



Eletrônica Básica

SENAI – SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO REGIONAL DO RIO GRANDE DO SUL

CONSELHO REGIONAL

Presidente Nato

Francisco Renan O. Proença – Presidente do Sistema FIERGS

Conselheiros Delegados das Atividades Industriais - FIERGS

Titular

Manfredo Frederico Koehler

Astor Milton Schmitt

Valayr Hélio Wosiack

Suplentes

Deomedes Roque Talini

Arlindo Paludo

Pedro Antonio G. Leivas Leite

Representantes do Ministério da Educação

Titular

Edelbert Krüger

Suplente

Aldo Antonello Rosito

Representantes do Ministério do Trabalho e Emprego

Titular

Neusa Maria de Azevedo

Suplente

Elisete Ramos

Diretor do Departamento Regional do SENAI-RS

José Zortéa

DIRETORIA REGIONAL DO SENAI-RS

José Zortéa – Diretor Regional

Paulo Fernando Presser - Diretor de Educação e Tecnologia

Sílvio S. Andriotti - Diretor Administrativo-Financeiro



Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Centro de Educação Profissional SENAI Roberto Barbosa Ribas

Jocemar Biasi Parizzi

Eletrônica Básica

2ª Edição

Porto Alegre
Setembro de 2003

Eletrônica Básica

© 2002, SENAI-RS

2ª Edição, 2003

Trabalho elaborado por técnico do Centro de Educação Profissional SENAI Roberto Barbosa Ribas, sob a supervisão da Unidade de Negócios em Educação Profissional de Nível Básico e coordenação da Diretoria de Educação e Tecnologia do Departamento Regional do SENAI-RS.

Coordenação Geral	Paulo Fernando Presser	DET
Coordenação Técnica	Jaures de Oliveira	DET/UNEP
Coordenação Local	Álvaro Borges Soares	CEP SENAI Roberto B. Ribas
Elaboração	Jocemar Biasi Parizzi	CEP SENAI Roberto B. Ribas
Revisão lingüística e gramatical	Regina Maria Recktenwald	consultora
Normalização bibliográfica	Enilda Hack	DET/UNET/NUI
Reprodução gráfica	CEP SENAI de Artes Gráficas Henrique d'Ávila Bertaso	

P232 PARIZZI, Jocemar Biasi. **Eletrônica Básica**. 2. ed. Santa Maria, Centro de Educação Profissional SENAI Roberto Barbosa Ribas, 2003. 101 p.

1. Eletrônica Básica I Título

CDU – 621.38

SENAI – Departamento Regional do Rio Grande do Sul

Av. Assis Brasil, 8787 – Bairro Sarandi

91140-001 – Porto Alegre, RS

tel.: (51) 3347-8697 fax: (51) 3347-8813

e-mail: unep@dr.rs.senai.br

SENAI – Instituição mantida e administrada pela Indústria

A reprodução total ou parcial desta publicação por quaisquer meios, seja eletrônico, mecânico, fotocópia de gravação ou outros, somente será permitida com prévia autorização, por escrito, deste Departamento Regional.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	9
1 FATOS HISTÓRICOS	11
2 MATEMÁTICA	13
2.1 RAZÃO E PROPORÇÃO.....	13
2.2 GRANDEZAS DIRETAMENTE PROPORCIONAIS.....	14
2.2.1 Grandezas inversamente proporcionais	14
2.3 POTENCIAÇÃO.....	15
2.3.1 Potência de base 10	15
2.3.2 Adição de potências.....	15
2.3.3 Multiplicação de potências	16
3 UNIDADES DE MEDIDA	17
3.1 UNIDADES FUNDAMENTAIS (S. I.)	17
3.2 UNIDADES DERIVADAS	17
3.3 CONSTANTES FUNDAMENTAIS	18
4 MATÉRIA E SUA CONSTITUIÇÃO	19
4.1 TIPOS DE MATERIAIS (ELEMENTOS QUÍMICOS)	20
4.1.1 Quanto ao número de elétrons na camada de valência	20
5 ELETRICIDADE ESTÁTICA	21
5.1 CARGAS ELÉTRICAS:.....	21
5.1.1 Unidade que mede a quantidade de carga	21
5.1.2 Doação ou recebimento de cargas (é).....	21
5.2 ELETRIZAÇÃO.....	22
5.2.1 Tipos de eletrização	23
5.3 FORÇAS ENTRE CORPOS CARREGADOS.....	25
6 TENSÃO, CORRENTE E RESISTÊNCIA ELÉTRICA	27
6.1 POTENCIAL ELÉTRICO	27
6.2 TENSÃO ELÉTRICA (V).....	27
6.2.1 Unidade de medida de tensão elétrica.....	28
6.3 CORRENTE ELÉTRICA (I).....	29
6.3.1 Unidade de corrente elétrica	29
6.3.2 Sentido da corrente elétrica	30
6.4 RESISTÊNCIA ELÉTRICA	31
6.4.1 Unidade de medida de resistência elétrica	31

7 GERADORES DE ENERGIA	33
7.1 REPRESENTAÇÃO DOS GERADORES	33
7.1.1 Geradores de C.C.....	33
7.1.2 Geradores de C.A.....	34
7.1.3 Alguns conceitos sobre C. A.	34
7.1.4 Geradores de corrente	35
8 POTÊNCIA EM CIRCUITOS ELÉTRICOS	37
8.1 UNIDADE DE MEDIDA DE POTÊNCIA.....	37
9 RESISTORES	39
9.1 UNIDADE DE MEDIDA	39
9.2 REPRESENTAÇÃO DOS RESISTORES:	39
9.3 ASPECTO REAL E IDENTIFICAÇÃO DO VALOR:	40
9.3.1 Tabela de múltiplos e submúltiplos	41
9.4 CONDUTÂNCIA.....	41
9.5 RESISTÊNCIA DE UM CONDUTOR	42
9.6 LEI DE OHM	42
9.7 POTÊNCIA DOS RESISTORES.....	44
9.8 ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES	45
9.8.1 Associação em série.....	45
9.8.2 Associação em paralelo	47
9.8.3 Associação mista.....	48
9.9 POTÊNCIA ELÉTRICA EM RESISTORES	51
9.10 LEIS DE KIRCHOFF	51
9.10.1 L . T . K (Leis das tensões)	51
9.10.2 L . C . K (Lei dos nós)	53
10 CAPACITORES	55
10.1 CAPACIDADE ELÉTRICA	55
10.2 CAMPO ELÉTRICO	55
10.3 CAPACITOR	56
10.3.1 O componente capacitor	56
10.3.2 Funcionamento do capacitor	56
10.3.3 Capacitância em capacitor de placas paralelas	57
10.4 TIPOS DE CAPACITORES.....	59
10.4.1 Quanto ao dielétrico	59
10.4.2 Capacitores polarizados.....	61
10.5 CAPACITORES EM C. C.	61
10.5.1 Descarga do capacitor.....	62
10.6 CAPACITORES EM C. A.	63
10.7 REATÂNCIA CAPACITIVA	64
10.8 ASSOCIAÇÃO PARALELO DE CAPACITORES (//).....	65
10.8.1 Capacitância equivalente	65
10.8.2 Relação de cargas nos capacitores de uma associação em paralelo	66
10.9 ASSOCIAÇÃO SÉRIE DE CAPACITORES	66
10.9.1 Capacitância equivalente	66
10.9.2 Tensão na associação série de capacitores	67
10.10 PRINCIPAIS USOS E TESTE DE CAPACITORES	67
10.11 TESTE DE CAPACITORES.....	67
10.12 TENSÃO DE TRABALHO PARA CAPACITORES.....	68

11	MAGNETISMO E ELETROMAGNETISMO	69
11.1	IMÃS ARTIFICIAIS	70
11.2	FORÇAS MAGNÉTICAS	71
11.3	ELETROMAGNETISMO	71
11.3.1	Pólo de eletroímã	72
12	INDUTORES	75
12.1	TENSÃO INDUZIDA	75
12.2	AUTO-INDUÇÃO	76
12.3	INDUTÂNCIA	77
12.3.1	Fatores que influem na indutância	77
12.4	INDUTORES	78
12.4.1	Unidade de medida da indutância	78
13	TRANSFORMADORES	80
13.1	TIPOS DE TRANSFORMADORES	82
13.2	AUTOTRANSFORMADORES	82
14	DIODO RETIFICADOR	84
14.1	SIMBOLOGIA E ASPECTO REAL	85
14.2	RETIFICAÇÃO DE MEIA ONDA	88
14.2.1	Funcionamento	88
14.2.2	Tensão de saída	90
14.2.3	Circuito conversor C.A. – C.C. utilizando R.M.O.	90
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
	EXERCÍCIOS PARA REVISÃO	95
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

APRESENTAÇÃO

Sonhar é o primeiro passo; porém, depois do sonho, vem o trabalho. Ninguém consegue nada de graça na vida. A vitória é daqueles que aprendem a lutar por suas metas. É muito melhor investir no sacrifício da realização do que administrar a eterna dor da frustração.

Este fascículo didático tem o objetivo de ajudar os alunos dos cursos de Eletrônica Básica do SENAI a atingir sua meta, ou seja, obter conhecimentos básicos em Eletrônica através de um texto claro, direto, com termos técnicos adequados e de fácil compreensão, sem deixar de lado os exemplos, mas com um enfoque teórico. O material não dispensa a ajuda de um profissional, instrutor ou professor.

Começando por conceitos básicos de matemática e passando por conceitos de tensão, corrente, resistência, capacitância e indutância, chega-se, por fim, ao estudo dos retificadores de tensão.

1 FATOS HISTÓRICOS

O estudo da eletricidade ao longo dos tempos deve-se a grandes nomes da ciência, como Gilbert, Dufay, Franklin, Coulomb, Galvani, Volta, Faraday e Rowland, entre outros.

Faraday e Rowland reconheceram a corrente elétrica como eletricidade em movimento no século XIX. Já no século XX, pode-se afirmar que Thomson descobriu o elétron, Millikan mediu a carga do elétron e Rutherford apresentou um modelo atômico desenvolvido por Bohr e Sommerfeld.

Em 1884, Edison desenvolveu a lâmpada; em 1904, Fleming desenvolveu a primeira válvula; em 1906, Forest criou o triodo e, em 1948, Bardeen e Brattain desenvolveram o transistor. Nos anos 70 surgiram os circuitos integrados que minimizaram os diversos circuitos e aparelhos existentes.

O estudo atual da eletricidade caminha para um desenvolvimento acelerado, e não se pode imaginar os níveis que virá a atingir. Hoje, a microeletrônica é capaz de proporcionar equipamentos compactos, miniaturados e muito confiáveis.

2 MATEMÁTICA

Para o melhor entendimento de assuntos futuros, inicia-se este estudo com algumas noções de matemática, amplamente utilizadas em análises teóricas e em exemplos práticos. Se forem bem assimiladas pelo aluno, estas noções serão de grande importância para a compreensão e o domínio teórico-prático de eletrônica.

2.1 RAZÃO E PROPORÇÃO

Razão é qualquer quociente de dois números, como nos exemplos abaixo.

Exemplos: $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$

Proporção é toda igualdade entre duas razões, utilizada geralmente para fazer comparações.

Exemplo: $\frac{1}{3} = \frac{2}{6} = \frac{3}{9} = \frac{4}{12}$

Em uma proporção, o produto dos meios é sempre igual ao produto dos extremos, como nos exemplos a seguir. Também se pode afirmar que todo par de relações que obedece a lei citada acima é uma proporção.

Exemplos: $\frac{1}{3} = \frac{2}{6}$

$$\begin{aligned}1 \times 6 &= 2 \times 3 \\6 &= 6\end{aligned}$$

Exemplo:

Determinar **m** na proporção: $\frac{5}{4} = \frac{m}{92}$

$$4 \times m = 5 \times 92$$

$$m = \frac{5 \times 92}{4}$$

$$m = 115$$

2.2 GRANDEZAS DIRETAMENTE PROPORCIONAIS

São grandezas onde o aumento de uma implica no aumento da outra, ou a diminuição de uma implica na diminuição da outra.

A razão entre o valor de uma delas e o valor correspondente da outra é constante.

$$A = B \times K \Leftrightarrow \frac{A}{B} \times K$$

Por exemplo: A conta de luz, ou a de água, é proporcional ao consumo desses produtos. Paga-se por unidade de produto um determinado valor que não depende do consumo.

Exercício:

Um pêndulo executa 81 oscilações em 27 segundos. Quantas oscilações executará em 1 hora?

$$81 \text{ ----- } 27 \text{ s}$$

$$X \text{ ----- } 3600 \text{ s}$$

$$X \cdot 27 = 81 \cdot 3600$$

$$X = 10800 \text{ oscilações}$$

2.2.1 Grandezas inversamente proporcionais

A razão entre uma grandeza é o inverso do valor correspondente ao da outra.

$$\frac{A}{\frac{1}{B}} = K \quad A = K \frac{1}{B}$$

Exercício:

Em determinado circuito elétrico, o aumento da tensão provoca a diminuição da corrente para manter a potência constante.

$$100 \text{ W} = 10 \text{ V} \cdot 10 \text{ A}$$

ou, se aumentar a tensão para 20 V,

$$100 \text{ W} = 20 \text{ V} \cdot X \text{ A}$$

Calcule: $X = \dots\dots\dots$

2.3 POTENCIAÇÃO

Potenciação é a forma em que um número muito grande ou muito pequeno pode ser representado de forma compacta.

2.3.1 Potência de base 10

É a potência onde os números a serem representados são múltiplos de 10. Onde a potência indica o número de zeros após ou antes dos algarismos representativos.

Exemplo:

$$1.000.000 = 1 \times 10^6$$

$$0,0000001 = 1 \times 10^{-6}$$

2.3.2 Adição de potências

Somam-se os algarismos e mantém-se a potência.

Exemplo:

$$3 \cdot 10^4 + 5 \cdot 10^4 = 8 \cdot 10^4$$

$$3 \cdot 10^4 + 5 \cdot 10^3 = 3,5 \cdot 10^4 \text{ ou } 35 \cdot 10^3$$

Observação:

Quando se têm potências diferentes, passam-se todos os números para a mesma potência e efetua-se a soma.

2.3.3 Multiplicação de potências

Multiplicam-se os algarismos e somam-se as potências.

Exemplos:

$$3 \cdot 10^{-3} \times 4 \cdot 10^3 = 12 \cdot 10^0 \Rightarrow 12$$

$$3 \cdot 10^9 \times 5 \cdot 10^3 = 15 \cdot 10^{12} \text{ ou } 1,5 \cdot 10^{13}$$

Observação:

Potência negativa é igual ao algarismo dividido pela potência positiva de mesmo valor.

Exemplo:

$$3 \cdot 10^{-9} = \frac{3}{10^9} = \frac{3}{1000.000.000}$$

$$3 \cdot 10^9 = \frac{3}{10^{-9}} = 3 \times 100.000.000$$

3 UNIDADES DE MEDIDA

Para representar as diferentes grandezas que regem os fenômenos físicos, foram convencionadas várias unidades de medida fundamentais e derivadas e, também, algumas constantes. Neste capítulo mostram-se as principais unidades e constantes.

3.1 UNIDADES FUNDAMENTAIS (S. I.)

comprimento:	metro (m)
massa:	kilograma (kg)
tempo:	segundo (s)
corrente elétrica:	ampére (A)
temperatura:	Kelvin (K) $\Rightarrow 0^{\circ}\text{C} \rightarrow 273\text{K}$
quantidade de substâncias:	Mol
intensidade luminosa:	Candela (Cd)

3.2 UNIDADES DERIVADAS

área:	m^2
velocidade:	m/s
pressão:	Pa (N/m^2)
volume:	m^3
aceleração:	m/s^2
trabalho, energia, calor:	J (N, m)
freqüência:	Hz
força:	N
tensão elétrica:	V Volt (w/A)
potência:	W Watt (J/s)
carga elétrica:	C Coulomb (A . s)
capacitância:	F Farad (V . s)
fluxo magnético:	Wb Weber
indutância:	H Henry

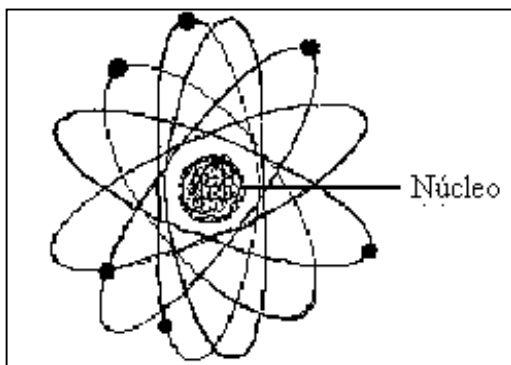
3.3 CONSTANTES FUNDAMENTAIS

velocidade da luz no vácuo:	$c \ 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
carga do elétron:	$e \ 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
massa do é:	$m_e \ 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
permissividade elétrica no vácuo:	$\epsilon_0 \text{ ou } E_0 \ 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$
permissividade magnética no vácuo:	$\mu_0 \ 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$

4 MATÉRIA E SUA CONSTITUIÇÃO

A menor parte que constitui um material é um átomo. O átomo pode ser dividido em duas partes distintas:

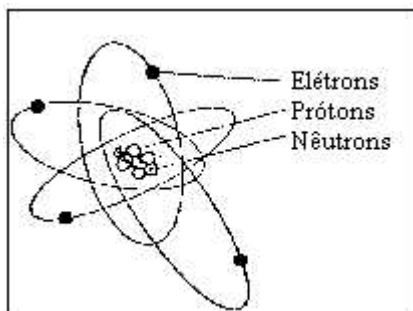
Núcleo: onde estão os prótons (cargas positivas), os nêutrons e algumas outras partículas. Os números de prótons caracterizam e distinguem cada elemento químico



Fonte: Ilustração do autor

Figura 1 – Estrutura de um átomo

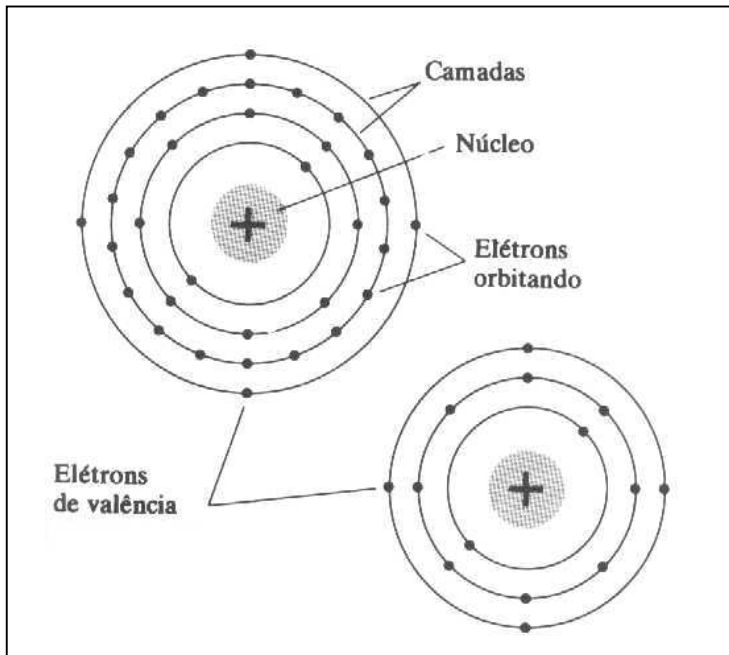
Eletrosfera: ou órbitas, são onde se localizam os elétrons (é), que são cargas elétricas negativas. Segundo o modelo de Bohr, os elétrons ficam girando ao redor do núcleo em órbitas elípticas ou camadas eletrônicas.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 2 – Eletrosfera, elétrons em orbitas elípticas

Camada de valência \Rightarrow É a última camada eletrônica, onde o número de *elétrons* nela é importante para o estudo das propriedades elétricas de cada material.



