seleciona a grandeza e a escala que está a ser medida automaticamente. Em alguns casos podemos encontrar multímetros que têm apenas uma escala para tensão, uma para corrente e uma para resistência, este tipo de multímetro também é autorrange, não é preciso selecionarmos uma escala específica para medir um determinado valor de tensão.

Uma coisa muito importante ao usar um multímetro digital é saber selecionar a escala correta para a medição que pretendemos. Escolhendo as grandezas pelos seus respetivos nomes nas escalas:

- Tensão contínua: VCC, DCV. VDC ou V com duas linhas sobre ele, uma tracejada e outra contínua.
- Tensão alternada: VGA. ACV. VAC ou V juntamente com o símbolo ~ (alternada).
- Corrente contínua: DCA. ADC ou A com duas linhas sobre ele, uma tracejada e outra contínua.
- Corrente alternada: AC A ou A juntamente com o símbolo ~ (alternada).
- Resistência = Ohms, Ω

Medição da Tensão

Para medirmos uma tensão é necessário que conectemos as pontas de prova em paralelo com o ponto a ser medido, tal como ilustrado na figura seguinte. Se quisermos medir a tensão aplicada sobre uma lâmpada devemos colocar uma ponta de prova de cada lado da lâmpada, isto é numa ligação em paralelo.

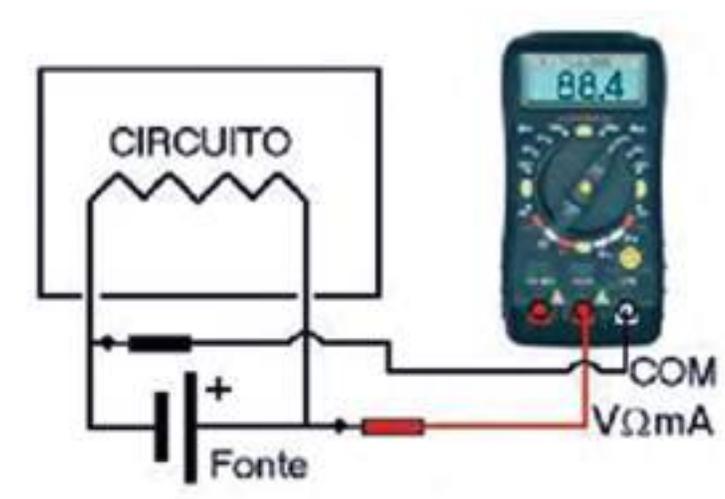


Fig.22: A medir a tensão elétrica ou voltagem



É importante observar que, no caso particular da tensão contínua (VDC. VCC ou DCV), a leitura no multímetro fornece uma medida da diferença de potencial entre as pontas vermelha (polaridade positiva) e a preta (comum ou polaridade negativa). Na ilustração acima estamos a ler um valor positivo de tensão. Por outro lado, se por um acaso invertermos as pontas iremos ler um valor negativo.

No caso de medidas de tensão alternada (VCA. VDC ou DCV) a polaridade ou cor das pontas não é importante. O multímetro incorpora um retificador adequado para uso de correntes alternadas com a frequência típica entre 40 e 400 Hz. O valor lido no multímetro corresponde ao valor eficaz ou RMS da tensão alternada entre as pontas.

Para a medida de tensões elevadas, tanto alternada como contínuas, superiores a 250 Volts, será necessário o uso de pontas especiais e muitas vezes deslocar o borne da ponta positiva (vermelha) para um conector especialmente dedicado às medidas de altas tensões. Para isto devemos consultar cuidadosamente o manual do multímetro digital que estamos a utilizar.

Medição da Corrente

Para medirmos corrente com um multímetro digital, devemos colocá-lo em série com o ponto a ser medido, como ilustrado na figura 23. Se quisermos medir a corrente que circula por uma lâmpada devemos desligar um lado da lâmpada, encostar neste ponto uma ponta de prova e a outra ponta deve ser encostada no fio que soltamos da lâmpada, ou seja, uma ligação em série. É importante salientar que muitos multímetros digitais só medem corrente contínua, portanto não devem ser usados para se medir a corrente alternada fornecida pela rede elétrica. Encontramos corrente contínua em pilhas, dínamos e fontes de alimentação, que são conversores de tensão e corrente alternada em tensão e corrente contínua.

Para medirmos correntes elevadas devemos tipicamente deslocar o borne da ponta positiva (vermelha) para um conector especialmente dedicado às medidas de altas correntes. Para isto devemos consultar cuidadosamente o manual do multímetro digital que estamos a usar.



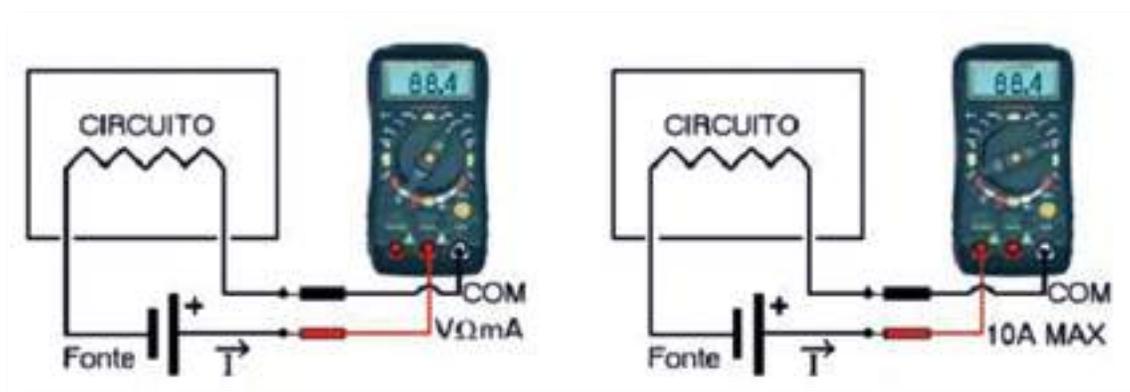


Fig.23: Ilustração de medidas de corrente eléctrica (a) valores moderados (esq.) valores elevados (dir.)

Os Multímetros digitais modernos já incorporam medidas de corrente alternada (ACA ou A). O procedimento usado para a medição de valores baixos de corrente (alguns mA's) é em geral bastante similar ao caso das correntes contínuas (DCA), sendo a polaridade das pontas completamente indiferente. Contudo, devido a uma enorme variedade de modelos e marcas disponíveis no mercado, é imprescindível uma cuidadosa leitura do manual do multímetro digital que estamos a usar antes de efetuarmos uma medida.

Medição de Resistência

Para medirmos uma resistência devemos desligar todos os pontos da mesma a ser medida (uma lâmpada incandescente, por exemplo, deve estar fora do seu casquilho) e encostarmos uma ponta de prova em cada lado do componente a medir. No caso de uma lâmpada incandescente encostamos uma ponta de prova na rosca e outra na parte inferior metálica do conector da lâmpada. Este procedimento é ilustrado na figura seguinte.

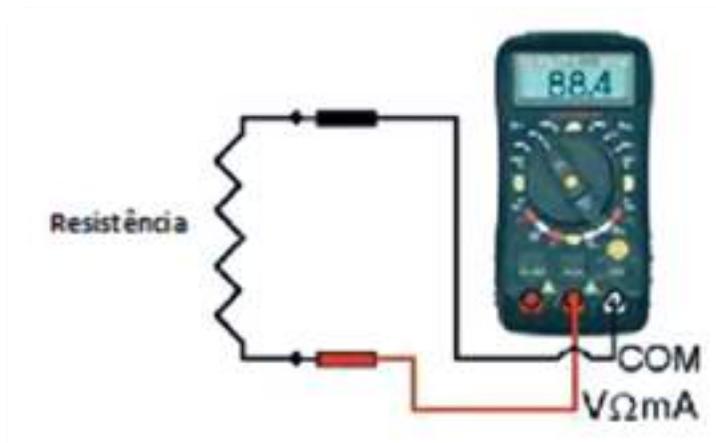


Fig.24: Ilustração de medição de uma resistência



Muitos multímetros vêm apetrechados com um teste de continuidade (ou baixas resistências) que utilizam avisos sonoros (um “beep” agudo). Estes testes são particularmente úteis quando estamos a testar a continuidade dos cabos elétricos. O procedimento usado é semelhante ao usado para medir a resistência (o cabo a testar substitui a resistência da figura anterior).

Cuidados no Manuseio de um Multímetro

Todas estas medidas devem ser feitas com cuidado e nunca devemos encostar as mãos em nenhuma ponta de prova durante a medida, caso isto aconteça corremos o risco de levarmos um choque elétrico e/ou termos uma leitura errada. Treine bastante como manipular as ponteiros e leia o manual do multímetro antes de começar a medir.

Uma coisa importante de se perceber é que a grande maioria dos multímetros digitais tem 3 ou 4 bornes para a ligação das pontas de prova. Normalmente um é comum (COM) e os outros servem para medição de tensão, resistência e corrente. A indicação dos bornes mostra sempre as escalas que podem ser usadas. A seguir é apresentado um exemplo de como eles estão dispostos num multímetro *VOLTCRAFT* com autorrange.



Fig. 25: Foto de um multímetro *VOLTCRAFT* com auto range



- Conector ou Borne comum, normalmente indicado por COM - é onde deve estar sempre ligada a ponta de prova preta.
- Conector ou Borne indicado por V Ohms mA - nele deve estar conectada a ponta de prova vermelha para a medição de tensão (contínua ou alternada), resistência e corrente na ordem de miliamperes.
- Conector ou Borne indicado por 10A MAX - a ponta de prova vermelha deve ser aí ligada para medir corrente contínua ou alternada superior a 400mA.

Observação: vários multímetros digitais não medem corrente alternada, verifique se existe uma escala no seu instrumento para isto, antes de fazer a medição.

Quando um multímetro apresenta escalas para a medição de capacitância ou ganho (beta) de transístores, normalmente eles têm conectores específicos para isto. Estes conectores estão indicados no painel do instrumento. É bom lembrar que os condensadores devem ser sempre descarregados antes de medir. Para isso coloque uma chave de fendas entre os seus dois terminais causando um curto-circuito (se o condensador tiver mais de um terminal positivo então deve ser colocado em curto com a massa individualmente). Alguns modelos mais sofisticados incluem também medidas de frequência e temperatura. Nestes casos devemos consultar o respectivo manual para procedermos corretamente a tais medidas.

Multímetros digitais normalmente mostram uma indicação de que a bateria está a acabar, isto normalmente é demonstrado, através de um símbolo de bateria que aparece continuamente ou que fica a piscar no *display*. Quando isto ocorrer troque a bateria, multímetros digitais com bateria “fraca” costumam apresentar um grande erro nas suas leituras. Caso a leitura precise ser efetuada durante um longo período de tempo este problema poderá fazer com que acreditemos que uma tensão, ou corrente, está a variar, quando ela está fixa e é a bateria do multímetro que está fraca.

O interruptor de ON-OFF de um multímetro digital pode ser uma das posições do comutador rotativo ou pode ser um interruptor. Deixe sempre desligado o multímetro caso não o esteja a utilizar, existem alguns modelos que se desligam se estiverem inativos durante algum tempo.



A maioria dos multímetros digitais que existem à venda são chamados de multímetros digitais de $3^{1/2}$ dígitos (3 dígitos e meio). Isto quer dizer que ele é capaz de medir grandezas de até 3 números completos mais meio número. Vamos exemplificar:

Exemplo

Suponha que você vai medir uma tensão de 1250V na escala de 1500V, a leitura que aparecerá no display será de 1250, ou seja:

- Primeiro número = 1 - este dígito é considerado $^{1/2}$ dígito pois não pode assumir outro valor maior que 1.
- Segundo número = 2 - este dígito é considerado um dígito inteiro, pois pode assumir valores entre 0 e 9
- Terceiro número = 5 - este dígito é considerado um dígito inteiro, pois pode assumir valores entre 0 e 9.
- Quarto número = 0 - este dígito também é considerado um dígito inteiro, pois pode assumir valores entre 0 e 9.

Ao ligar um multímetro de $3^{1/2}$ dígitos apareceram no display apenas três dígitos, mas não se assuste, é assim mesmo. Isto tipicamente ocorre se for ligado numa escala de tensão ou corrente, nas escalas de resistência aparecerá um número 1 no lado esquerdo do display (LCD).

Cabe salientar que no caso de medidas de corrente e tensão devemos sempre tomar cuidado para selecionarmos uma escala correta para efetuarmos a medida. Caso a ordem de grandeza do valor a ser medido seja completamente desconhecido, devemos iniciar a medida pela escala mais alta. Para os multímetros com autorrange este cuidado é em geral desnecessário. Contudo, devido a uma enorme variedade de modelos e fabricantes, uma boa leitura do manual é sempre uma ótima precaução.