Fonte: BOYLESTAD, R.; NASHELSKY, L., 1999.

Figura 3 – Camadas de valência

4.1 TIPOS DE MATERIAIS (ELEMENTOS QUÍMICOS)

4.1.1 Quanto ao número de elétrons na camada de valência

Gases nobres: possuem o número máximo de elétrons na última camada \Rightarrow (2 ou 8)

Condutores \Rightarrow *ligação metálica*: possuem poucos elétrons na última camada (1 ou 2).
Exemplos: ouro, prata, cobre, platina. São doadores de elétrons.

Semicondutores: possuem 4 elétrons na camada de valência. Têm um nível médio de facilidade de perder elétrons.

Isolantes: são elementos em que, por terem grande número de elétrons na última camada, é necessária grande quantidade de energia para arrancar elétrons de um átomo.


5 ELETRICIDADE ESTÁTICA


Eletricidade estática pode ser definida como sendo consequência das cargas elétricas acumuladas em corpos eletricamente carregados, como se verá neste capítulo.

5.1 CARGAS ELÉTRICAS

Há dois tipos de cargas elétricas: as cargas positivas e as cargas negativas.

As cargas negativas são os elétrons, e as positivas, os prótons (como visto no capítulo anterior).

– prótons 

– elétrons 

O movimento de cargas se dá pelo movimento de elétrons (é). Pode-se afirmar que a energia elétrica é ocasionada pelo movimento das cargas negativas ou dos elétrons.

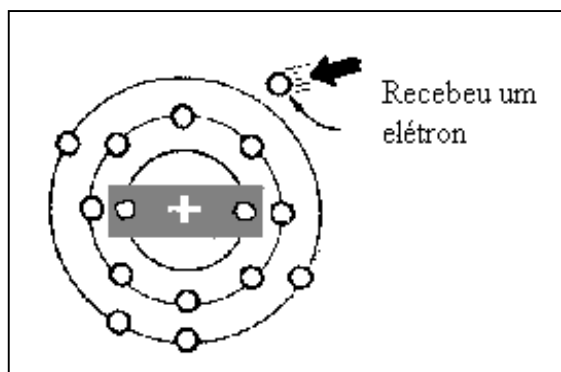
5.1.1 Unidade que mede a quantidade de carga

⇒ Coulomb (C)

⇒ carga de 1 é: $1,6 \times 10^{-19}$ C, ou seja: $1\text{C} = 6,25 \times 10^{18}$ é

5.1.2 Doação ou recebimento de cargas (é)

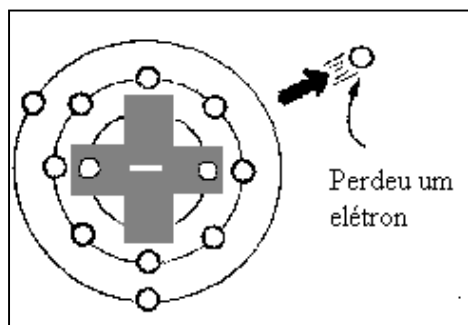
Quando um átomo recebe elétron diz-se que ficou carregado negativamente e se tornou um íon negativo (ânion).



Fonte: Ilustração do autor

Figura 4 – Íon negativo ou ânion

Quando um átomo perde elétron fica carregado positivamente, ou seja, torna-se um íon positivo ou cátion.

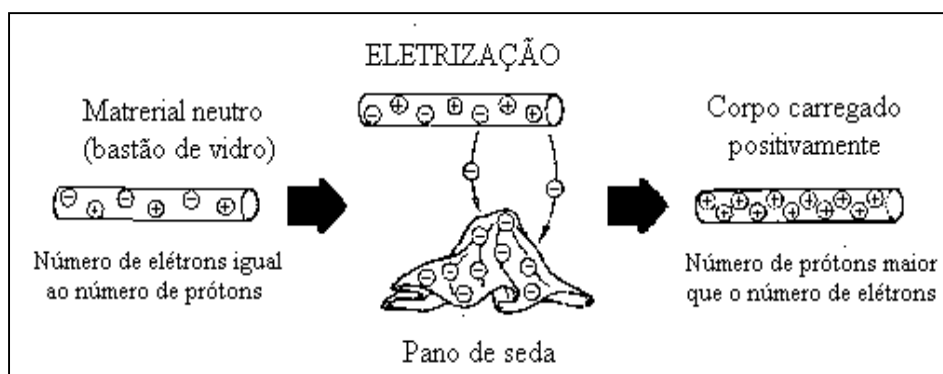


Fonte: Ilustração do autor

Figura 5 – Íon positivo

5.2 ELETRIZAÇÃO

É o processo pelo qual são retiradas cargas elétricas de um corpo ou transferidas para ele, permitindo que um corpo neutro fique eletricamente carregado.



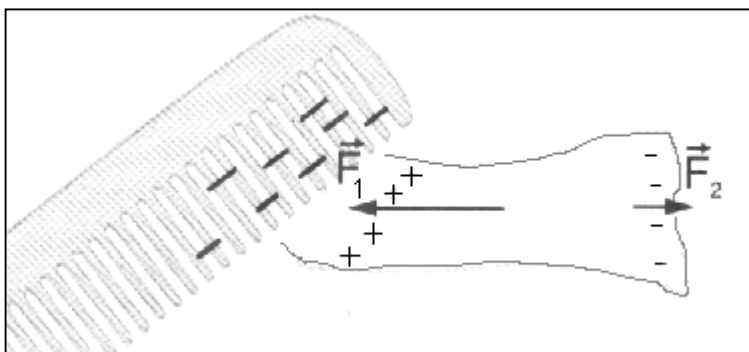
Fonte: Ilustração do autor

Figura 6 – Eletrização de um corpo

5.2.1 Tipos de eletrização

Eletrização por atrito: o atrito de dois materiais diferentes faz a transferência de e^- de um para outro.

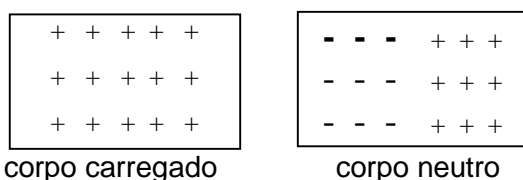
Exemplo: Ao passar um pente no cabelo, percebe-se que fica eletricamente carregado e, se for aproximado de papéis picados, eles são atraídos pelo pente, conforme figura abaixo.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 7 – Eletrização por atrito

Eletrização por contato: quando se aproxima um material (corpo) carregado de um corpo neutro, ocorre o fenômeno mostrado na Figura 8.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 8 – Separação de cargas devido à aproximação de corpo carregado

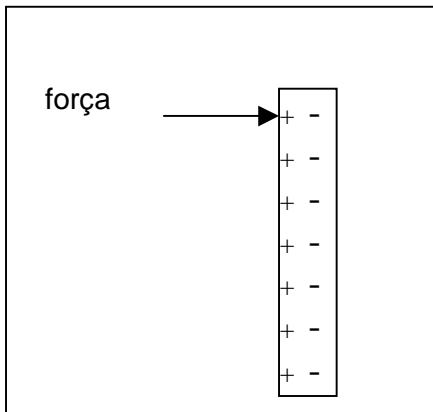
Se os dois corpos entrarem em contato, o corpo neutro adquire parte das cargas do corpo carregado, dividindo as cargas entre ambos. Quando se separam os dois corpos, o corpo que estava neutro ficará carregado com carga de mesmo sinal do corpo carregado.

Eletrização pela luz: efeito fotovoltaico (fotocélulas): ao colidir com a superfície de alguns materiais, a energia da radiação luminosa retira e^- deles.

Se dois materiais diferentes forem dispostos de maneira a passar para o outro o que se retira de um material, aparecerão cargas opostas nos dois materiais.

Eletrização por pressão (piezoelectricidade): ao aplicar pressão sobre o cristal, suas paredes ficam com cargas opostas (cristais piezoelétricos).

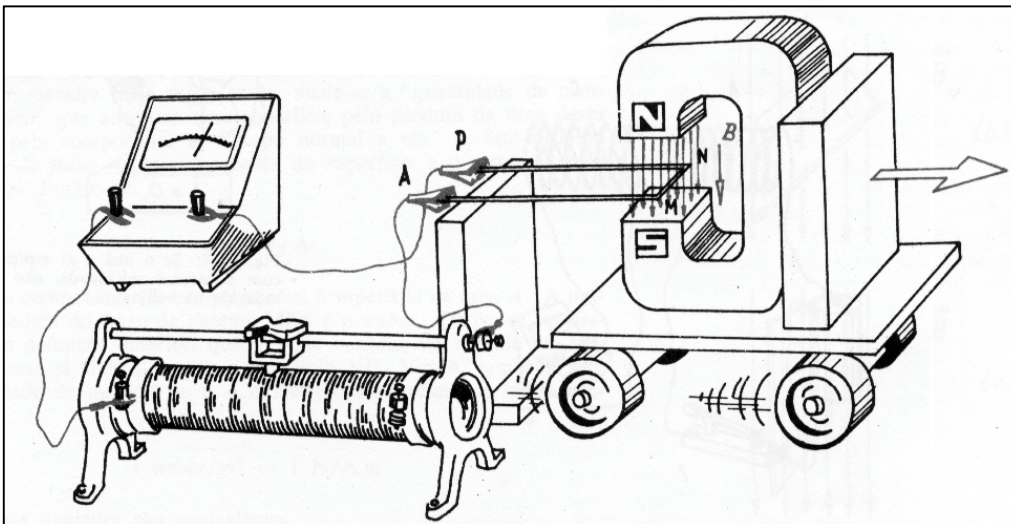
Exemplo: Quartzo



Fonte: Ilustração do autor

Figura 9 – Separação de cargas devido à pressão aplicada

Eletrização por variação do fluxo magnético: ao aproximar-se um fio condutor de um ímã, surge no fio uma corrente elétrica provocada pela variação do fluxo magnético.

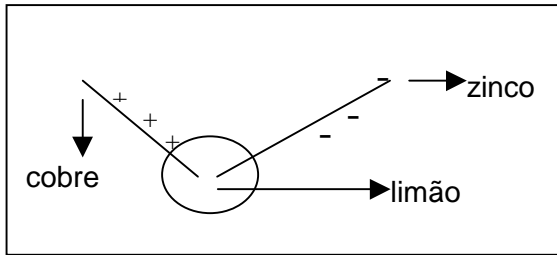


Fonte: MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B., 1998.

Figura 10 – Eletrização por indução

Eletrização por reação química: ao colocar-se metais diferentes imersos em algumas substâncias químicas, estas retiram e^- de um dos metais e transferem-no para o outro.

Exemplo: Um pedaço de cobre e outro de zinco espetados em um limão.



Fonte: Ilustração do autor

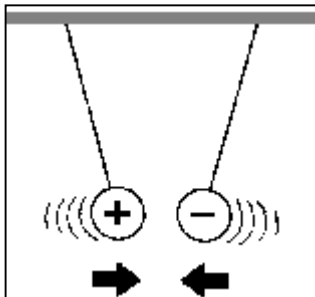
Figura 11 – Gerador eletroquímico

5.3 FORÇAS ENTRE CORPOS CARREGADOS

Quando um corpo está carregado eletricamente, surge ao seu redor um campo de forças elétricas. Se dois corpos que apresentam diferença de cargas elétricas entre si forem colocados próximos, surge uma força de atração ou de repulsão entre eles.

Onde:

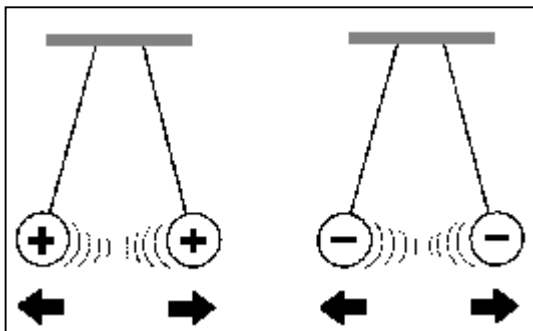
– corpos com cargas de sinais opostos se atraem:



Fonte: Ilustração do autor

Figura 12 – Atração entre cargas de sinais diferentes

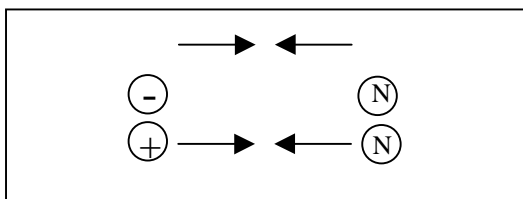
– corpos com cargas de sinais iguais se repelem:



Fonte: Ilustração do autor

Figura 13 – Repulsão entre cargas de mesmo sinal

- Se um corpo for carregado e outro for neutro, como há diferença de cargas, há atração:



Fonte: Ilustração do autor

Figura 14 – Atração entre corpos carregados e neutros

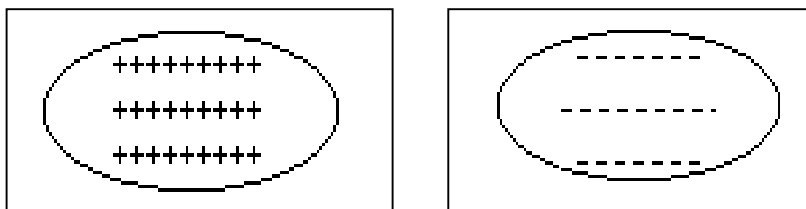
6 TENSÃO, CORRENTE E RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Neste capítulo trata-se de três dos principais conceitos do estudo da Eletricidade e Eletrônica, que são tensão, corrente e resistência elétrica.

6.1 POTENCIAL ELÉTRICO

Diz-se que um corpo está em equilíbrio elétrico quando tem o mesmo número de prótons e de elétrons. Havendo desequilíbrio entre o número de *prótons* e o de elétrons, o corpo está carregado eletricamente.

Potencial elétrico de um corpo é o número de cargas excedentes nele.

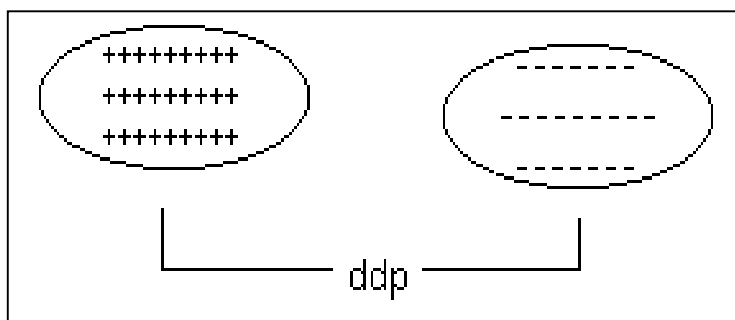


Fonte: Ilustração do autor

Figura 15 – Corpos com potencial positivo e com potencial negativo

6.2 TENSÃO ELÉTRICA (V)

Se existe diferença de cargas elétricas entre dois corpos, pode-se dizer que eles estão com potenciais diferentes, ou seja, existe uma diferença de potencial entre ambos.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 16 – ddp entre corpos carregados eletricamente

A diferença de potencial (ddp) entre dois corpos (ou dois pontos de um circuito elétrico) é também chamada de tensão elétrica.

Comparando a um sistema hidráulico, diz-se que a tensão elétrica pode ser comparada ao desnível existente entre a caixa d'água e a torneira de onde a água sairá: quanto mais alta a caixa em relação à torneira, mais alta será a pressão que fará para sair. Pode-se dizer que a água é bombeada pela ação da gravidade, assim como os elétrons são bombeados pelo gerador.