Entendendo Múltiplos e Submúltiplos das Grandezas

Vimos que temos várias escalas indicadas por diversos valores: 200mA, 2000mV, 20K, mas o que é isto. Para explicar vamos estudar uma grandeza de cada vez:



Tensão elétrica: a tensão elétrica é medida em volts (V) - Seus submúltiplos são milivolts (mV) e microvolts (μV). O múltiplo mais usado é o kilo-volt (kV). Sempre que façamos uma medida menor que 1 volt (por exemplo 0.9V) o multímetro poderá nos indicar 0,9 ou 900.

Traduzindo: estamos a medir um valor de tensão de 0.9V. portanto a indicação no *display*, dependendo da escala utilizada pode ser 0.9 ou 900. Se estivermos numa escala indicada por mV o valor apresentado será 900 e corresponderá a 900mV, se estivermos numa escala indicada por volts o valor será 0.9 e corresponderá a 0.9V. Veja as comparações abaixo:

- $1\text{V} = 1000\text{mV} = 1000000\mu\text{V}$.
- $1000\text{V} = 1\text{KV}$ ($1 \times k = 1 \times 1000 = 1000\text{V}$).
- $500\text{V} = 0,5 \text{ KV}$ ($0,5 \times k = 0.5 \times 1000 = 500\text{V}$).

Quando colocamos a letra k depois de um valor de tensão estamos a multiplicar este valor por 1000 (mil), e é por isso que 1000 volts é igual a 1kV. Se estivermos a usar um multímetro digital na escala de 1000V e medir 10V aparecerá no *display* o seguinte: 10. Se for na escala de 200V aparecerá o seguinte: 10.0. O ponto mudará de posição dependendo da escala, mas a leitura será sempre a mesma. Este critério, do ponto mudar de casa, é usado na medição de qualquer grandeza.

Analise estes exemplos e faça outras leituras para praticar. Coloque o seu multímetro numa escala superior a 200VCA (volts de tensão alternada, que é a tensão que temos na rede elétrica, tomadas, etc.). Escolha, por exemplo, a escala de 750 VCA e faça a medição, o que aparecerá?

Algo próximo a: 220 que sabe que corresponde a 220 volts alternados. Verifique se o seu multímetro tem uma escala mais baixa do que 750, porém, superior a 220 VCA. Vamos supor uma escala de 400 VCA, qual será a leitura agora?

Algo próximo a: 220,1 que significa que é igual a 127.1 volts alternados.

Qual a diferença de uma escala para a outra?

A diferença está na precisão da leitura. Quanto mais próximo estiver a escala do valor medido maior é a precisão. Na escala de 750 medimos 220 e na escala de 400 medimos 220,1.



Então é correto começar-se a medir pelas escalas mais baixas?

Não, pelo contrário. Se fizermos isso podemos correr o risco de danificar o multímetro. Começa-se sempre a medir pela escala mais alta e, se for possível, diminuir a escala para se ter uma leitura com mais precisão.

Mas pode-se mudar de escalas com o multímetro fazendo a medição?

Não, isto pode danificar o aparelho. Primeiro separam-se as pontas de prova do lugar a medir, depois muda-se a escala e somente depois é que se volta a fazer a medição, encostando as pontas de prova, novamente.

O que representa um sinal de - (menos ou negativo) antes do número no display?

Significa que ligamos a ponta de prova (+) vermelha no negativo ou vice-versa. Invertemos as pontas e o sinal muda.

Corrente elétrica:

A corrente elétrica é medida em Amperes (A). Os seus submúltiplos são miliampères (mA) e microampères (μ A). O seu múltiplo menos usado é o kiloampère (kA). É comum termos em multímetros digitais várias escalas de mA. As leituras feitas nestas escalas podem ser lidas diretamente, ou seja, se fizermos uma medição na escala de 200mA e aparecer 45, estaremos medindo 45mA. Também é comum em multímetros digitais ter uma escala separada para a medição de corrente na ordem dos amperes. Se numa escala de 10A obtiverem a leitura de 2.00 é porque estamos a medir 2A. Se nesta mesma escala medirmos 0.950 significa que estamos a medir 0.95A ou 950mA. Vejamos as comparações abaixo:

- $1A = 1000mA = 1000000\mu A$.
- $1000A = 1KA$ ($1 \times K = 1 \times 1000 = 1000A$).
- $500A = 0.5KA$ ($0.5 \times K = 0.5 \times 1000 = 500A$).

Da mesma forma que na tensão o K representa o valor numérico multiplicado por 1000 (mil). Se medirmos uma corrente contínua de 50mA na escala de 10A o valor lido será 0,05 que corresponderá a 50mA. Mas para ter mais precisão é aconselhável usar-se uma escala mais baixa como, por exemplo, a de 200mA.



Então é correto começar a medir pelas escalas mais baixas?

Não, muito pelo contrário. Se fizermos isto corremos o risco de danificar o multímetro. Começamos sempre uma medição pela escala mais alta e, se for possível, baixa-se a escala para se ter uma leitura com mais precisão.

Mas pode-se mudar de escalas com o multímetro a efetuar a medição?

Não, isto pode danificar o aparelho. Primeiro separam-se as pontas de prova do lugar medido, depois de mudar a escala e somente agora é que se volta a fazer a medição, encostando as pontas de prova, novamente.

O que representa um sinal de - (menos, negativo) antes do número no display?

Significa que ligamos a ponta de prova (+) vermelha no negativo ou vice-versa. Invertemos as pontas e este sinal mudará.

Resistência elétrica:

A resistência elétrica é medida em Ohms (Ω). Os seus múltiplos são kilo-ohms (k Ω) e *megaohms* (M Ω). Seu submúltiplo mais usado é *miliohms* (m Ω).

- 1 Ohm = 1000 m Ω
- 1000 Ohms = 1 k Ω
- 1000000 Ohms = 1 M Ω

Quando colocamos a letra K depois de um número estamos multiplicando este número por mil, portanto 470k Ω é igual a 470000 *ohms*. Quando colocamos a letra M depois de um número estamos a multiplicar este número por 1 milhão, portanto 10M Ω é igual a 10.000.000 *ohms*.

Num multímetro digital a máxima resistência possível que pode ser medida por uma escala, corresponde ao valor dessa escala, assim, se tivermos uma escala de 200 *ohms* poderemos medir uma resistência com um valor de 200 *ohms* ou menos.

Se medirmos uma resistência de 100 *ohms* aparecerá no *display* o número 100. Sempre que medirmos um valor maior do que o máximo valor da escala aparecerá um número 1 no lado esquerdo do display. Isto indica que devemos tentar medir esta resistência numa escala maior.



Estas escalas de resistência (preferivelmente a mais baixa) podem ser usadas para a verificação de curto-circuitos e de continuidade, ou não, de interruptores, fios elétricos, fusíveis, lâmpadas, pistas de cobre, etc. Alguns multímetros tem uma escala que emite um sinal sonoro quando as pontas de prova são encostadas, com esta escala somos capazes de verificar se alguns pontos estão em curto ou desligados apenas com o ouvido, sem a necessidade de olhar para o *display*.

Em eletrônica, na maioria das vezes, mediremos valores baixos de resistência ou verificaremos se dois pontos não estão em curto (estamos então a medir valores muito elevados de resistência e devemos usar escalas mais altas. Caso não exista curto entre os dois pontos um número 1 aparecerá no lado esquerdo do *display*). Em eletrônica temos uma infinidade de valores que podem ser encontrados.

Para utilizar corretamente e com eficiência um multímetro digital é interessante que se meçam valores de tensão, corrente e resistência conhecidos, mude de escalas e perceba as diferenças. Preste sempre muita atenção ao ponto e na escala para fazer a leitura correta.

De salientar que o ponto mudará de posição dependendo da escala, mas a leitura será sempre a mesma. Este mesmo critério, do ponto a mudar de casa, é usado na medida de qualquer grandeza.

Unidades Básicas

Símbolo	Unidade
A	Ampere (unidade de corrente)
V	Volt (unidade de tensão)
W	Watt (unidade de potencia)
Ω	Ohm (unidade de resistência)
H	Henry (unidade de indutância)
F	Farad (unidade de capacitância)
Hz	Hertz (unidade de frequência)



Prefixo para indicar frações ou múltiplos de unidades

Símbolo	Fração/Múltiplo
p	pico (1 trilionésimo) = 10^{-12}
n	nano (1 bilionésimo) = 10^{-9}
μ	micro (1 milionésimo) = 10^{-6}
m	mili (1 milésimo) = 10^{-3}
k	kilo (1 milhar) = 10^{+3}
M	Mega (1 milhão) = 10^{+6}
G	Giga (1 milhar de milhão) = 10^{+9}
T	Tera (1 bilião) = 10^{+12}



Exercícios

1. Escreva sob a forma numérica os valores em múltiplos e submúltiplos do volt:

a. $1 \times 10^0 \text{ V} =$

b. $10 \times 10^0 \text{ V} =$

c. $100 \text{ mV} =$

d. $1 \text{ V} =$

e. $10 \text{ KV} =$

f. $10 \times 10^3 \text{ V} =$

g. $10 \mu\text{V} =$

h. $100 \times 10^{-6} =$

i. $100 \mu\text{V} =$

j. $100 \text{ MV} =$

l. $350 \text{ KV} =$

m. $0,1 \text{ mV} =$

n. $0,1 \text{ KV} =$

o. $550 \mu\text{V} =$

p. $435 \text{ mV} =$

q. $25 \times 10^{-3} =$

2. Escreva sob a forma de múltiplos e submúltiplos, utilizando os símbolos, os valores numéricos da grandeza volt a seguir respeitando a notação científica.

a. $1000000 \text{ V} =$

b. $0,001 \text{ V} =$

c. $0,0001 \text{ V} =$

d. $1000 \text{ V} =$

e. $1700 \text{ V} =$

f. $0,000000015 \text{ V} =$

g. $0,000015 \text{ V} =$

h. $0,2135 \text{ V} =$

i. $39000 \text{ V} =$

j. $60000 \text{ V} =$

l. $18000000 \text{ V} =$

m. $0,01 \text{ V} =$



Semicondutores

Apresentação

Os semicondutores possuem propriedades elétricas, que são intermédias entre aquelas apresentadas pelos condutores elétricos e as apresentadas pelos isolantes.

São compostos por materiais específicos e similares aos dos materiais cerâmicos.

Os materiais cerâmicos são compostos por elementos químicos metálicos e não-metálicos, como por exemplo, óxidos, nitretos e carbetos.

A grande variedade de materiais que se enquadra nesta classificação inclui cerâmicos que são compostos por minerais argilosos, cimento e vidro.

Estes materiais são tipicamente isolantes à passagem de eletricidade e calor (não possuem elétrons livres para a condução), apresentam boa resistência a altas temperaturas e a ambientes adversos (alta estabilidade química) e são abrasivos (mais resistentes do que os metais e polímeros).

Com relação ao comportamento mecânico, os cerâmicos são duros, porém mais quebradiços que aqueles.

Além disso, as características elétricas destes materiais são extremamente sensíveis à presença de minúsculas concentrações de átomos de impurezas, concentrações que podem ser controladas ao longo de regiões espaciais muito pequenas.

Os semicondutores tornaram possível o advento dos dispositivos e circuitos integrados eletrônicos, que revolucionaram totalmente as indústrias de produtos eletrônicos e de computadores.

No caso dos semicondutores de Silício (Si), estes apresentam também propriedades mecânicas excelentes, o que os torna utilizáveis em dispositivos micromecânicos (micromotores, microinjetores, microsensores, etc).

Os materiais semicondutores mais utilizados são:

- Silício;
- Germânio;
- Selênio.



De entre estes, o silício e o germânio são os semicondutores mais utilizados, com uma maior predominância do silício face ao germânio, por ser mais estável termicamente. Quando puros, têm uma condutividade muito baixa, comportando-se como isoladores. É portanto necessário, que apresentem determinadas impurezas, na sua constituição (como o antimónio, o fósforo, o boro, o índio, etc.), para assim se tornarem materiais semicondutores.

Nesta situação dizemos que se encontram dopados.

Para uma melhor compreensão do funcionamento dos semicondutores, é importante abordar alguns conceitos relativos à constituição atómica da matéria.

Começaremos então pelo estudo do conceito de bandas de energia.

A matéria que se pode encontrar no estado sólido, líquido ou gasoso é constituída por moléculas e estas podem ainda ser subdivididas em partículas menores, que são os átomos.

O exemplo representado na figura seguinte, mostra a decomposição de uma molécula de água em dois átomos de hidrogénio e um átomo de oxigénio.



Fig. 26 - Exemplo de constituição atómica da matéria

Na sua estrutura, o átomo é basicamente formado por três tipos de partículas elementares, os eletrões, os prótons e os neutrões.