6.2.1 Unidade de medida de tensão elétrica

Unidade de medida da ddp é o Volt (V)

Tabela 1 – Múltiplos e submúltiplos da unidade de medida de tensão

Denominação		Símbolo	Valor
múltiplos	megavolt	Mv	10^6 V ou 1000000V
	quilovolt	Kv	10^3 V ou 1000V
unidade	Volt	V	-
submúltiplos	milivolt	mV	10^{-3} V ou 0,001V
	microvolt	μ V	10^{-6} V ou 0,000001V

Observação:

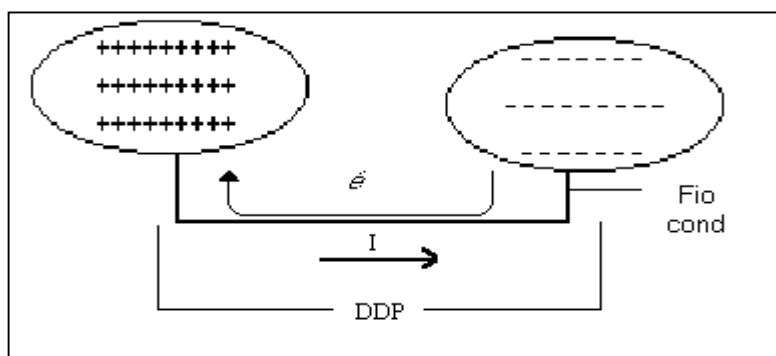
No campo da Eletricidade, usam-se normalmente o Volt e o Quilovolt. Na área da Eletrônica, usam-se o Volt, Milivolt e o Microvolt.

6.3 CORRENTE ELÉTRICA (I)

Sempre que há diferença de potencial entre dois corpos, ao colocar-se um fio condutor entre eles haverá circulação dos elétrons do corpo mais negativo para o mais positivo. A esse movimento de cargas se dá o nome de corrente elétrica.

Neste sentido, pode-se dizer que corrente elétrica é o movimento orientado de cargas provocado pelo desequilíbrio elétrico (ddp) existente entre dois pontos.

Novamente comparando com um sistema hidráulico, diz-se que a corrente elétrica pode ser comparada com a quantidade de água que circula em um cano durante certo tempo, provocado pelo desnível entre a caixa e a saída de água.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 17 – Corrente elétrica

6.3.1 Unidade de corrente elétrica

A unidade de corrente elétrica é o ampére (A).

Um ampére (A) significa que $6,25 \times 10^{18}$ cargas elétricas passam em um segundo de um ponto a outro onde existe uma tensão de um volt.

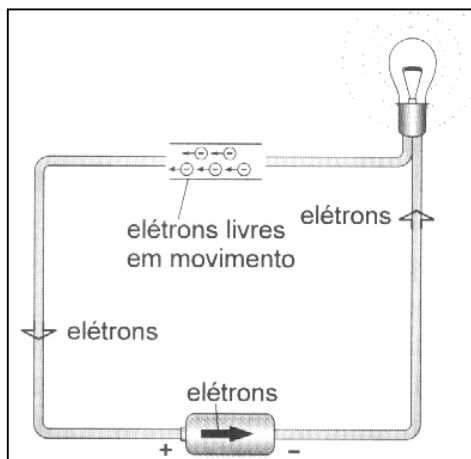
Tabela 2 – Múltiplos e submúltiplos da unidade de medida de corrente

Denominação		Símbolo	Equivalente a ampére
múltiplo	Quiloampére	KA	10^3 ou 1000 A
unidade	Ampére	A	
submúltiplo	Miliampére	mA	10^{-3} A 0,001 A
	Microampére	μ A	10^{-6} ou 0,000001 A
	Nanoampére	nA	10^{-9} ou 0,000000001 A
	Picoampére	pA	10^{-12} ou 0,000000000001 A

6.3.2 Sentido da corrente elétrica

O sentido da corrente elétrica é sempre contrário ao sentido do movimento dos elétrons, ou seja, do ponto mais positivo para o ponto mais negativo (sentido convencional).

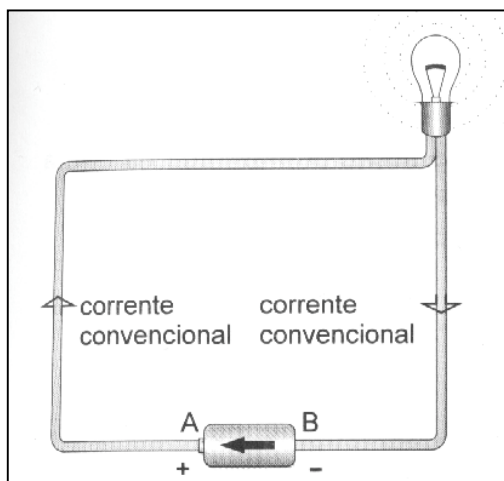
Sentido real do movimento de cargas: os elétrons são as cargas que se movimentam.



Fonte: MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B., 1998.

Figura 18 – Sentido real do movimento de cargas

Sentido da corrente elétrica: sentido convencional do movimento de cargas, ou seja, do pólo positivo para o negativo.



Fonte: MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B., 1998.

Figura 19 – Sentido da corrente elétrica

O instrumento utilizado para medir a intensidade de corrente é o amperímetro.

6.4 RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Resistência elétrica é a propriedade de um corpo de fazer oposição à passagem de corrente elétrica. A resistência elétrica de um material depende da facilidade ou dificuldade com que apresenta a passagem de corrente.

Continuando a analogia com o sistema hidráulico, o efeito de um resistor em um circuito elétrico pode ser comparado ao efeito de se colocar um pedaço de cano de 1" no meio de um cano de 10". Sabe-se que a água terá dificuldade de passar, e que a quantidade que sairá na extremidade do cano de 10" será menor do que se o cano fosse todo de 10".

6.4.1 Unidade de medida de resistência elétrica

A resistência elétrica é medida em Ohm (Ω), que significa um Volt dividido por 1um Ampère.

O ohmímetro é o instrumento de medição de resistência. No capítulo 9 apresentam-se mais detalhes.

7 GERADORES DE ENERGIA

Neste capítulo serão apresentados os geradores de energia e suas principais características:

Pilhas: são geradores de C.C. por processo químico, geralmente de 1,5 V e de diferentes tamanhos (a corrente depende do tamanho).

Acumuladores: (bateria de carro – acumuladores de chumbo ácido) 6, 12 ou 24 V, também por processo químico. Os acumuladores, como o próprio nome diz, não geram energia, apenas a acumulam.

As baterias têm que ser carregadas. Existem também acumuladores de NimH, Nica (baterias de celular), que são geralmente de 1,2 V.

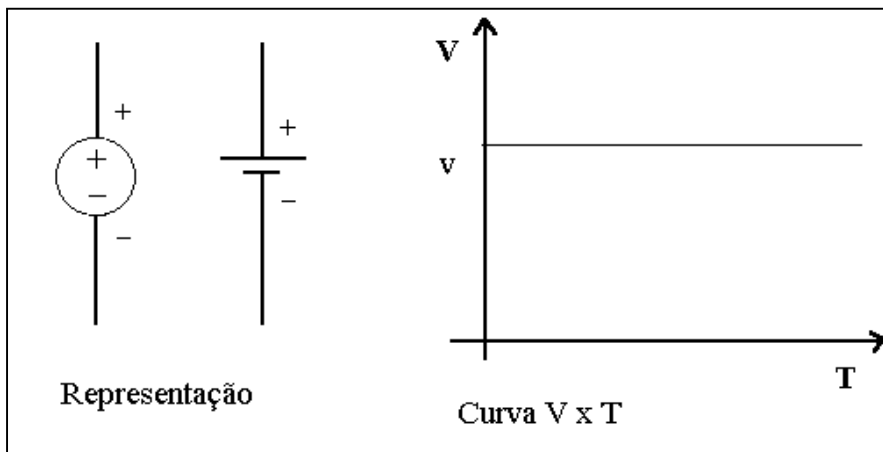
Geradores eletromagnéticos (alternadores): são dispositivos que transformam energia mecânica em energia elétrica, onde o giro de um eixo provocado pelo motor do carro, caldeira ou água da represa faz surgir uma tensão induzida nos enrolamentos do alternador, que é um dispositivo eletromagnético.

Solar: são dispositivos que transformam a energia solar em energia elétrica por transferência de materiais diferentes, geralmente com células de 1,2 V.

7.1 REPRESENTAÇÃO DOS GERADORES

7.1.1 Geradores de C.C.

A tensão de saída destes geradores é constante ou fixa ao decorrer do tempo, como mostra a Figura 20.

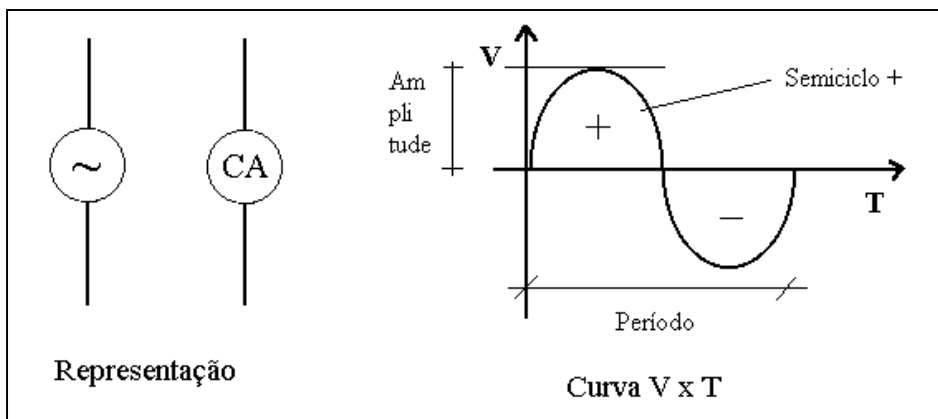


Fonte: Ilustração do autor

Figura 20 – Representação e forma de onda da tensão de saída de um gerador de C.C.

7.1.2 Geradores de C.A.

A tensão na saída de um gerador de C.A. alterna-se em valores negativos e positivos ao longo do tempo, como na figura abaixo.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 21 – Representação e forma de onda da tensão de saída de um gerador de C.A.

7.1.3 Alguns conceitos sobre C.A.

Período (T): é o tempo que a tensão leva para percorrer um ciclo completo.

Ciclo: são todos os valores de tensão assumidos desde zero, passando por valores positivos e chegando a zero, indo a valores negativos e chegando novamente a zero.

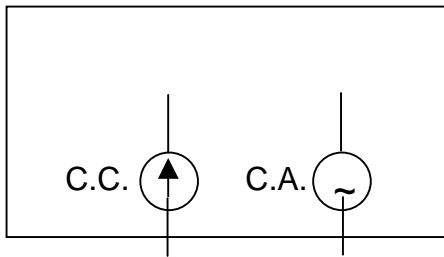
Semiciclo: é só a parte positiva (semiciclo +) ou só a parte negativa de um ciclo (semiciclo -).

Frequência (f) Hz: é o número de ciclos completos por segundo.

$F = \frac{1}{T}$ é quantas oscilações há por segundo.

7.1.4 Geradores de corrente

Nos geradores de tensão, esta se mantém fixa e a corrente varia conforme a carga. Já nos geradores de corrente, a corrente é fixa e a tensão varia conforme a carga.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 22 – Simbologia de geradores C.A. e C.C.

8 POTÊNCIA EM CIRCUITOS ELÉTRICOS

Potência elétrica é o trabalho (J) realizado por unidade de tempo (s), por um gerador ou um receptor. Veja capítulo 3 (J e S).

Pode-se definir potência como a quantidade de energia fornecida ou consumida durante um tempo pré-definido (1 segundo ou 1 hora, por exemplo).

Exemplo: Um aquecedor de 2500 W ligado por 5 minutos realiza um trabalho de 750000 J, ou seja, fornece 750000 J de energia térmica ao ambiente.

A potência elétrica, expressa em função da corrente e da tensão elétrica, é dada pela equação abaixo.

$$P = V \times I$$

Exemplo: Uma lâmpada ligada em 12 V consome uma corrente de 5A. Qual é sua potência?

$$P = V \times I = 12 \times 5 = 60 \text{ W}$$

8.1 UNIDADE DE MEDIDA DE POTÊNCIA

W = Watt é a unidade de medida de potência. 1 Watt significa um Joule durante um segundo, mas também pode ser um Ampére onde exista uma ddp de um Volt.

$$1 \text{ W} = 1 \text{ V} \times 1 \text{ A}$$

Exercícios:

1 Uma lâmpada de 40 W ligada em 220 V. Qual é a corrente que circula no circuito?

2 Um aquecedor de 2200 W está consumindo 20A. Qual é a tensão que alimenta esse aparelho?

3 Qual é a tensão que alimenta uma lâmpada elétrica de 150 W que está consumindo uma corrente de 1,18A?

4 Qual é a corrente elétrica que circula por um motor de elétrico 7,5 KW alimentado com uma tensão de 380 V?

9 RESISTORES

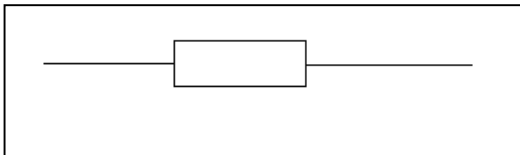
Resistor é o componente eletrônico que apresenta resistência elétrica como característica predominante. Tem a função elétrica de limitar corrente por se opor a sua passagem.

9.1 UNIDADE DE MEDIDA

Unidade de medida Ohm (Ω). Ver capítulo 7.

9.2 REPRESENTAÇÃO DOS RESISTORES

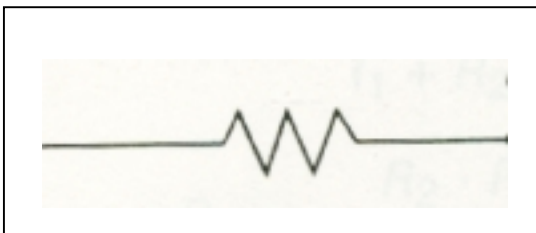
Representação de resistores utilizada por algumas literaturas nacionais:



Fonte: Ilustração do autor

Figura 23 – Representação de um resistor

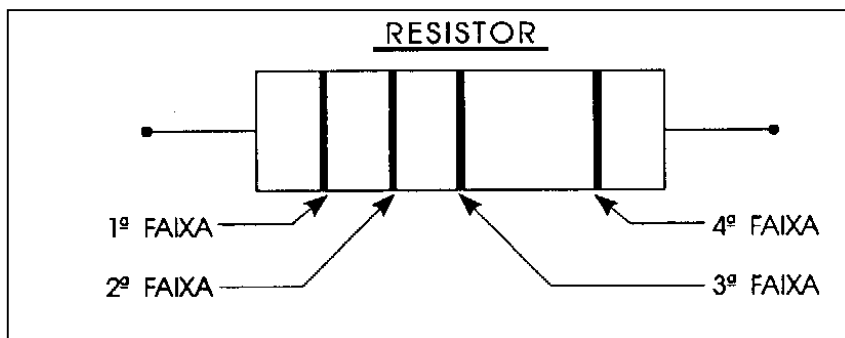
Representação de resistores mais utilizada:



Fonte: Ilustração do autor

Figura 24 – Representação de um resistor

9.3 ASPECTO REAL E IDENTIFICAÇÃO DO VALOR



Fonte: Ilustração do autor

Figura 25 – Aspecto real e identificação do valor de um resistor

Existe um código de cores para a leitura do valor de um resistor. Está representado na tabela abaixo, onde a primeira faixa corresponde ao primeiro algarismo, a 2ª faixa ao segundo, a 3ª faixa ao número de zeros que segue os algarismos e a 4ª faixa à tolerância percentual máxima para o valor indicado no componente.

Tabela 3 – Código de identificação de resistores

Cor	1ª faixa	2ª faixa	3ª faixa	4ª faixa
preto	–	0	X1	–
marrom	1	1	X10	1%
vermelho	2	2	X100	2%
laranja	3	3	X1000	3%
amarelo	4	4	X10000	4%
verde	5	5	X100000	–
azul	6	6	X1000000	–
violeta	7	7	–	–
cinza	8	8	–	–
branco	9	9	–	–
ouro	–	–	0,1	5%
prata	–	–	0,01	10%

– Para ler um resistor com 5 faixas:

1ª faixa: algarismo significativo

2ª faixa: algarismo significativo

3ª faixa: algarismo significativo

4ª faixa: número de zeros

5ª faixa: tolerância

– Para ler um resistor com 6 faixas:

1ª faixa: algarismo significativo

2ª faixa: algarismo significativo

3ª faixa: algarismo significativo

4ª faixa: número de zeros

5ª faixa: tolerância

6ª faixa: temperatura

Exemplo:

Um resistor com as cores abaixo:

1º marrom – 1

2º preto – 0

3º amarelo – 4 $\Rightarrow 10 \times 10^4$ (ou quatro zeros)

4º ouro – 5%

$R = 100 \text{ K}\Omega$ ou $R = 100000 \Omega$

9.3.1 Tabela de múltiplos e submúltiplos

K = 1000 = 10^3 (Kilo)

M = 1000000 = 10^6 (mega)

G = 1000000000 = 10^9

T = 1000000000000 (10^{12})

m = 10^{-3} (mili)

μ = 10^{-6} (micro)

n = 10^{-9} (nano)

p = 10^{-12} (pico)

9.4 CONDUTÂNCIA

É a propriedade dos materiais de conduzir eletricidade, ou seja, é o inverso da resistência. Quanto mais resistivo for um material, menos condutivo será.

$$G \Rightarrow \text{condutância} \quad G = \frac{1}{R}$$

Unidade siemens “S”

9.5 RESISTÊNCIA DE UM CONDUTOR

A resistência de um condutor de comprimento l pode ser calculada pela equação abaixo.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

Onde:

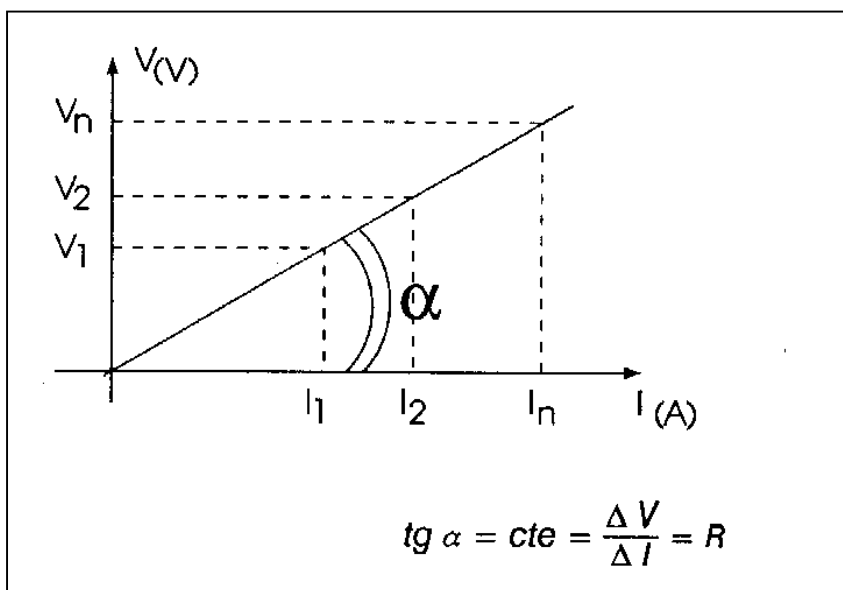
ρ = resistência do material

l = comprimento do condutor

A = área da seção transversal

9.6 LEI DE OHM

A lei de OHM expressa a variação da tensão em relação à corrente e à resistência. A variação é linear, ou seja, a variação de uma das grandezas citadas implica a variação de pelo menos uma das outras.