Os prótons e os neutrões encontram-se no núcleo do átomo, enquanto os eletrões giram em órbitas eletrónicas à volta do núcleo do átomo (ver figura seguinte).

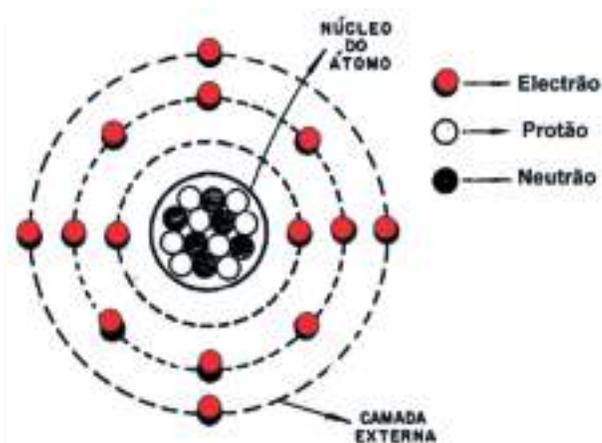


Fig. 27 - Estrutura do átomo



As órbitas, embora concêntricas, não são complanares, antes se distribuindo ao longo de uma região do espaço, como se pode ver na figura representada a seguir.

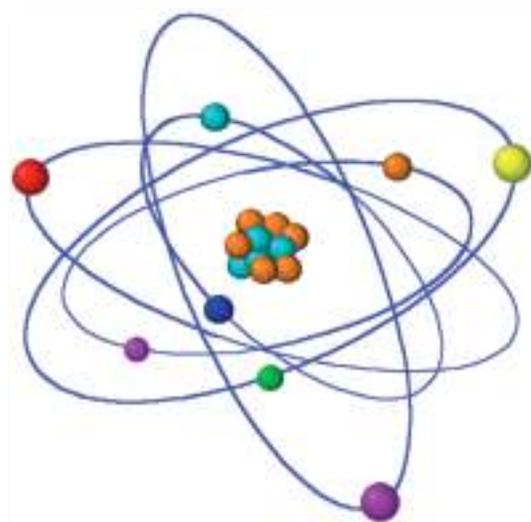


Fig. 28 - Órbitas eletrônicas em redor do núcleo

A carga elétrica do eletrão é igual à carga do protão, porém de sinal contrário. O eletrão possui carga elétrica negativa (-) e o protão carga elétrica positiva (+). O neutrão não possui qualquer carga elétrica, ou seja, a sua carga é nula.

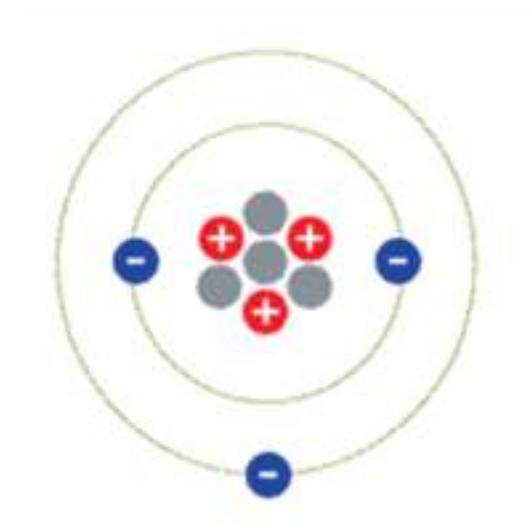


Fig. 29 - Carga elétrica das partículas

Num átomo, os eletrões que giram em volta do núcleo distribuem-se em várias órbitas ou camadas eletrônicas, num total máximo de sete (K, L, M, N, O, P, Q).



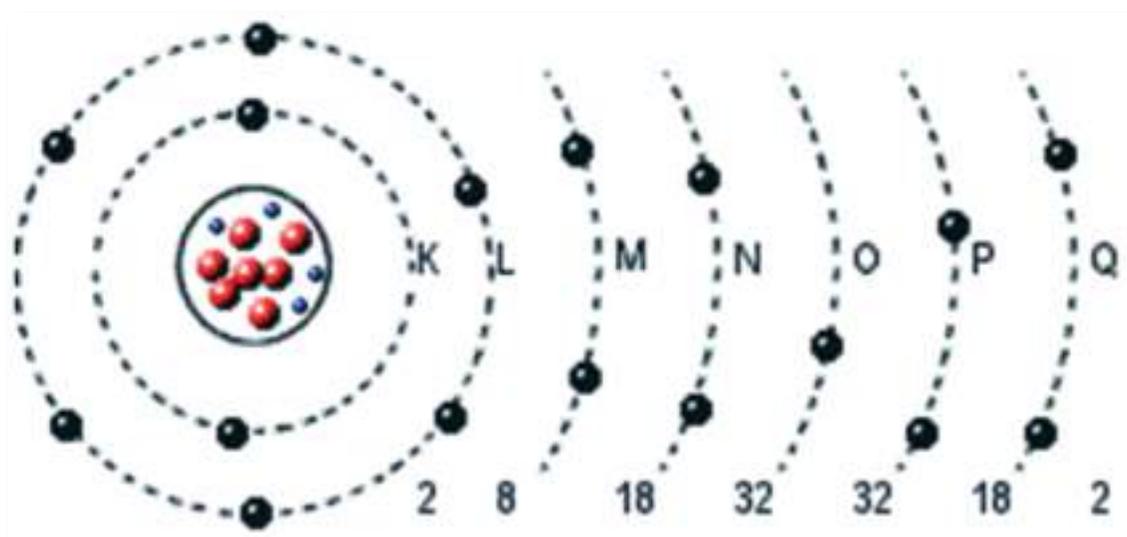


Fig. 30 - Camadas eletrônicas do átomo

Em qualquer átomo, o número de prótons contidos no seu núcleo é igual ao número de elétrons que giram à volta dele, ou seja, a carga elétrica do átomo é nula, pois a carga positiva dos prótons é anulada pela carga negativa dos elétrons.

Um átomo nesse estado está eletricamente neutro.

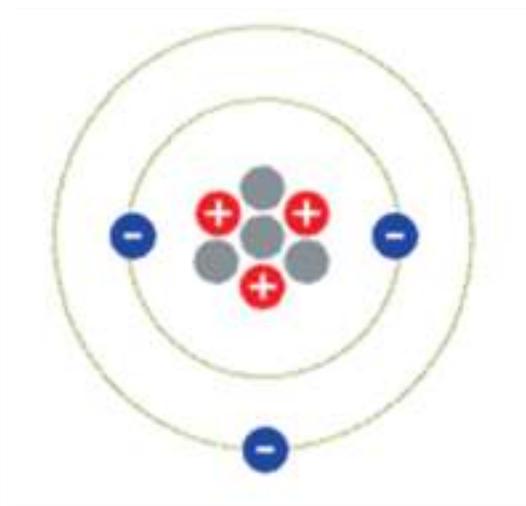


Fig. 31 - Carga elétrica do átomo

Um átomo, quando eletricamente neutro, poderá ganhar (receber) ou perder (ceder) elétrons.

Quando ele ganha um ou mais elétrons, dizemos que se transforma num íon negativo.

Quando um átomo perde um ou mais elétrons, dizemos que ele se transforma num íon positivo.



Como exemplo, teremos que se um átomo de sódio (Na) ceder um elétron ao átomo de cloro (Cl), passamos a ter um íon positivo de sódio e um íon negativo de cloro (ver figura).

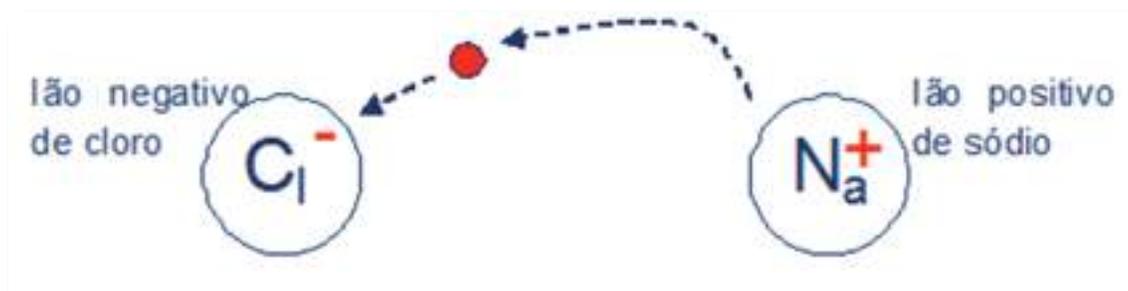


Fig. 32 - Formação de íões

A órbita eletrônica ou camada mais afastada do núcleo é a camada de valência e os elétrons dessa camada são chamados de elétrons de valência.

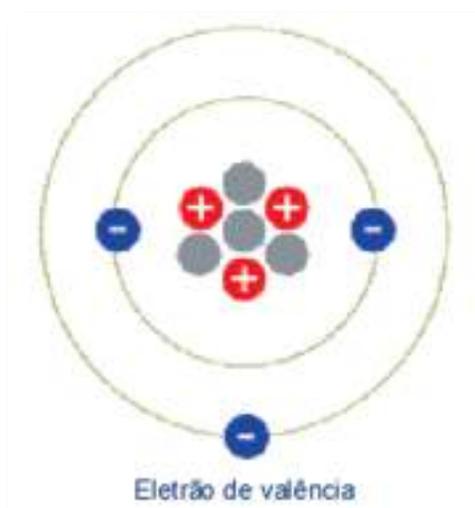


Fig. 33 - Elétron de valência

Num átomo, o número máximo de elétrons de valência é de oito.

Quando um átomo tem oito elétrons de valência diz-se que o átomo tem estabilidade química ou molecular.

Os átomos com um, dois ou três elétrons de valência têm uma certa facilidade em cedê-los, já que a sua camada de valência está muito incompleta (para estar completa deveria ter oito elétrons de valência).

Como exemplo, consideremos um átomo de cobre que tem um elétron de valência, o que faz com que ele ceda com muita facilidade esse elétron (elétron livre).



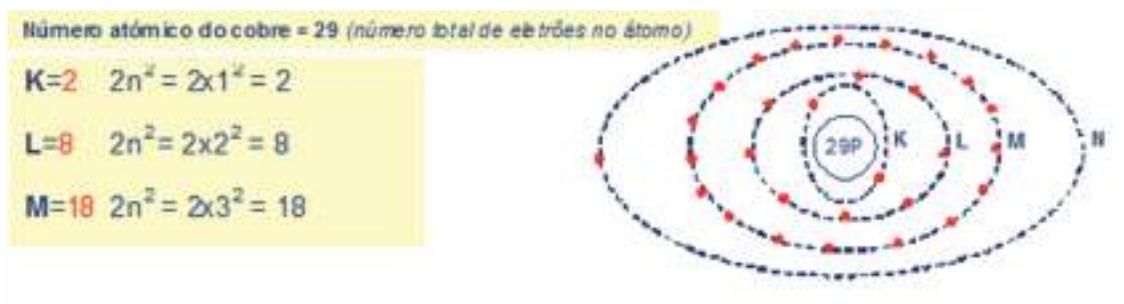


Fig. 34 - Cedência de elétron livre

No caso dos isoladores, os átomos que têm entre cinco e oito elétrons de valência não cedem facilmente elétrons livres, já que a sua camada de valência está quase completa (para estar completa deveria ter oito elétrons de valência).

O vidro, a mica, a borracha estão neste caso, sendo portanto isoladores.

Estes materiais não são condutores da corrente elétrica porque não têm elétrons livres, sendo necessário aplicar-lhes uma grande energia para fazer passar os elétrons de banda de valência para a banda de condução.

No caso dos semicondutores, os átomos com quatro elétrons de valência, geralmente não ganham nem perdem elétrons, situação que acontece com os materiais semicondutores, germânio (Ge) e silício (Si), já referidos.

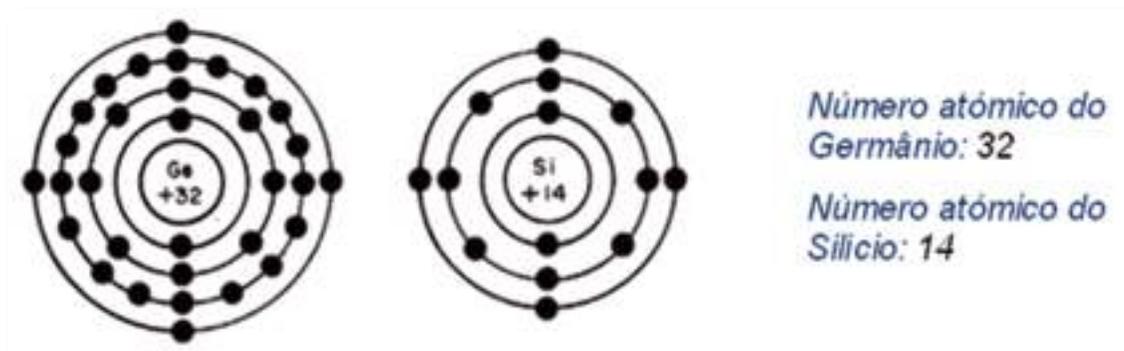


Fig. 35 - Estrutura atômica do germânio e do silício

Importa compreender agora o conceito de bandas de energia, de acordo com o que se indica na figura seguinte.