Fonte: INSTITUTO UNIVERSAL BRASILEIRO.

Figura 26 – Gráfico representativo da lei de OHM

A lei de Ohm resulta na equação: $V = R \cdot I$

Da equação, pode-se afirmar que, mantendo a resistência constante, ao aumentar a tensão, a corrente também aumenta, e mantendo a tensão constante, quanto maior a resistência, menor a corrente.

Tensão em um resistor: é dada pela equação abaixo:

$$V = R \cdot I$$

Exercícios:

1 Uma lâmpada de 200 V e 100 W tem uma resistência de:

$$100 = 200 \cdot I$$

$$I = \frac{100}{200}$$

$$I = 0,5 \text{ A}$$

$$R = \frac{200}{0,5}$$

$$R = 400 \, \Omega$$

2 A corrente em um resistor de $10 \, \Omega$ ligado em uma pilha de 1,5 V é de:

$$I = \frac{V}{R} = I = \frac{1,5}{10}$$

$$I = 0,15 \text{ A}$$

Já em 12 V, a corrente será:

$$I = \frac{12}{10} = 1,2 \text{ A}$$

3 Qual é a tensão entre os terminais de uma lâmpada de 150 W com resistência interna de $100 \, \Omega$?

4 Calcule a potência consumida por um aquecedor com resistência $R = 10 \, \Omega$ ligado em 220 V.

- 5 Determine a corrente que circula em uma lâmpada de 12 V – 25 W.
- 6 Calcule a potência consumida por uma lâmpada de 220 V – 100 W quando for ligada em uma tensão de 110 V.
- 7 Calcule a potência consumida por um aquecedor com resistência $R = 4\Omega$ ligado em 110 V. Também calcule sua potência se for ligado em 220 V.

9.7 POTÊNCIA DOS RESISTORES

A potência que um resistor pode dissipar é correspondente ao seu tamanho físico, são fabricados resistores de 1/8 W, 1/4 W, 1/2 W, 1 W, 2 W, 3 W, 5 W, 7 W, 10 W, 20 W...

Deve-se tomar cuidado ao substituir um resistor sempre por outro de igual ou maior potência que o original. Em circuitos eletrônicos de baixo consumo de energia, usam-se normalmente resistores de potência quatro vezes maior que a que estarão submetidos, para que sua resistência não se altere com a temperatura.

Em um projeto, o cálculo da potência é feito pela equação:

$$P = V \times I$$

ou

$$P = I^2 \times R$$

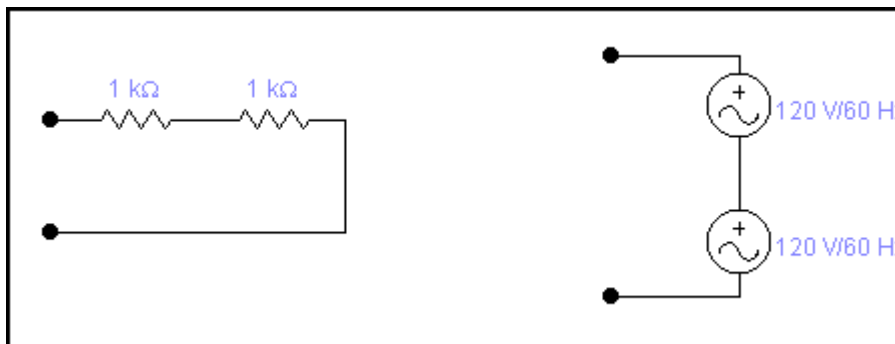
9.8 ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

9.8.1 Associação em série

A associação em série de quaisquer dispositivos de dois terminais é feita unindo-se um terminal de um deles com um terminal do outro. Não há nó em um circuito série.

Observação:

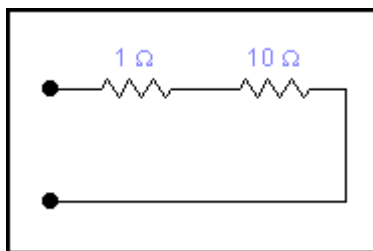
Nó é a união de três ou mais terminais ou ramos de um circuito.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 27 – Associação em série de alguns dispositivos

A resistência equivalente (R_{eq}) é a soma de todas as resistências em série.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 28 – Dois resistores em série

Para um número finito de resistores associados em série, a resistência equivalente é obtida pela equação abaixo, onde “n” é o número de resistores e “ R_{eq} ” a resistência equivalente.

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

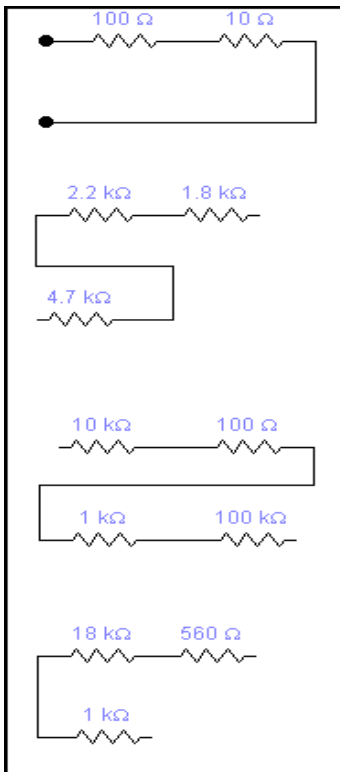
Exemplo: A resistência equivalente no circuito acima é:

$$R_{eq} = 1\Omega + 10\Omega$$

$$R_{eq} = 11\Omega$$

Exercícios

1 Calcule as associações de resistores abaixo.

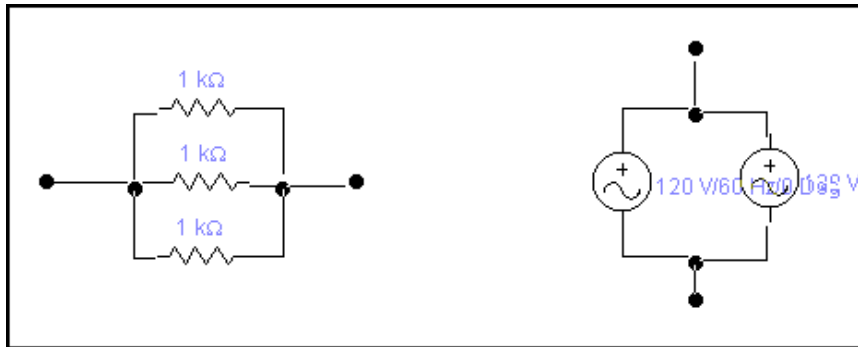


Fonte: Ilustração do autor

Figura 29 – Referente ao exemplo 1

9.8.2 Associação em paralelo

Quando se fala em associação em paralelo, significa que os terminais de todos os elementos da associação estão interligados, como na figura abaixo.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 30 – Associação em paralelo

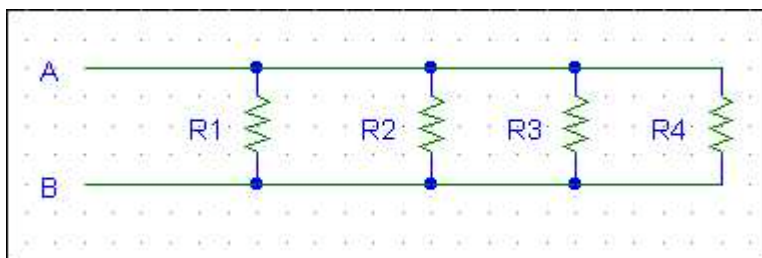
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + + \frac{1}{Rn}$$

A equação acima mostra como calcular a associação em paralelo de resistores.

Exemplo: Calcular a resistência equivalente da associação em série e paralela.

$$R_{eq} = 1000 + 560 + 330 + 1200$$

$$R_{eq} = 3.090 \, \Omega$$



Fonte: Ilustração do autor

Figura 31 – Circuito de exemplo

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R4}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{1000} + \frac{1}{560} + \frac{1}{350} + \frac{1}{1200}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = 0,001 + 0,00178 + \dots$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = 0,00664$$

$$R_{eq} = 150,0 \, \Omega$$

Método rápido para calcular a associação em paralelo de dois resistores:

$$R_{eq} = \frac{R1.R2}{R1 + R2}$$

Observação:

Dois resistores iguais em paralelo resultam em Req de valor igual a metade do valor

$$\text{dos resistores se } R1 = R2 = R \quad R_{eq} = \frac{R}{2}$$

Exercício:

Calcular a associação em paralelo dos resistores:

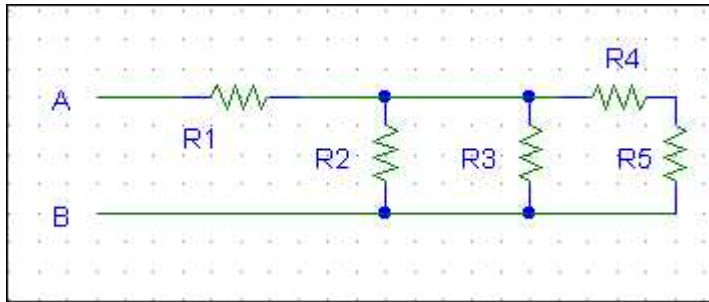
$$\begin{array}{l} R1 = 1 \, K\Omega \\ R2 = 1 \, K\Omega \end{array} \left\{ \begin{array}{l} R_{eq} = \frac{1000}{2} \\ \end{array} \right. \quad R_{eq} = 500 \, \Omega$$

$$\begin{array}{l} R1 = 56 \, \Omega \\ R2 = 56 \, \Omega \end{array} \left\{ \begin{array}{l} R_{eq} = \frac{56}{2} \\ \end{array} \right. \quad R_{eq} = 28 \, \Omega$$

$$\begin{array}{l} R1 = 56 \, \Omega \\ R2 = 1 \, K\Omega \end{array} \left\{ \begin{array}{l} R_{eq} = \frac{56.1000}{56 + 1000} \\ \end{array} \right. \quad R_{eq} = 53,03 \, \Omega$$

9.8.3 Associação mista

Resolução: 1º – Resolva as associações que estiverem mais a vista, ou seja, as de mais fácil identificação. Substituem-se os resultados da associação por “Req” e redesenha-se o circuito; depois volta-se a calcular como de início, até que se torne um valor de “Req”.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 32 – Associação mista

Exercícios

1 No circuito acima, se

$$R1 = 1 \text{ K}\Omega$$

$$R2 = 2,2 \text{ K}\Omega$$

$$R3 = 560 \text{ }\Omega$$

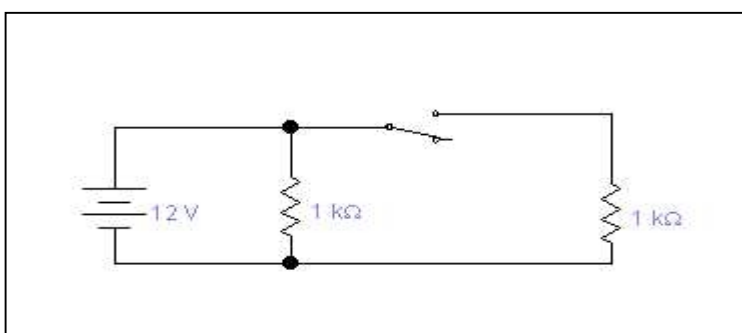
$$R4 = 330 \text{ }\Omega$$

$$R5 = 1 \text{ K}\Omega,$$

calcule o valor da calcule a resistência equivalente entre “A – B”.

2 Calcule as correntes no circuito abaixo:

- a) antes de ligar a chave
- b) depois de ligar a chave



Fonte: Ilustração do autor

Figura 33 – Circuito do exercício

9.9 POTÊNCIA ELÉTRICA EM RESISTORES

A potência é o trabalho realizado por unidade de tempo, como já visto.

É o produto da tensão pela corrente:

$$P = V \cdot I \longrightarrow \text{Unidade} = \text{Watt (W)}.$$

Em resistores: a tensão nos terminais de resistor é proporcional à corrente que passa por ele. A equação abaixo demonstra isso, onde V é a tensão, R é resistência e I a corrente:

$$V = R I$$

Manipulando a equação de potência elétrica, chega-se às seguintes equações:

$$P = R \cdot I^2 \quad \text{ou} \quad R = \frac{P}{I^2}$$

Exercícios

- 1 Calcule a potência e a resistência do filamento de uma lâmpada ligada em 220 V que consome 0,5 A.

$$P = V \cdot i$$

$$P = 220 \cdot 0,5$$

$$P = 110 \text{ W}$$

$$P = R \cdot i^2$$

$$110 = R \cdot (0,5)^2$$

$$\frac{110}{0,25} = R$$

$$R = 440 \, \Omega$$

- 2 Qual é a potência de uma lâmpada de $R = 564 \, \Omega$ ligada em 110 V?

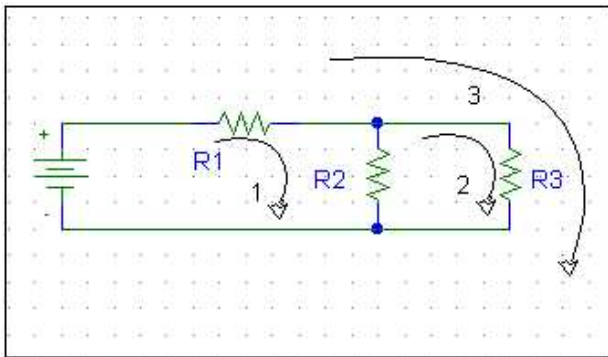
9.9 LEIS DE KIRCHOFF

As leis de Kirchoff podem ser utilizadas para a análise matemática de qualquer circuito.

9.9.1 L . T . K (Leis das tensões)

O somatório das tensões em um percurso fechado é zero.

Percurso fechado é um caminho do circuito onde não há derivação.



Fonte: Ilustração do autor

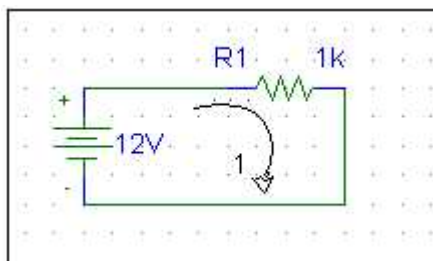
Figura 34 – Percursos fechados

Percursos fechados são 1 e 2, mas 3 não é percurso fechado.

O percurso fechado é também chamado de malha.

Exercícios

1 Escreva a equação de malha do circuito abaixo.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 35 – Malha ou percurso fechado

Observação:

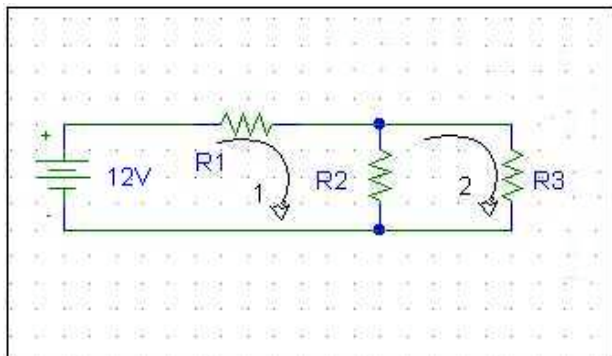
Em cada malha obtém-se uma corrente do circuito, chamada corrente de malha.

Resolução do exercício 1:

$$12\text{ V} - I_1 \cdot 1000\ \Omega = 0$$

$$I_1 = \frac{12}{1000} = 0,012\text{ A}$$

2 Escreva as equações de malha do circuito abaixo:



Fonte: Ilustração do autor

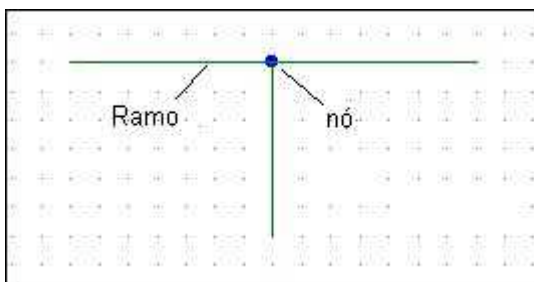
Figura 36 – Figura do exemplo

Malha 1 =

Malha 2 =

9.9.2 L . C . K ou Lei dos nós

Nó é uma interseção de três ou mais ramos de um circuito.



Fonte: Ilustração do autor

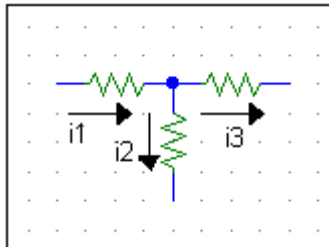
Figura 37 – Exemplo de um nó

L . C . K o somatório das correntes que chegam (+) e das que saem (–) é zero. Ou seja: se em um nó todas as correntes entram ou todas saem, pelo menos uma delas está com seu sentido invertido.

Exercícios

1 Na figura abaixo pode-se observar o que foi citado, onde a L. C. K é:

$$i_1 - i_2 - i_3 = 0$$



Fonte: Ilustração do autor

Figura 38 – L . C . K em um nó

2 Ainda considerando a Figura 38, se $i_1 = 1\text{A}$, $i_2 = 2^{\text{A}}$, calcule i_3 .

$$i_3 = i_1 - i_2$$

$$i_3 = 1 - 2 = -1\text{ A}$$

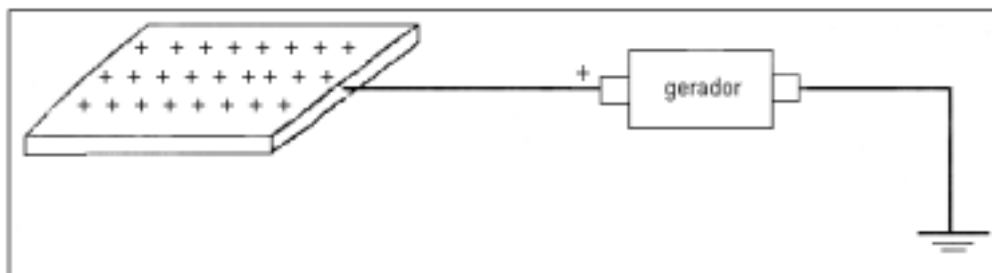
3 Da mesma forma, se $i_2 = 1\text{A}$, $i_3 = -5^{\text{A}}$, calcule i_1 .

10 CAPACITORES

Capacitores são os componentes onde a característica elétrica predominante é a capacidade de armazenar cargas elétricas.

10.1 CAPACIDADE ELÉTRICA

É definida como a quantia máxima de cargas elétricas que um corpo pode receber ou perder. Quanto maior for o corpo e quanto mais fácil eletrizá-lo, maior será sua capacidade elétrica.



Fonte: Ilustração do autor

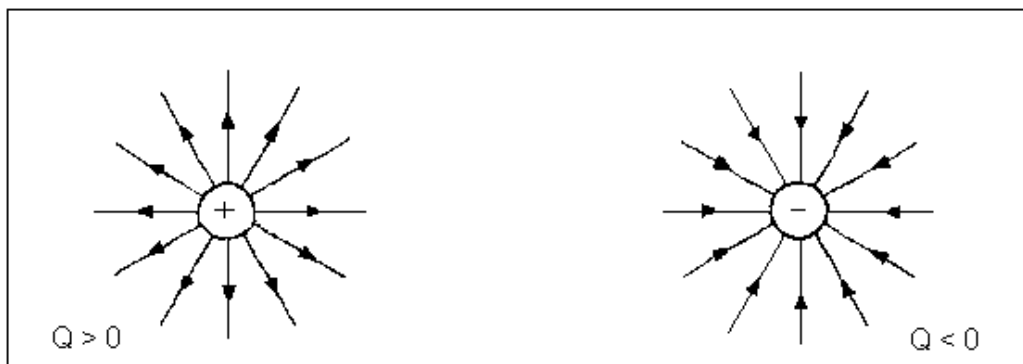
Figura 39 – Corpo carregado com um potencial positivo

Em dois corpos de materiais iguais e tamanhos diferentes, o corpo maior possui maior capacidade.

10.2 CAMPO ELÉTRICO

É a região de atuação das forças elétricas em corpos carregados eletricamente.

A intensidade do campo elétrico é medida pelo número de linhas de campo por unidade de área. Nas cargas positivas, as linhas de campo saem do interior para o exterior da carga, e nas negativas as linhas de campo entram na carga.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 40 – Campo elétrico em cargas positivas e negativas

Diz-se, por este motivo, que as cargas positivas são as de maior potencial.

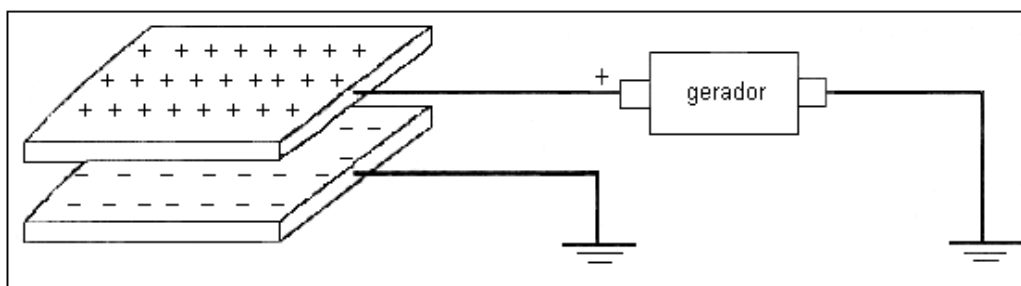
10.3 CAPACITOR

É o dispositivo que armazena energia no seu campo elétrico.

A unidade de capacitância é o Farad (F). ($V \times s$)

10.3.1 O componente capacitor

Um capacitor é constituído de duas placas condutoras paralelas e isoladas por um dielétrico e terminais de conexão para cada placa.



Fonte: Ilustração do autor

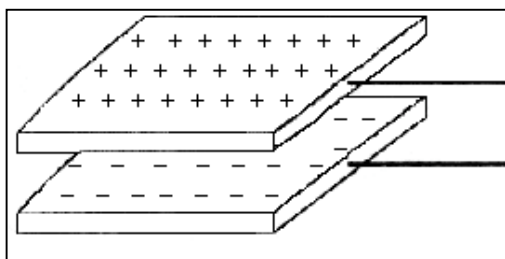
Figura 41 – Capacitor de placas paralelas

10.3.2 Funcionamento do capacitor

Ao submeter o capacitor a uma d.d.p., suas placas, que inicialmente estavam em equilíbrio eletrostático, adquirem cargas elétricas de sinais opostos, conforme a Figura 41.

Ao ligar a fonte de tensão nos terminais do capacitor, as placas, inicialmente neutras, começam a carregar-se. Há um movimento dos e^- da placa onde é ligado o terminal positivo (+) da fonte para a placa onde está ligado o negativo (-) da fonte. Desta forma, uma placa ficará com cargas positivas e a outra com cargas negativas.

Se a fonte for retirada, o capacitor continuará carregado, pois não há caminho para os e^- retornarem.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 42 – Capacitor de placas paralelas

Esse processo é chamado de carga de capacitor. O capacitor nessas condições está com o mesmo potencial da fonte que o carregou.

10.3.3 Capacitância em capacitor de placas paralelas

A mais simples construção de um capacitor é feita com duas placas paralelas, como o da Figura 42.

A capacitância de um capacitor deste tipo é dada pela equação abaixo:

$$C = \frac{A}{d} \cdot K$$

Onde:

A = área das placas

D = distância

K = é a constante dielétrica que é definida como o número de vezes que aumenta a capacitância de um capacitor sem dielétrico (vácuo ou ar). Adiciona-se um dielétrico (outro isolante).

K – Ar = 1

K – vácuo = 1

Como Farad (F) é uma unidade extremamente grande, usam-se os submúltiplos dessa unidade:

$$\mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$$

$$\text{nF} = 10^{-9} \text{ F}$$

$$\text{pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

Carga armazenada em um capacitor (Q).

$$Q = C \cdot V$$

Onde:

Q = carga

C = capacitância

V = tensão

Exercícios

- 1 Um capacitor de $10 \mu\text{F}$ tem uma ddp de 6 V em seus terminais. Qual é a carga armazenada?
- 2 Um capacitor de $4,7 \mu\text{F}$ tem uma ddp de 6 V em seus terminais. Qual é a carga armazenada?
- 3 Um capacitor de $10 \mu\text{F}$ possui uma carga armazenada de $33 \mu\text{C}$. Qual é a ddp em seus terminais?

10.4 TIPOS DE CAPACITORES

10.4.1 Quanto ao dielétrico

Dielétrico, como o próprio nome diz, é um isolante que faz a isolação entre as placas do capacitor.

O tipo dielétrico em geral é a principal característica construtiva de um capacitor. É o dielétrico quem define as características como tensão máxima de trabalho e tamanho físico de um capacitor.

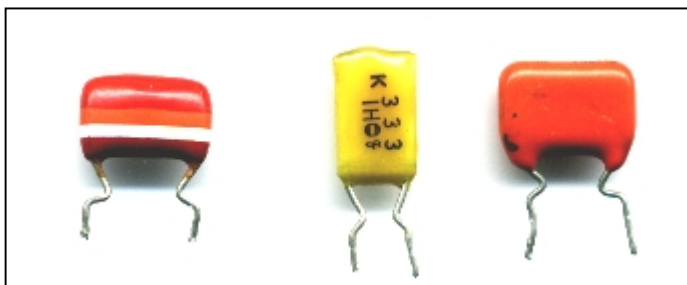
De cerâmica: com dielétrico de cerâmica, geralmente capacitores de pequena capacitância.



Fonte: Foto de componente real, feita pelo autor

Figura 43 – Capacitor de cerâmica

De poliéster: com dielétrico de poliéster, são de capacitâncias pequenas ou médias e para tensões médias ou elevadas.



Fonte: Foto de componente real, feita pelo autor.

Figura 44 – Capacitor de poliéster

A óleo: com dielétrico de papel embebido em óleo isolante, em geral capacitores para altas tensões.



Fonte: Foto de componente real, feita pelo autor.

Figura 45 – Capacitor a óleo

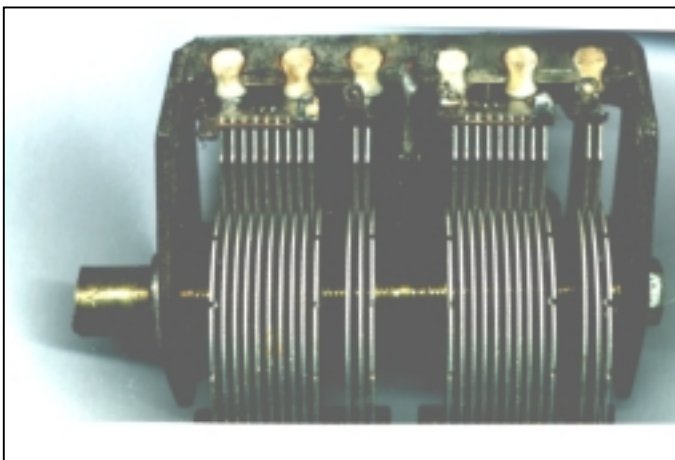
Capacitor eletrolítico: com dielétrico de papel embebido em solução dielétrica isolante (evolução do capacitor a óleo), são capacitores polarizados, ou seja, não podem ser ligados de forma invertida. Sempre há uma indicação da polaridade em seu corpo.



Fonte: Foto de componente real, feita pelo autor.

Figura 46 – Capacitor eletrolítico

Capacitor a ar: capacitor de sintonia de rádios antigos, são placas rígidas e móveis presas a um eixo, que se encaixam em outras fixas sem tocá-las, como na figura a seguir.

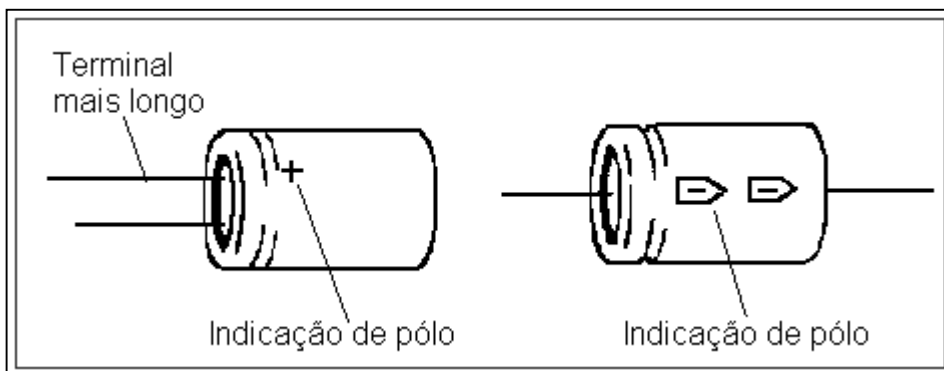


Fonte: Foto de componente real, feita pelo autor.

Figura 47 – Capacitor de placas paralelas móveis (ajustável tipo AM - FM)

10.4.2 Capacitores polarizados

Os capacitores eletrolíticos são polarizados, ou seja, não se pode aplicar potencial de sinal oposto ao indicado em cada terminal.

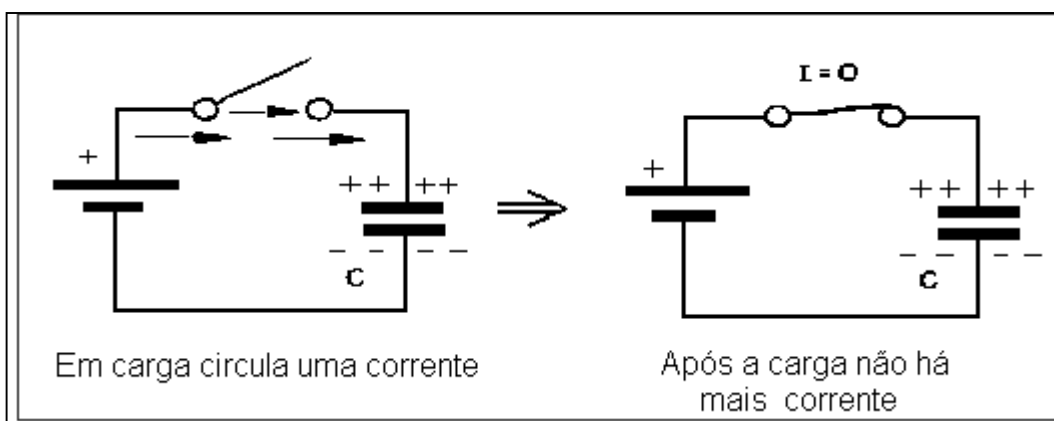


Fonte: MARTINS, J., 1996.

Figura 48 – Capacitor polarizado ou eletrolítico

10.5 CAPACITORES EM C.C.

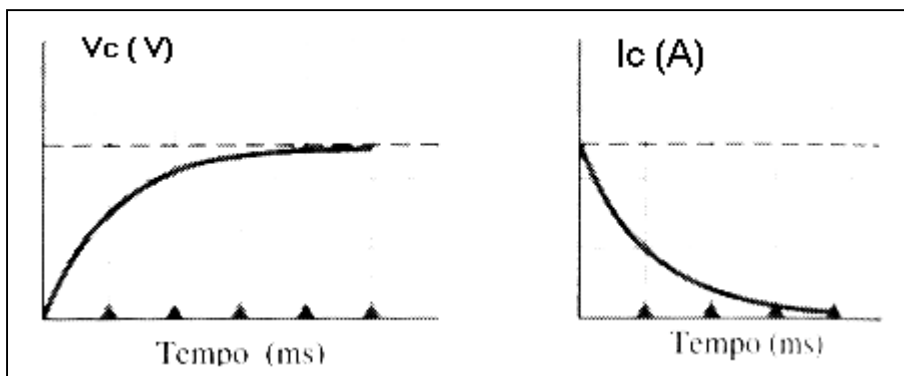
Após o período de carga do capacitor, ele se comporta como um circuito aberto para C.C.



Fonte: MARTINS, J., 1996.

Figura 49 – Processo de carga de um capacitor

Como descrito no processo de carga, há circulação de corrente no capacitor inicialmente, durante a carga e quando descarregando, como se mostra nos gráficos a seguir.

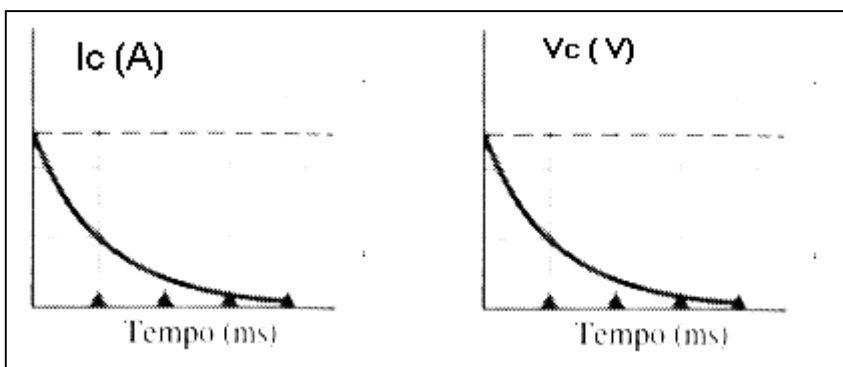


Fonte: Ilustração do autor

Figura 50 – Tensão e corrente X tempo durante a carga de um capacitor

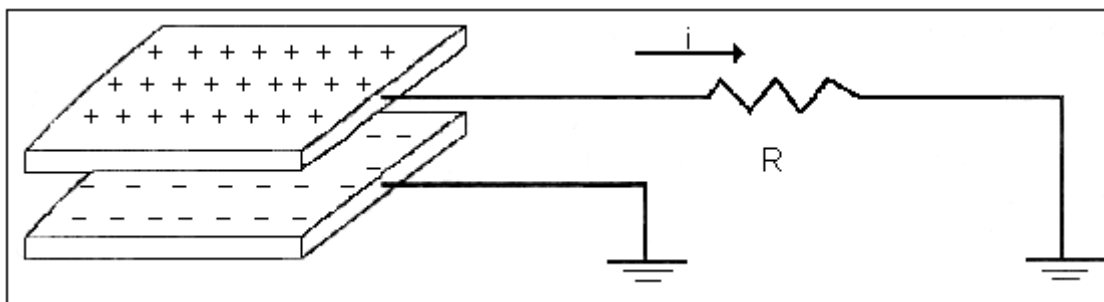
10.5.1 Descarga do capacitor

Ao ligar uma resistência aos terminais de um capacitor carregado, há circulação de corrente elétrica pelo mesmo até que o capacitor se descarregue completamente.