Fig. 36 - Bandas de valência

Num material isolante é necessário aplicar muita energia (por exemplo, muita tensão elétrica), para fazer passar os eletrões da banda de valência para a banda de condução, já que a banda proibida é muito larga, requerendo portanto muita energia para esse processo.

Pelo contrário, num material condutor a passagem dos eletrões da banda de valência para a banda de condução faz-se facilmente, já que não existe banda proibida.

Os materiais semicondutores encontram-se numa situação intermédia, entre os materiais isoladores e os materiais condutores.

A existência dos semicondutores com os diferentes níveis de cargas positivas (P) e de cargas negativas (N), se os unirmos através de uma zona de contacto, conduz-nos ao conceito de junção PN.

Se considerarmos que um átomo que perdeu eletrões ficou com falta destes (lacunas, ou faltas de eletrões, quando se trata de carga elétrica e do seu respetivo equilíbrio), podemos facilmente entender que a junção de um material semicondutor do tipo P (com excesso de lacunas) com um material semicondutor do tipo N (com excesso de eletrões livres) origina uma junção PN.

Se reforçarmos a sua carga eletrónica através de uma bateria (pilha) externa, obtemos uma junção polarizada de modo direto.



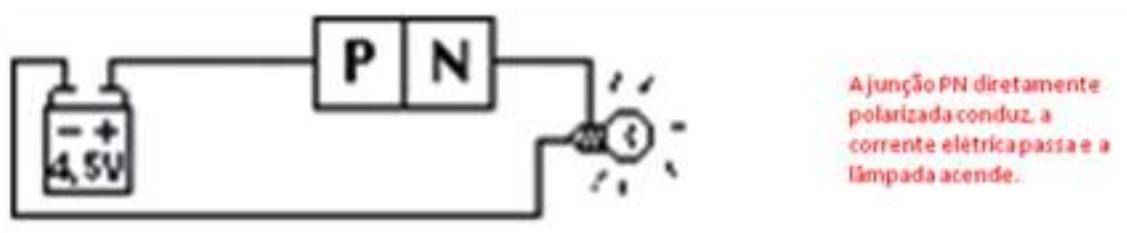


Fig. 37 - Junção P-N diretamente polarizada

Se ao contrário, contrariarmos a sua carga eletrónica através de uma bateria (pilha) externa, montada em sentido inverso da anterior, obtemos uma junção polarizada de modo inverso.

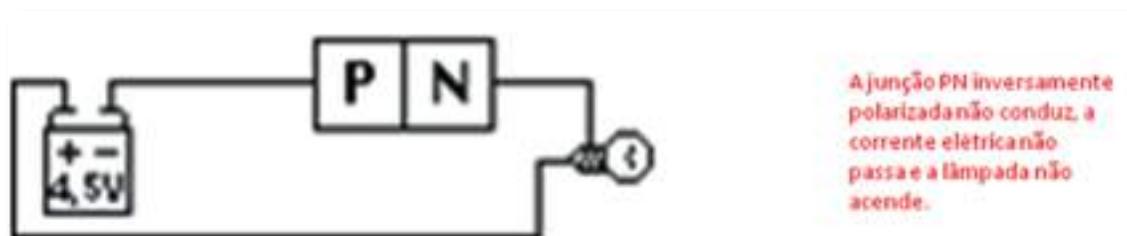


Fig. 38 - Junção P-N inversamente polarizada

Na zona da junção, os eletrões livres do semiconductor N recombina-se com as lacunas do semiconductor P, formando uma zona sem portadores de carga elétrica, que se designa por zona neutra ou zona de depleção.

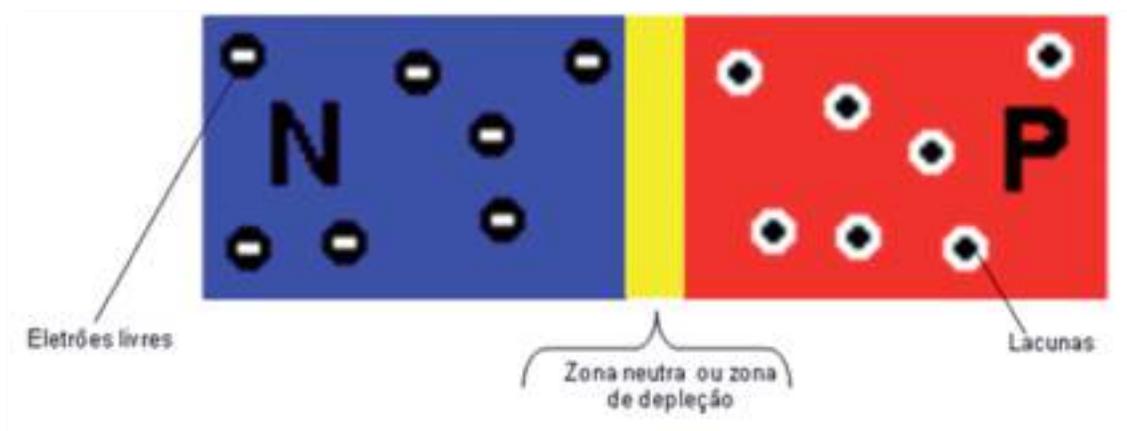


Fig. 39 - Zona neutra ou zona de depleção

A junção PN está diretamente polarizada, quando o potencial negativo da alimentação está ligado ao semiconductor N e o potencial positivo da alimentação está ligado ao semiconductor P (ver figura seguinte).