Fonte: Ilustração do autor

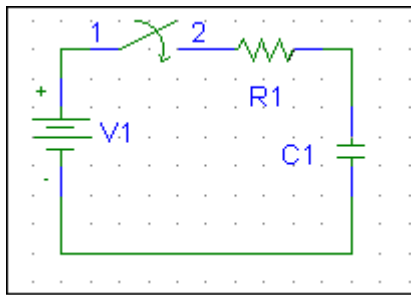
Figura 51 – Tensão e corrente x tempo durante a descarga de um capacitor



Fonte: Ilustração do autor

Figura 52 – Descarga de capacitores

Veja o circuito:



Fonte: Ilustração do autor

Figura 53 – Circuito para carga de um capacitor

No processo de carga: inicialmente, o capacitor comporta-se como um curto circuito (corrente elevada); após alguns instantes, essa corrente diminui até se tornar nula. Se

$$V_c = \text{zero}, I_c = \text{Máx}$$

$$V_c = \text{Máx} = V_{\text{fonte}} \quad I_c = \text{zero}$$

No processo de descarga, a tensão inicial é máx (= V_{fonte}) e a corrente também é máxima dada por: $V = R \cdot I$

Se:

$$V_{\text{máx}} - I_{\text{máx}}$$

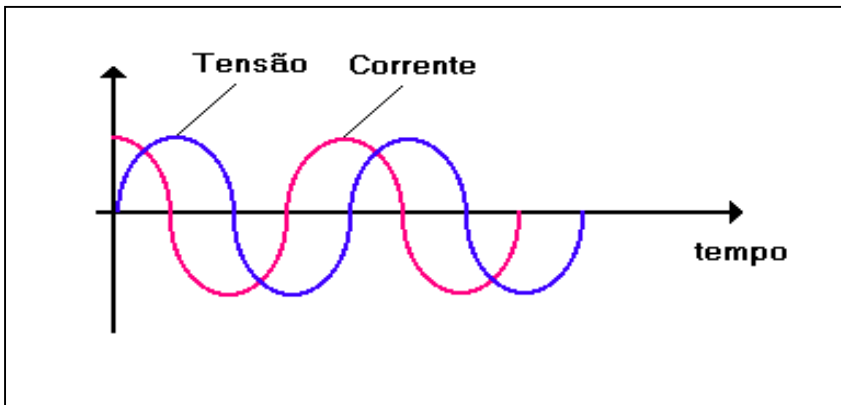
$$V = \text{zero} - I = \text{zero}$$

O capacitor se comporta como “fonte” não constante de tensão.

10.6 CAPACITORES EM C.A.

Em um capacitor, a corrente C.A. é adiantada no tempo.

“I” adiantada em relação “V”



Fonte: Ilustração do autor

Figura 54 – Tensão e corrente X tempo em uma fonte de C.A.

10.7 REATÂNCIA CAPACITIVA

É a oposição à passagem de corrente alternada provocada por um capacitor.

Tem unidade de resistência (Ω).

$$X_C = \frac{1}{2\pi f c}$$

Exercícios

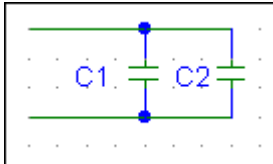
- 1 Calcule a reatância de um capacitor de 100 μF ligado na rede elétrica (60 Hz).

- 2 Calcule X_C de um capacitor de 10 nf em 1 KHz.

- 3 Calcule X_C de um capacitor de 47 pf em 995 MHz.

10.8 ASSOCIAÇÃO EM PARALELO DE CAPACITORES (//)

A associação em paralelo de capacitores quanto a ligações elétricas segue as mesmas regras da associação de resistores. Veja-se a figura abaixo.



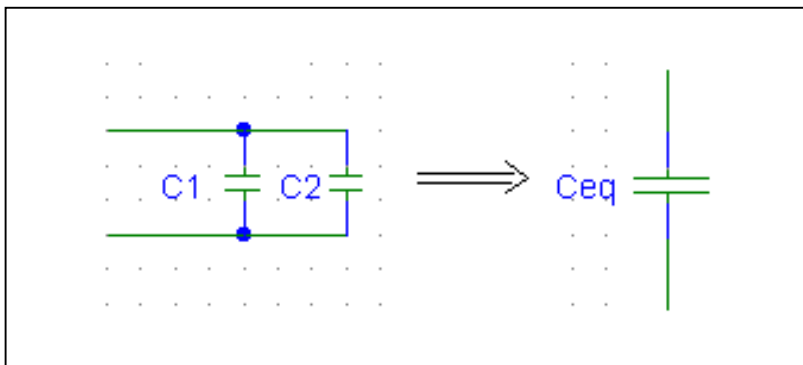
Fonte: Ilustração do autor

Figura 55 – Associação em paralelo de capacitores

10.8.1 Capacitância equivalente

A capacitância equivalente é igual à soma das capacitâncias de todos os capacitores em paralelo, pois, neste caso, as áreas das placas dos capacitores se somam.

$$C_{eq} = C1 + C2$$



Fonte: Ilustração do autor

Figura 56 – Ceq equivale à soma das placas

Exercício

Calcule a capacitância equivalente nas associações abaixo e desenhe os circuitos.

$$10 \text{ uF} + 22 \text{ uF}$$

$$100 \text{ nF} // 470 \text{ nF}$$

10.8.2 Relação de cargas nos capacitores de uma associação em paralelo

Relação tensão-carga na associação paralelo de capacitores.

$$Q = C \cdot V$$

Como: $V_1 = V_2$

$$Q_1 = C_1 \cdot V_1$$

$$Q_2 = C_2 \cdot V_2$$

$$Q_n = C_n \cdot V$$

$$Q_t = \sum Q_n \quad (n = \text{número do capacitor})$$

A carga total da associação é a soma das cargas de cada capacitor.

$$Q_{C1} = 10 \mu\text{F} \times 12$$

$$Q_{C1} = 120 \mu\text{C}$$

$$Q_{C2} = 240 \cdot 10^{-6}\text{C}$$

$$Q_t = 120 + 240$$

$$Q_t = 360 \mu\text{C}$$

10.9 ASSOCIAÇÃO SÉRIE DE CAPACITORES

10.9.1 Capacitância equivalente

Na associação série de capacitores, C_{eq} é sempre menor que o menor dos capacitores da associação.

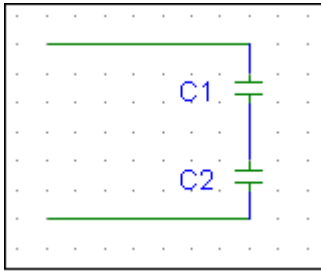
$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \quad \text{ou} \quad C_{eq} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

A diminuição se dá pois, quando se associam capacitores em série, há um aumento da distância que separa as placas positivas das negativas.

Como:

$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

ϵ_0 = constante permissividade elétrica no vácuo
e “**d**” sendo maior, **C_{eq}** será menor.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 57 – Associação série de capacitores

10.9.2 Tensão na associação série de capacitores

O cálculo da tensão em cada capacitor de uma associação em série é efetuado da seguinte forma:

Como:

$$Q = C \cdot V$$

A carga em cada capacitor é a mesma na associação série.

$$V_1 = \frac{Q}{C_1} \quad V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$Q = V_{\text{fonte}} \cdot C_{\text{eq}}$$

10.10 PRINCIPAIS USOS E TESTE DE CAPACITORES

Filtro de C.C.: um capacitor ligado em paralelo com uma fonte de tensão não-perfeita minimiza as oscilações dela. Ou seja, carrega-se quando a tensão sobe e fornece esta carga ao circuito que a fonte está alimentando.

Desacoplagem da componente de C.C. de um sinal elétrico: como para C.C. o capacitor é um circuito aberto, passa somente o sinal C.A.

10.11 TESTE DE CAPACITORES

Descrevem-se os procedimentos para o teste de capacitores com dois tipos de multímetro, analógico e digital.

Com o multímetro analógico: seguem-se alguns passos:

1º passo: curto-circuitar os terminais do capacitor.

2º passo: nas escalas de resistência, encostar as duas pontas de prova uma em cada terminal do capacitor e observar a deflexão do ponteiro (agulha).

A agulha tem que voltar a zero; se não voltar, o capacitor está com defeito (fuga interna).

—► Usar escalas maiores para capacitores menores.

Com o multímetro digital: em multímetros sem escala de capacitância utiliza-se o mesmo processo anterior, e em aparelhos com esta escala utiliza-se conforme o seu manual, não esquecendo sempre de descarregar o capacitor antes de fazer o teste (curto-circuitando seus terminais).

10.12 TENSÃO DE TRABALHO PARA CAPACITORES

Todo capacitor tem uma tensão de trabalho, que define a tensão máxima de isolamento do dielétrico. A tensão define a tensão que o dielétrico rompe o isolamento.

Observação:

Quando se tiver que substituir um capacitor, deve-se sempre usar um de tensão igual ou superior à do original.

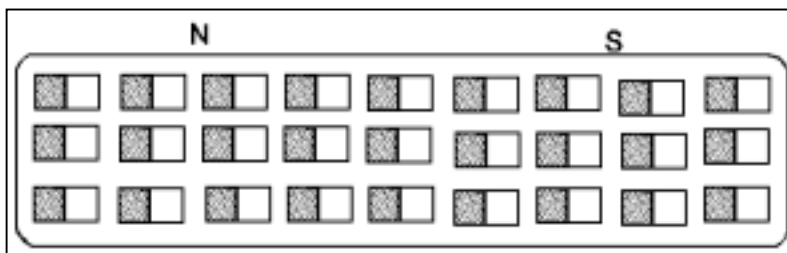
Em projeto, usa-se sempre capacitor com tensão de trabalho 40% superior que a tensão máxima onde o capacitor vai ser ligado.

11 MAGNETISMO E ELETROMAGNETISMO

Serão abordados neste capítulo o magnetismo e o eletromagnetismo.

Imãs naturais: encontrados na natureza (pedra, magnetita).

Imãs elementares: menor parte de um imã que mantém suas propriedades (pólos magnéticos). Todo imã é composto por inúmeros imãs elementares.



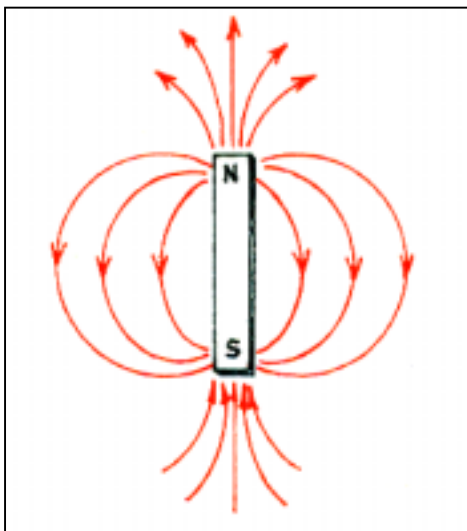
Fonte: Ilustração do autor

Figura 58 – Imãs elementares

Campo magnético: é a região onde atuam as forças magnéticas.

Linhas de campo: representam a atuação das forças magnéticas. A quantidade dessas linhas diz a intensidade do campo magnético (fluxo magnético).

As linhas de campo saem do polo “N” e entram no “S”, externamente ao imã, vão do “S” para o “N” internamente.



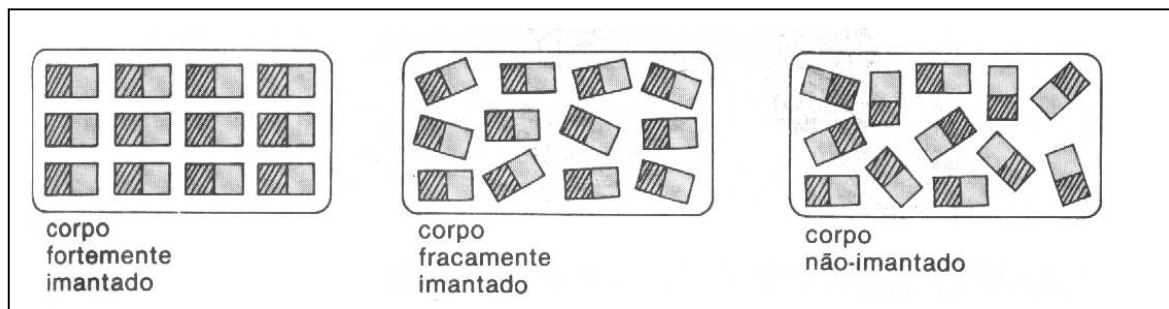
Fonte: MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B., 1998.

Figura 59 – Campo magnético em torno de um ímã permanente, formado por várias linhas de força.

11.1 IMÃS ARTIFICIAIS

Um material não magnetizado possui seus ímãs elementares desordenados.

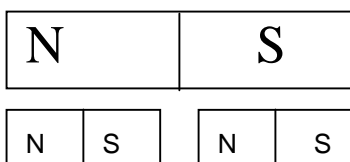
Certos materiais, ao serem submetidos a forças magnéticas, alinham seus ímãs elementares e, após a força externa ser retirada, os ímãs elementares não retornam às posições iniciais e permanecem orientados.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 60 – Material com ímãs elementares ordenados, imantados e desorientados não-imantados

Ao partir um ímã em vários pedaços, sempre surgirão novos ímãs com pólo N e S. Isso acontece até que se atinja o tamanho de um ímã elementar.

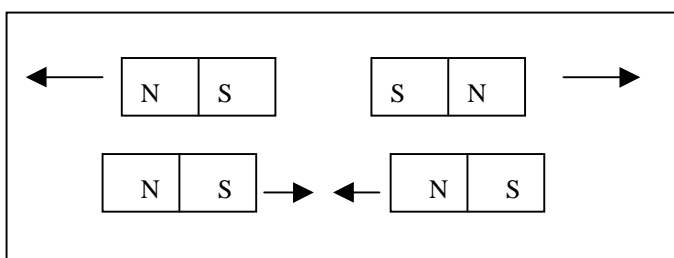


Fonte: Ilustração do autor

Figura 61 – Dois ímãs resultantes da divisão de um ímã maior

11.2 FORÇAS MAGNÉTICAS

Pólos de sinal idêntico repelem-se, e pólos de sinal opostos atraem-se.

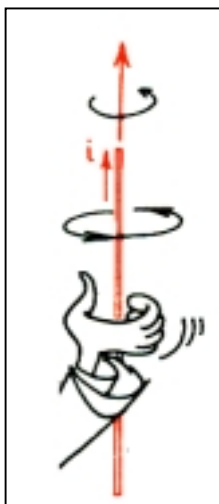


Fonte: Ilustração do autor

Figura 62 – Força entre ímãs

11.3 ELETROMAGNETISMO

A passagem de corrente elétrica por um condutor faz nele um campo magnético. O sentido do campo é dado pela regra da mão direita.



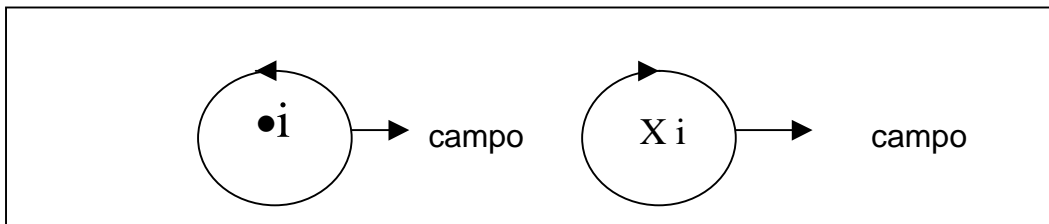
Fonte: MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B., 1998.

Figura 63 – Regra da mão direita

Com o polegar na direção da corrente, o movimento dos dedos para pegar os fios indica o sentido do campo.

“.” → indica corrente ou campo saindo do plano

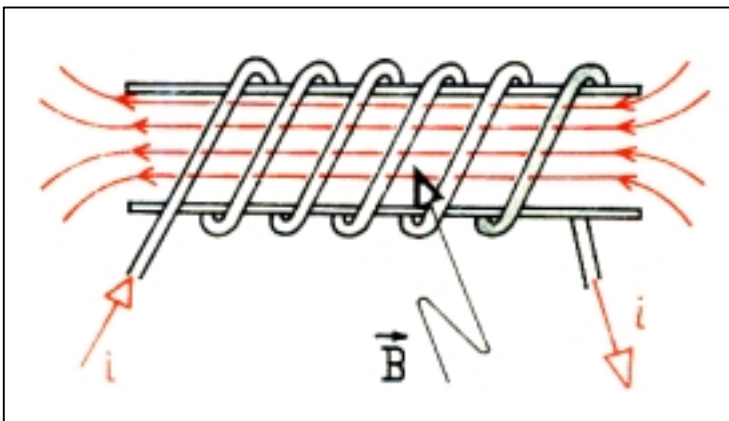
“x” → indica corrente ou campo entrando no plano.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 64 – Sentido do campo H, com corrente saindo do plano da folha, na da direita e na da esquerda entrando no plano.

Se o condutor for reto, o campo é giratório como na figura acima.; se estiver enrolado em uma bobina, o campo tem direção única, como na figura abaixo.



Fonte: MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B., 1998.

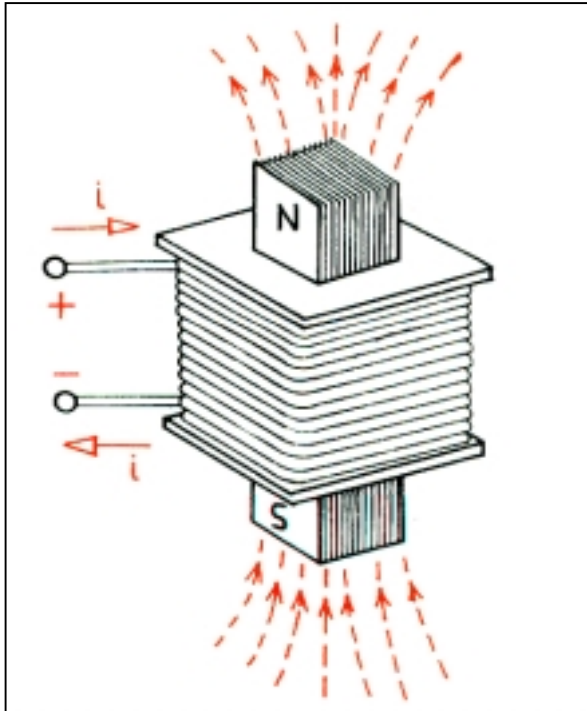
Figura 65 – Campo magnético em um bobinado

A intensidade do campo magnético ao redor de um condutor é diretamente proporcional à corrente que circula por ele. Ou seja: quanto maior for a corrente, maior será o campo gerado, até que se atinja o número máximo de linhas de campo que o núcleo suporte.

11.3.1 Pólos do eletroímã

Ao enrolar um condutor em forma de espiras constitui-se uma bobina, onde o campo magnético resultante é a soma do campo em cada condutor (desenho anterior).

Portanto, a intensidade campo magnética em uma bobina depende diretamente da corrente e do número de espiras.



Fonte: MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B., 1998.

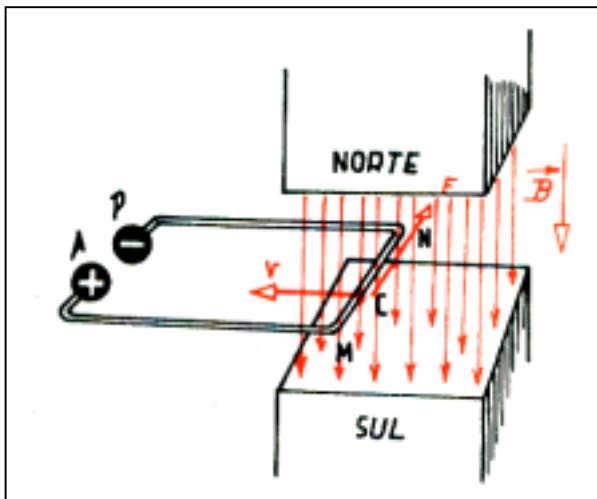
Figura 66 – Pólos em um eletroímã

12 INDUTORES

Indutância é a propriedade de armazenar energia pelo campo magnético. Apresentam-se, neste capítulo, as principais características, leis e propriedades dos indutores.

12.1 TENSÃO INDUZIDA

Assim como um condutor, um conjunto de condutores percorridos por uma corrente elétrica variável produz um campo magnético também variável. Quando um condutor é submetido a um campo magnético variável, ele é percorrido por uma corrente elétrica, que surge no condutor para neutralizar a variação do fluxo magnético ao seu redor (Lei de Lenz).



Fonte: MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B., 1998.

Figura 67 – Resultante da lei de Lenz

A corrente elétrica citada produz uma tensão proporcional a ela, chamada tensão induzida.

A intensidade da tensão induzida depende da intensidade do campo magnético e da sua variação.

12.2 AUTO-INDUÇÃO

Sabe-se que um condutor percorrido por corrente elétrica variável produz em sua volta um campo magnético que é também variável. Por outro lado, viu-se que qualquer condutor colocado em campo magnético variável será percorrido por uma corrente elétrica induzida se o circuito for fechado, ou terá em suas extremidades uma força eletromotriz induzida se o circuito estiver aberto.

Em consequência disso, o condutor percorrido por uma corrente variável fica sob ação do campo variável que ele cria e terá induzido em si mesmo uma corrente de indução. Esse fenômeno é o que se chama de auto-indução, ou *self-indução*.

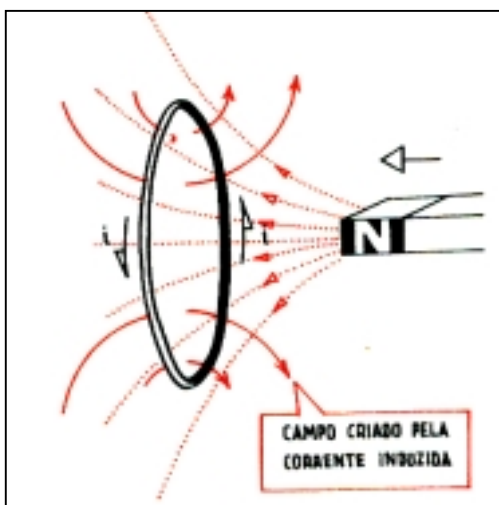
Portanto, diz-se que auto-indução é o fenômeno pelo qual um condutor produz corrente de indução em si mesmo, quando percorrido por uma corrente variável.

O fenômeno da auto-indução é observado com muito mais intensidade nas bobinas, porque, sendo grande o número de espiras, a tensão induzida também o será.

Em um enrolamento (bobina), cada espira induz nas espiras vizinhas uma tensão elétrica, ou seja: a aplicação de uma tensão elétrica em uma bobina provoca o aparecimento de um campo magnético variável que gera na própria bobina uma tensão induzida (auto-indução).

F.E.M. – força eletromotriz: é a tensão que aparece em um condutor quando submetido a um campo magnético variável.

F.C.E.M. – força contraeletromotriz: é a tensão contrainduzida.



Fonte: MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B., 1998.

Figura 68 – Tensão induzida

12.3 INDUTÂNCIA

Conforme já visto, o que caracteriza um corpo quanto a sua propriedade de ser atravessado pela corrente elétrica é a resistência.

Agora, diz-se que um condutor ou um enrolamento, quanto à sua auto-indução, é caracterizado por uma grandeza a que se chama de coeficiente de auto-indução, ou, simplesmente, indutância.

De fato, a torça eletromotriz de indução que aparece em cada enrolamento não é a mesma para todos, pois viu-se que a torça eletromotriz depende do número de espiras. Além disso, depende de outros fatores, como será indicado mais abaixo. Sendo assim, há que existir um meio de descobrir, entre enrolamentos, aquele que provoca em si mesmo a maior força eletromotriz de indução. Este meio é exatamente a indutância.

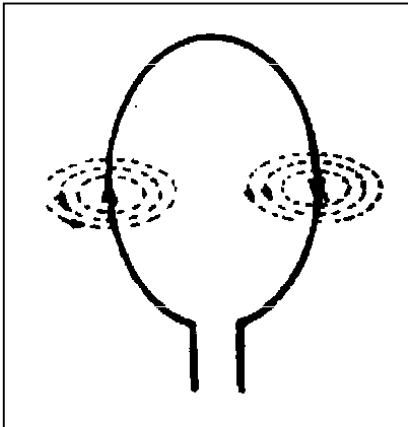
12.3.1 Fatores que influem na indutância

O número de espiras do enrolamento: realmente, quanto maior for o número de espiras da bobina, maior será a força eletromotriz induzida nela mesma e, portanto, maior sua indutância.

A forma do enrolamento: de fato, as linhas de força de uma espira podem atingir ou não a outra espira, dependendo, naturalmente, da forma do enrolamento.

O diâmetro das espiras: a influência do diâmetro das espiras é mostrada na Figura 69, a seguir. Imaginando-se que a corrente entra pela esquerda, ela provoca um campo magnético cujas linhas de força têm o sentido que se indicou pela ponta de seta. No ramo da direita, ou seja, por onde a corrente sai, o campo tem o sentido contrário ao da entrada; conseqüentemente, se o diâmetro for pequeno, os campos se subtrairão e a força eletromotriz induzida será menor, o que equivale a dizer que a indutância será menor.

Assim, a indutância depende do diâmetro da bobina e, quanto maior for o diâmetro, maior será a indutância.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 69 – Efeito do diâmetro na indutância

Da permeabilidade magnética do núcleo: como a permeabilidade tem a propriedade de juntar ou expandir as linhas de força do campo, resulta que a indutância também dependerá da permeabilidade, e, quanto maior for esta, maior será aquela.

Na prática, usam-se núcleos de elevada permeabilidade para conseguir grande indutância com poucas espiras.

12.4 INDUTORES

Pelo fato de se ter chamado de resistor o corpo cuja propriedade elétrica predominante é a resistência e de capacitor o corpo cuja propriedade predominante é a capacitância, também se chamará de indutor o corpo cuja propriedade elétrica principal é a indutância.

Deve-se ter em mente que não existe um corpo que tenha exclusivamente resistência, capacitância ou indutância, pois todo corpo possui as três propriedades. Mas ele será classificado de acordo com a propriedade predominante.

Uma bobina, por exemplo, apresenta resistência, que é aquela do fio de que é feita; indutância, decorrente dos fatores estudados anteriormente; e capacitância, resultante da diferença de potencial que existe entre as espiras.

12.4.1 Unidade de medida da indutância

Sendo grandeza elétrica, a indutância é medida em uma unidade própria, que tem o nome de Henry em homenagem ao físico inglês que tinha esse sobrenome.

O Henry é uma unidade grande; portanto, na prática usam-se, além dela, seus submúltiplos, que são:

- a) Milihenry, representado por mH e que vale a milésima parte de um Henry.
- b) Microhenry, cujo valor é a milionésima parte do Henry, isto é, um Henry dividido por um milhão, é representado por μH .

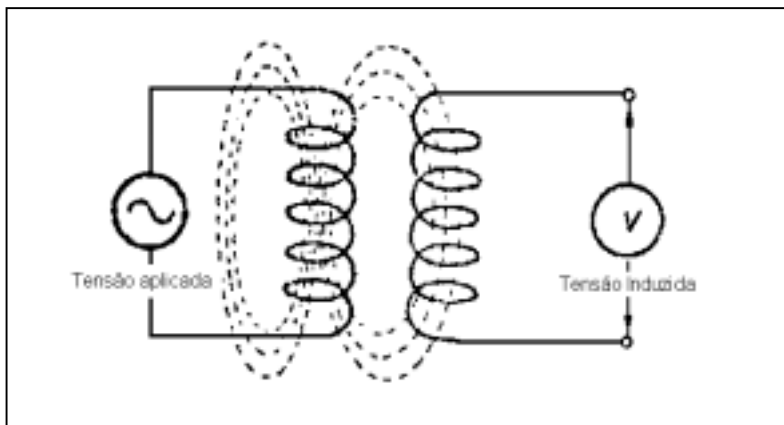
Observações:

- 1 A força eletromotriz induzida é chamada de força contraeletromotriz, porque seu sentido é tal que se opõe à força eletromotriz que a produziu. Note o aluno que é o mesmo que afirmar que a corrente induzida tem sentido contrário ao da corrente que a produziu.
- 2 Quando há indução mútua, acontece a transferência magnética de energia de um circuito para outro. O processo de transferir energia é chamado de acoplamento indutivo.

13 TRANSFORMADORES

Transformadores são dispositivos elétricos utilizados para elevar, rebaixar a tensão da rede elétrica ou isolar um equipamento dela. São geralmente formados por duas bobinas isoladas chamadas de primário e secundário. O princípio de funcionamento de um transformador é o acoplamento indutivo.

Acoplamento indutivo: ao aplicar-se uma tensão alternada na bobina de primário, a qual provocará o surgimento de campo magnético ao redor da bobina, como visto anteriormente, ao mesmo tempo as linhas de campo atravessam a bobina de secundário e aparecerá nela outra tensão, a de secundário.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 70 – Acoplamento indutivo

Núcleo: utiliza-se núcleo magnético para aumentar o fluxo magnético e, portanto, diminuir o tamanho físico da peça.

Relação de transformação(a): é a relação entre o número de espiras do secundário pelo número de espiras do primário.

$$a = \frac{N_2}{N_1}$$

Relação de tensão entre 1° e 2°.

$$a = \frac{V_2}{V_1}$$

Relação de corrente entre 1° e 2°.

$$a = \frac{I_1}{I_2}$$

Relação de potência entre 1° e 2°.

$$P_1 = P_2$$

13.1 TIPOS DE TRANSFORMADORES

Transformador isolador: possui tensão do 2° igual à tensão do 1° ($V_1 = V_2$). Serve para isolar equipamentos da rede elétrica.

Transformador rebaixador: tem a tensão do 2° menor que a do 1° ($V_2 < V_1$). Usado para alimentar, através da rede elétrica, aparelhos que trabalham com tensões baixas.

Transformador elevador: possui a tensão do 2° maior que a do 1° ($V_2 > V_1$). É utilizado, principalmente, em televisores e aparelhos que necessitam de tensão elevada (M. A. T.)

13.2 AUTOTRANSFORMADORES

Possuem a vantagem de apresentar maior potência (duas vezes) e a desvantagem de não ter a saída isolada da entrada.

A saída é retirada de uma derivação do enrolamento, se o transformador for rebaixador, ou tem-se a saída no enrolamento inteiro e a entrada em uma derivação, se for elevador.

Muito utilizado em estabilizadores de tensão, por serem mais compactos e baratos.

A relação de transformação é a mesma que a do transformador normal, sendo N_r o número total de espiras e N_z apenas o número de espiras que ficam até a derivação (saída).

Apresenta o dobro da potência que o transformador normal, pois ele aproveita a corrente induzida e auto-induzida.

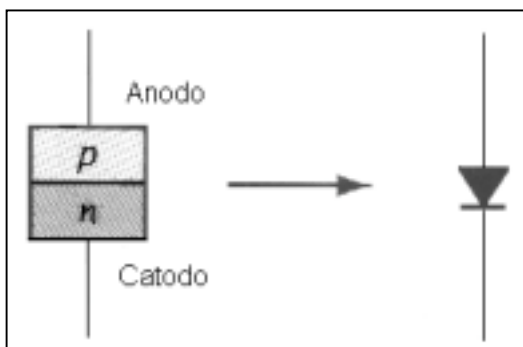
14 DIODO RETIFICADOR

O diodo semicondutor é um componente que apresenta a característica de se comportar como condutor ou isolante elétrico, dependendo da forma como a tensão é aplicada a seus terminais.

Uma das aplicações do diodo é na transformação de corrente alternada em corrente contínua utilizada, por exemplo, nos *eliminadores* de pilhas.

14.1 SIMBOLOGIA E ASPECTO REAL

O diodo semicondutor é representado nos esquemas pelo símbolo apresentado na Figura 71. O terminal da seta representa o material “P”, denominado de ANODO do diodo, enquanto o terminal da barra representa o material “N”, denominado de CATODO do diodo.



Fonte: Ilustração do autor

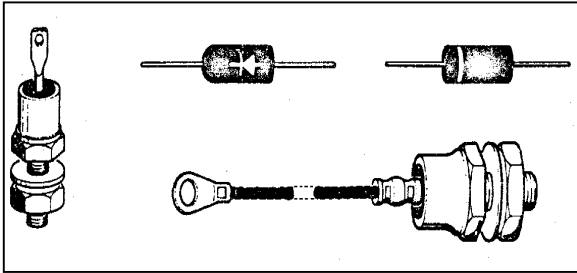
Figura 71 – Simbologia do diodo

A identificação dos terminais (anodo e catodo) no componente real pode aparecer de duas formas:

- símbolo impresso sobre o corpo do componente;
- uma barra impressa sobre o corpo do componente, que indica o catodo.

Observa-se que o comportamento de qualquer componente eletrônico fabricado com materiais semicondutores depende diretamente da sua temperatura de trabalho. Esta dependência é denominada de *dependência térmica*, constituindo-se em fator importante que deve ser considerado quando se projetam ou montam circuitos com estes componentes.

A Figura 72 apresenta alguns tipos construtivos de diodos utilizados em circuitos eletrônicos.



Fonte: Ilustração do autor

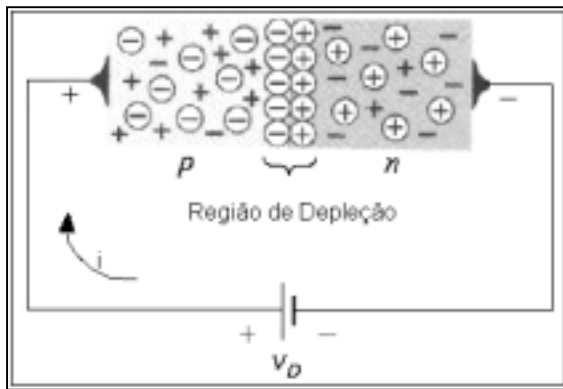
Figura 72 – Aspecto real

A tensão pode ser aplicada ao diodo de duas formas diferentes, denominadas tecnicamente de:

Polarização direta: a polarização do diodo é denominada polarização direta quando a tensão positiva é aplicada ao material “P” e a tensão negativa ao material “N”.

O pólo positivo da fonte repele as lacunas do material “P” em direção ao pólo negativo, enquanto os elétrons livres são repelidos pelo pólo negativo em direção ao pólo positivo.

Se a tensão da bateria externa for maior que a tensão da barreira de potencial, as forças de atração e repulsão provocadas pela bateria externa permitirão aos portadores adquirir velocidade suficiente para atravessar a região onde há ausência de portadores.