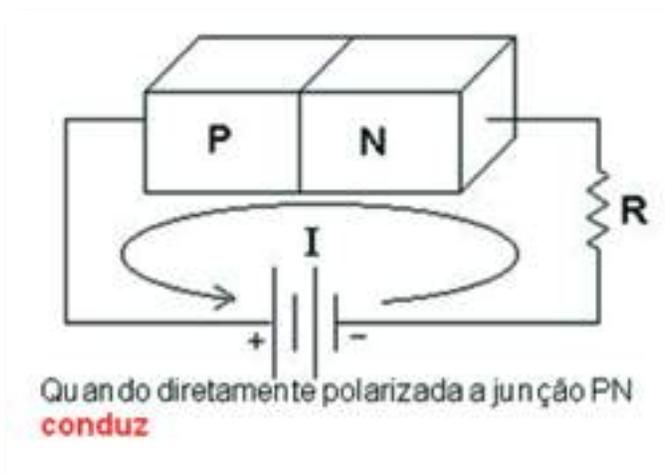


Fig. 40 - Junção P-N em condução

A junção PN está inversamente polarizada quando o potencial negativo da alimentação está ligado ao semicondutor P e o potencial positivo da alimentação está ligado ao semicondutor N (ver figura seguinte).

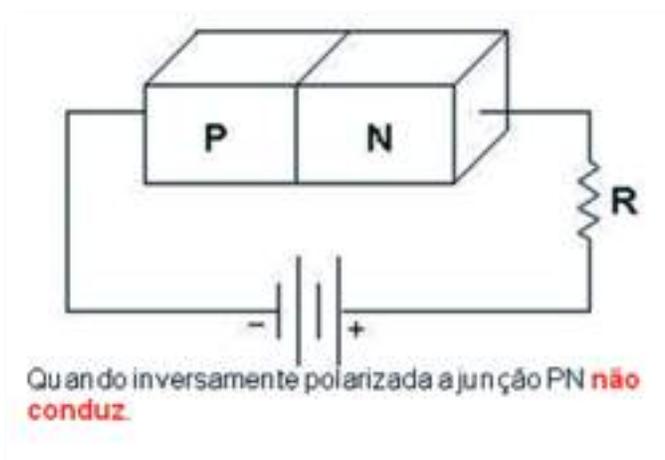


Fig. 41 - Junção P-N em bloqueio

Quando polarizada diretamente a junção PN conduz, porque nesta junção a zona neutra ou zona de depleção (zona sem portadores de carga elétrica) se torna mais estreita e a resistência elétrica diminui, facilitando assim a passagem da corrente elétrica.



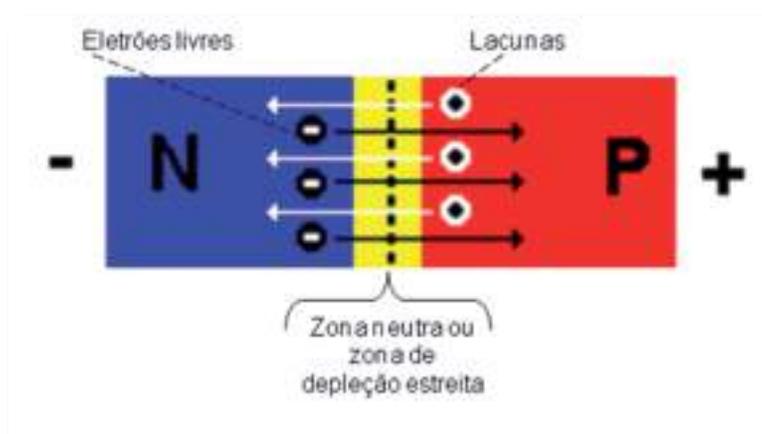


Fig. 42 - Estrangulamento da zona neutra ou de depleção

Ao invés, quando polarizada inversamente, a junção PN não conduz, porque nesta junção a zona neutra ou zona de depleção (zona sem portadores de carga elétrica) tende a alargar, a resistência elétrica aumenta significativamente e a corrente elétrica deixa de passar.

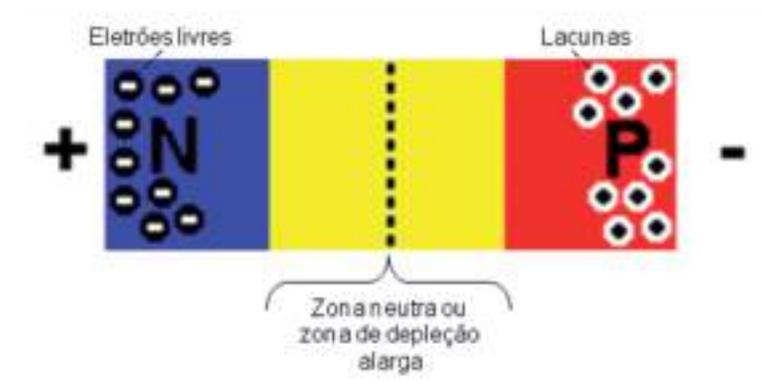


Fig. 43 - Alargamento da zona neutra ou de depleção

Este efeito de maior ou menor alargamento da zona neutra ou de depleção provoca de modo correspondente uma maior ou menor queda de tensão.

Assim sendo, quando a junção PN está polarizada diretamente, a corrente elétrica ao passar pela zona neutra ou zona de depleção, que apresenta um determinado valor de resistência elétrica, origina uma conseqüente queda de tensão ($U = R \times I$).

Nas junções PN de silício, essa queda de tensão pode variar entre 0,6V (Volt) e 1V (Volt).

Nas junções PN de germânio, essa queda de tensão pode variar entre 0,2V (Volt) e 0,4V (Volt).



Atividades propostas

QUESTÕES DE REVISÃO:

1. Em termos gerais, como se classificam os materiais?
2. Que aspetos contribuem para definir a forma dada aos materiais?
3. Que propriedades são importantes na escolha de um material?
4. O que se entende por condutibilidade elétrica?
5. O que se entende por rigidez dielétrica?
6. O que se entende por ductilidade?
7. Indique quais os principais materiais isoladores que conhece.
8. Quais os principais materiais semicondutores utilizados?
9. Que designação se atribui a um átomo eletricamente neutro quando ganhar ou receber um eletrão?
10. O que se entende por camada de valência?



Bibliografia

J.C.J. Van de Vem. *Selección de Semicondutores de Potência*. Paraninfo (s.d.).

PEREIRA, António Silva e outros, *Aplicações de Electrónica*. Blocos I e II. Porto Editora. (s.d.).

PEREIRA, António Silva e outros, *Electrónica*, 10.º Ano. Vol. 1 e 2. Porto Editora. (s.d.).

PINTO, António; ALVES, Vítor, *Tecnologias*, 10.º Ano. Curso Tecnológico de Electrotecnicia e Electrónica. Porto Editora. (s.d.).

Outros Recursos:

Catálogo de Material Elétrico/Eletrónico. Farnell.

Catálogo Geral Phillips.