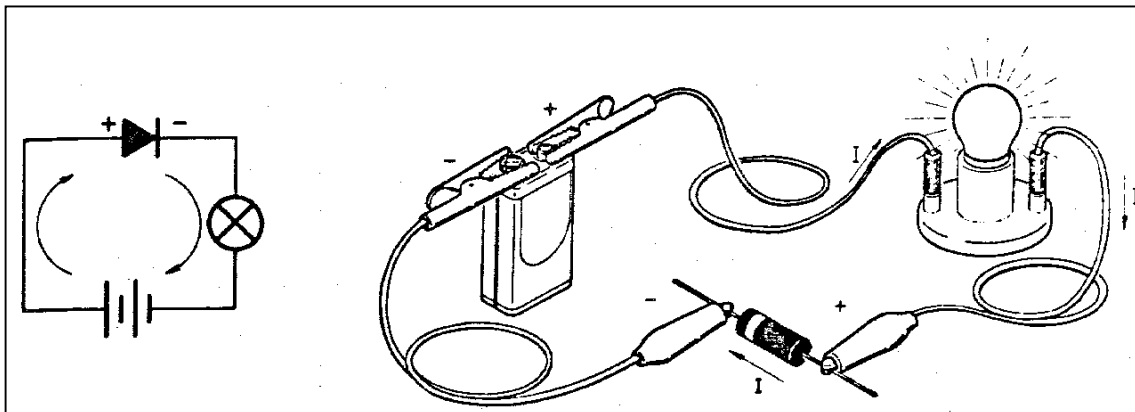


Fonte: BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L., 1999.

Figura 73 – Polarização direta

Observa-se que, nesta condição, existe um fluxo de portadores livres dentro do diodo, através da junção.

A polarização direta faz com que o diodo permita a circulação de corrente elétrica no circuito, através do movimento dos portadores livres.

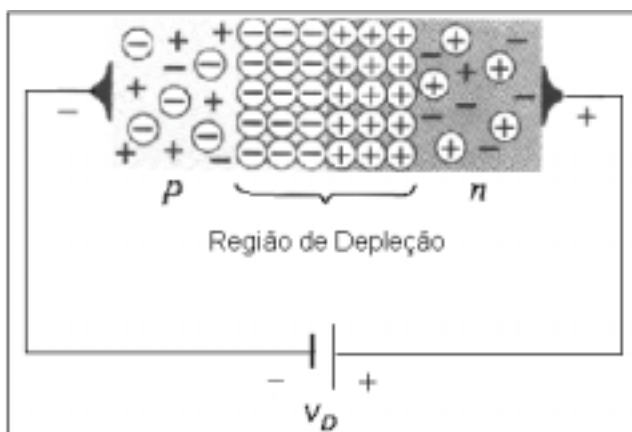


Fonte: SENAI-RS, 1996.

Figura 74 – Polarização direta acende a lâmpada

Quando o diodo está polarizado diretamente, conduzindo corrente elétrica, diz-se que *está em condução*. É importante observar que a seta do símbolo do diodo indica o sentido de circulação convencional da corrente.

Polarização inversa: a polarização inversa de um diodo consiste na aplicação de tensão positiva no material “N” e negativa no material “P” (Fig. 75). Nesta situação, os portadores livres de cada cristal são atraídos pelos potenciais da bateria para os extremos do diodo.



Fonte: BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L., 1999.

Figura 75 – Polarização inversa

Observa-se que a polarização inversa provoca um alargamento da região de depleção, porque os portadores são afastados da junção. Não existe fluxo de portadores através da junção quando o diodo é polarizado inversamente. Portanto, conclui-se que a polarização inversa faz com que o diodo impeça a circulação de corrente no circuito elétrico.

Quando o diodo está polarizado inversamente, impedindo a circulação de corrente, diz-se que ocorre *retificação de meia onda*.

14.2 RETIFICAÇÃO DE MEIA ONDA

Retificação é o nome dado ao processo de transformação de corrente alternada em corrente contínua. É utilizada nos equipamentos eletrônicos com a finalidade de permitir que equipamentos de corrente contínua sejam alimentados a partir da rede elétrica C.A.

A retificação de meia onda é um processo de transformação de C.A. em C.C., que permite o aproveitamento de apenas um semiciclo da tensão de entrada na carga. O circuito retificador de meia onda com diodo é empregado em equipamentos que não exigem uma tensão contínua pura, como, por exemplo, os carregadores de bateria.

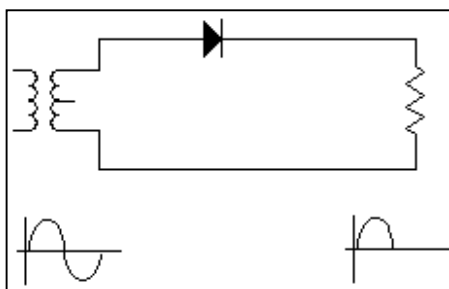
14.2.1 Funcionamento

Tomando como referência o circuito retificador de meia onda com diodo mostrado na Figura 76:

Primeiro semiciclo: durante o primeiro semiciclo, a tensão é positiva no anodo do diodo. Esta polaridade de tensão de entrada coloca o diodo em condução, permitindo a circulação de corrente. A tensão sobre a carga assume a mesma forma da tensão de entrada.

O valor do pico de tensão sobre a carga é menor que o valor do pico de tensão da entrada, porque o diodo, durante a condução, apresenta uma pequena queda de tensão V_D (0,7 para silício e 0,2 para germânio).

Segundo semiciclo: durante o segundo semiciclo, a tensão de entrada é negativa no anodo do diodo. Esta polaridade de tensão de entrada coloca o diodo em bloqueio, impedindo a circulação de corrente. Nesta condição, toda a tensão de entrada é aplicada sobre o diodo, que atua como interruptor aberto, e a tensão na carga é nula porque não há circulação de corrente.



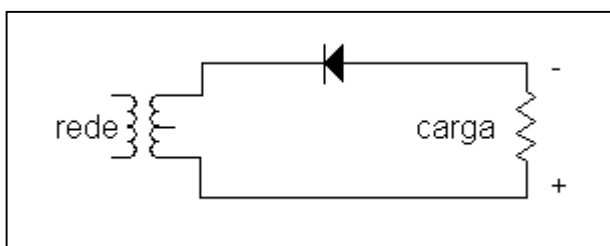
Fonte: Ilustração do autor

Figura 76 – Retificador de meia onda

Observa-se que, para cada ciclo completo da tensão de entrada, apenas um semiciclo passa para a carga, enquanto o outro semiciclo fica sobre o diodo.

A forma de tensão encontrada na carga é denominada tensão contínua pulsante. É contínua porque a corrente flui sempre no mesmo sentido, o que é uma característica da tensão contínua, e pulsante porque a circulação de corrente ocorre em forma de pulsos.

Dependendo da forma como o diodo está colocado no circuito retificador, pode-se obter uma tensão C.C. positiva ou negativa em relação ao terra.



Fonte: Ilustração do autor

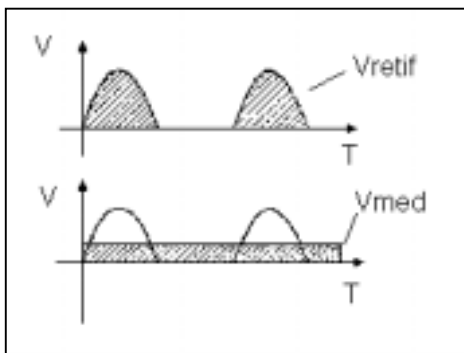
Figura 77 – Retificador negativo

14.2.2 Tensão de saída

A tensão de saída de uma retificação é contínua, embora seja pulsante. Para medi-la, utiliza-se um voltímetro de C.C. ou multímetro.

Ao conectar um voltímetro de C.C. na saída de uma retificação, a tensão indicada pelo instrumento será a média entre os períodos de existência e inexistência de tensão.

Na retificação de meia onda alternam-se os períodos de existência e inexistência de tensão sobre a carga (Fig. 78). Conseqüentemente, o valor de tensão C.C. média sobre a carga (medido com voltímetro C.C. na saída da retificação) está muito abaixo do valor efetivo C.A. aplicado à entrada do circuito.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 78 – Tensão de saída de um retificador de meia onda

A tensão média na saída é dada pela equação:

$$VCC = \frac{(V_p - V_D)}{\pi} \quad \text{onde}$$

VCC = tensão contínua sobre a carga

Vp = tensão de pico da C.A. aplicado ao circuito ($V_p = \frac{V_{pp}}{2}$)

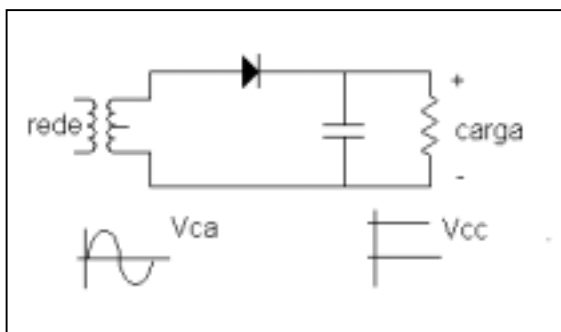
VD = queda de tensão típica do diodo (0,2 V ou 0,7 V).

14.2.3 Circuito conversor C.A. – C.C. utilizando R.M.O.

A maioria dos circuitos não funciona com tensão pulsante. Portanto, é necessária uma linearização da tensão de saída dos retificadores para que este circuito possa alimentar, por exemplo, um televisor ou um rádio. Isto é conseguido adicionando-se um capacitor em paralelo com a carga.

O capacitor faz o papel de um filtro, minimizando a variação no valor da tensão de saída.

O circuito abaixo mostra como o capacitor deve ser ligado.



Fonte: Ilustração do autor

Figura 79 – Conversor C.A. – C.C.

A tensão de saída dos retificadores com capacitor de filtro é igual à tensão de pico de saída do retificador sem capacitor.

$$V_{cc} = \sqrt{2} \cdot (V_{ca} - 0,7)$$

Onde:

V_{cc} = Tensão média de saída

V_{ca} = Tensão C.A. do secundário do transformados

Com o aumento da corrente de carga, a tensão média de saída tende a baixar, pois esta corrente força o capacitor a descarregar-se mais rapidamente, uma vez que o funcionamento deste circuito se baseia no carregamento do capacitor quando o diodo está conduzindo, e seu descarregamento no período em que o diodo está polarizado reversamente.

Exercícios

1 Com um transformador de 6 V tem-se uma saída de :

$$V_{cc} = 6 - 0,7 \cdot \sqrt{2}$$

$$V_{cc} = 7,49 \text{ V}$$

2 Calcule a tensão de saída de um retificador de meia onda com filtro que use um transformador com as características abaixo:

relação de transformação = 1/15

tensão de primário = 220 V

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No momento do termino do curso, o leitor-treinando deve ter em mente os conceitos de carga, tensão, corrente, resistência, capacitância, indutância e diodo retificador.

Não se pode esquecer de que o sucesso é a soma de competência e talento com ação. Imaginar ser um Bill Gates é maravilhoso; melhor é colocar o sonho em prática. Pode-se fracassar uma vez, pode-se cair duas vezes, porém, focando sempre seu objetivo em conquistas, consegue-se alcançar a vitória. Para ter sucesso é preciso ser um empreendedor.

Acredita-se que todos os conceitos e dicas tenham sido apresentados de maneira coerente e acessível ao leitor. Fica à disposição do leitor o e-mail abaixo, para qualquer dúvida em relação ao conteúdo e a qualquer assunto relacionado às várias áreas de Eletrônica, Automação, Geração de Energias Alternativas, e para um bate papo amigo.

e-mail – a9710638@alunog.ufsm.br

EXERCÍCIOS PARA REVISÃO

1. Quais são os principais tipos de eletrização?
2. Diga o que é:
 - Tensão
 - Corrente
 - Resistência
3. Qual é a relação entre corrente e tensão em um resistor?
4. Calcule a resistência equivalente nos circuitos abaixo:
5. Calcule as correntes antes e depois de ligar a chave nos circuito abaixo ($V = RI$).
6. Diferencie corrente contínua de corrente alternada.
7. Qual é a tensão que alimenta uma lâmpada de 150 W que está consumindo uma corrente de 1,18A? Qual é sua resistência?
8. Um cliente chega a sua oficina dizendo ter adquirido um sistema de iluminação com controle de intensidade luminosa por controle remoto, mas alega que, ao ligar, as lâmpadas ficam avermelhadas. Ele comprou lâmpadas de 220 V e sua rede é de 110 V. Sabendo-se que as lâmpadas eram de 100 W, qual é a potência consumida por uma dessas lâmpadas em 110 V? ($V = RI$; $P = VI$)

9. Qual é o significado da lei de OHM (mostre com ajuda do gráfico)?

10. Diga as cores dos resistores abaixo (se houver).

- $10\text{ K}\Omega$
- $33\ \Omega$
- $390\ \Omega$
- $18\ \Omega$
- $47\ \Omega$
- $220\text{ K}\Omega$
- $820\ \Omega$
- $20\ \Omega$

11. Desenhe o circuito e calcule as associações abaixo:

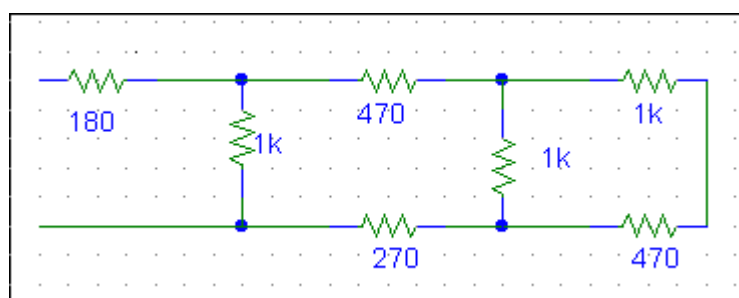
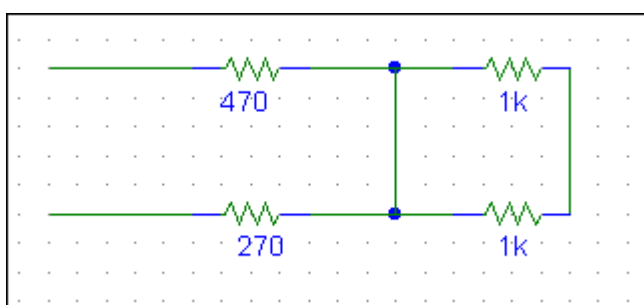
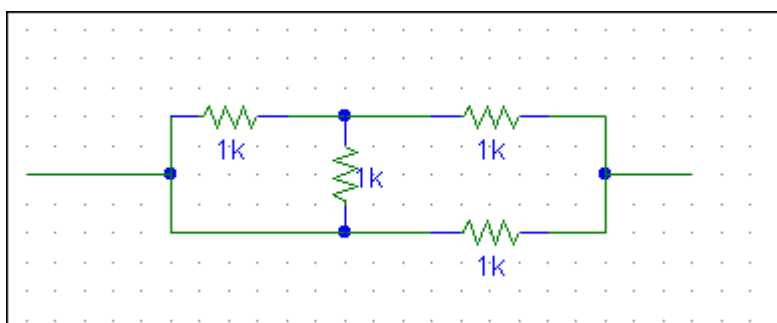
- $10\text{ K}\Omega + 22\text{ K}\Omega + 18\text{ K}\Omega$
- $100\ \Omega // 100\ \Omega // 220\ \Omega // 470\ \Omega$
- $1,2\text{ K}\Omega // 1,5\text{ K}\Omega // 5,6\text{ K}\Omega$
- $(150\ \Omega + 270\ \Omega) // 470\ \Omega$
- $(100\ \Omega // 180\ \Omega) + 330\ \Omega$

12. Expresse o significado das leis de Kirchhoff.

- das malhas:
- dos nós:

13. Qual é a corrente elétrica que circula por motor de elétrico 7,5 KW alimentado com uma tensão de 380 V?

14. Calcule as associações de resistores abaixo:



15. Expresse o sentido do campo elétrico de uma carga positiva e uma carga negativa.

+

--

16. Explique o comportamento de um capacitor (com gráficos $V \times T$ e $I \times T$):

- em corrente continua
- em corrente alternada

17. Calcule a reatância capacitiva de um capacitor de 47 μF em uma frequência de 60 Hz e em 2 KHz.

18. Diga o que é reatância capacitiva.

19. Calcule as associações de capacitores abaixo, e na indicada calcule a tensão em cada capacitor (**):

- 10 μF // 47 μF
- 100 nF + 220 nF + 270 nF
- 33 nF + 100 nF **

20. Descreva como é feito o teste de um capacitor.

21. Ao medir a resistência de um resistor leu-se 104 Ω . Quais são as cores desse resistor?

22. Quais são os resultados possíveis em um teste de indutor, e por quê?

- se bom:
- se ruim:

23. Quais dos resistores abaixo você colocaria no lugar de um de $1,2\text{ K}\Omega$ 5% 7W?
Explique:

- $1,2\text{ K}\Omega$ 5% 1 W
- $1\text{ K}\Omega$ 5% 7 W
- $1,2\text{ K}\Omega$ 5% 5 W
- $1,2\text{ K}\Omega$ 10% 7 W
- $1,2\text{ K}\Omega$ 5% 10 W

24. Quais dos capacitores abaixo se colocaria no lugar de 10 uF 16 V eletrolítico?
Explique:

- 10 uF 10 V
- 10 uF 6,3 V
- 10 uF 25 V
- $4,7\text{ uF}$ 16 V

25. Como se interpreta os resultados do teste de diodo?

- bom:
- ruim:

Desenhe um retificador de meia onda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BONJORNIO, R. F. S. A.; BONJORNIO, J. R.; BONJORNIO, V.; RAMOS, C. M. *Física 3*. São Paulo: FTD, 1992.

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. *Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos*. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

INSTITUTO UNIVERSAL BRASILEIRO. *Curso Profissionalizante de Eletrônica*.

MARTINS, J. *Eletrônica; Improvisações e truques*. São Paulo: Fitipaldi, 1996.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. *Física*. 7.ed. Belo Horizonte: Bernardo Álvares, 1978, v. 3.

_____. *Física*. São Paulo: Scipione, 1997.

SAVANT, C. J.; RODEN, M. S.; CARPENTER, G. L. *Electronic Design; Circuits and Systems*. 2.ed. Redwood City (California): Benjamin/Cummings, 1991.

SENAI-RS. *Noções de Eletricidade Básica*. Santa Maria, 1998.

_____. *Eletrônica Industrial*. Porto Alegre, 1996.