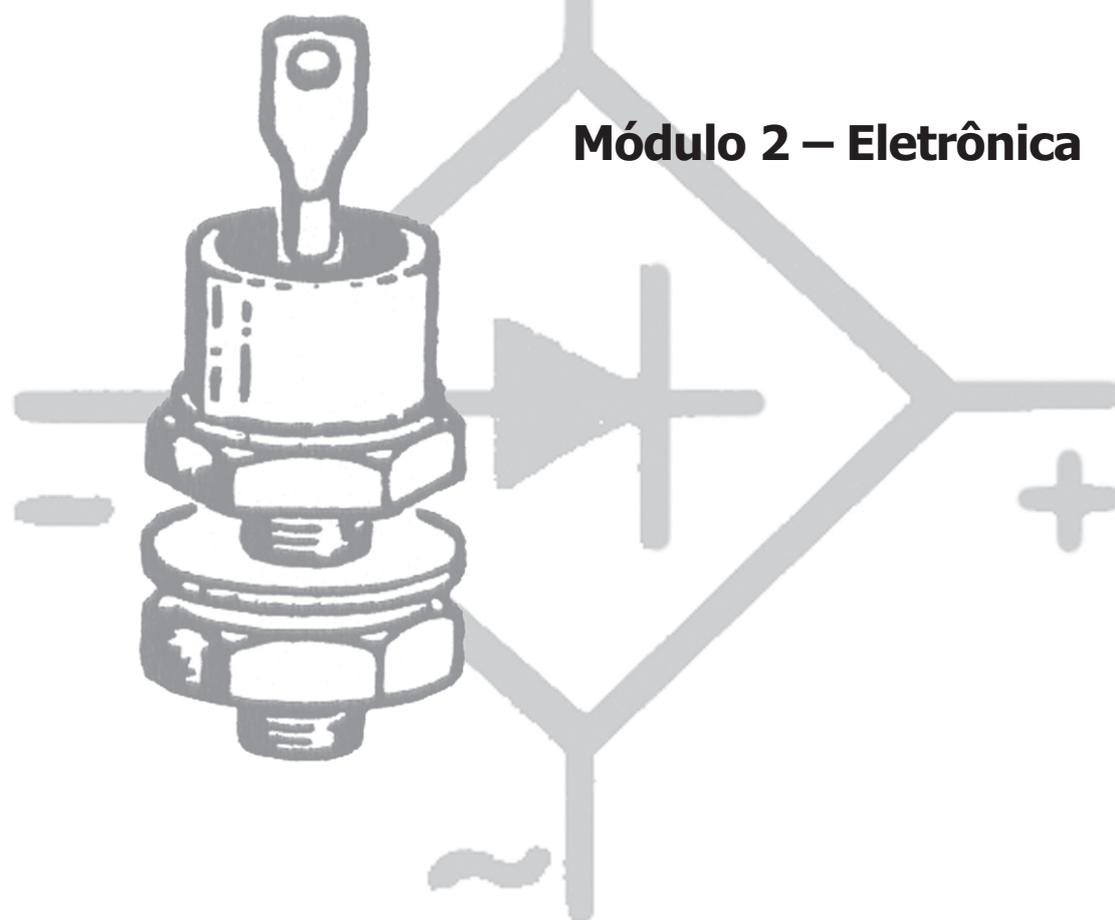


FIRJAN
CIRJ
SESI
SENAI
IEL

ELETRÔNICA BÁSICA

Módulo 2 – Eletrônica

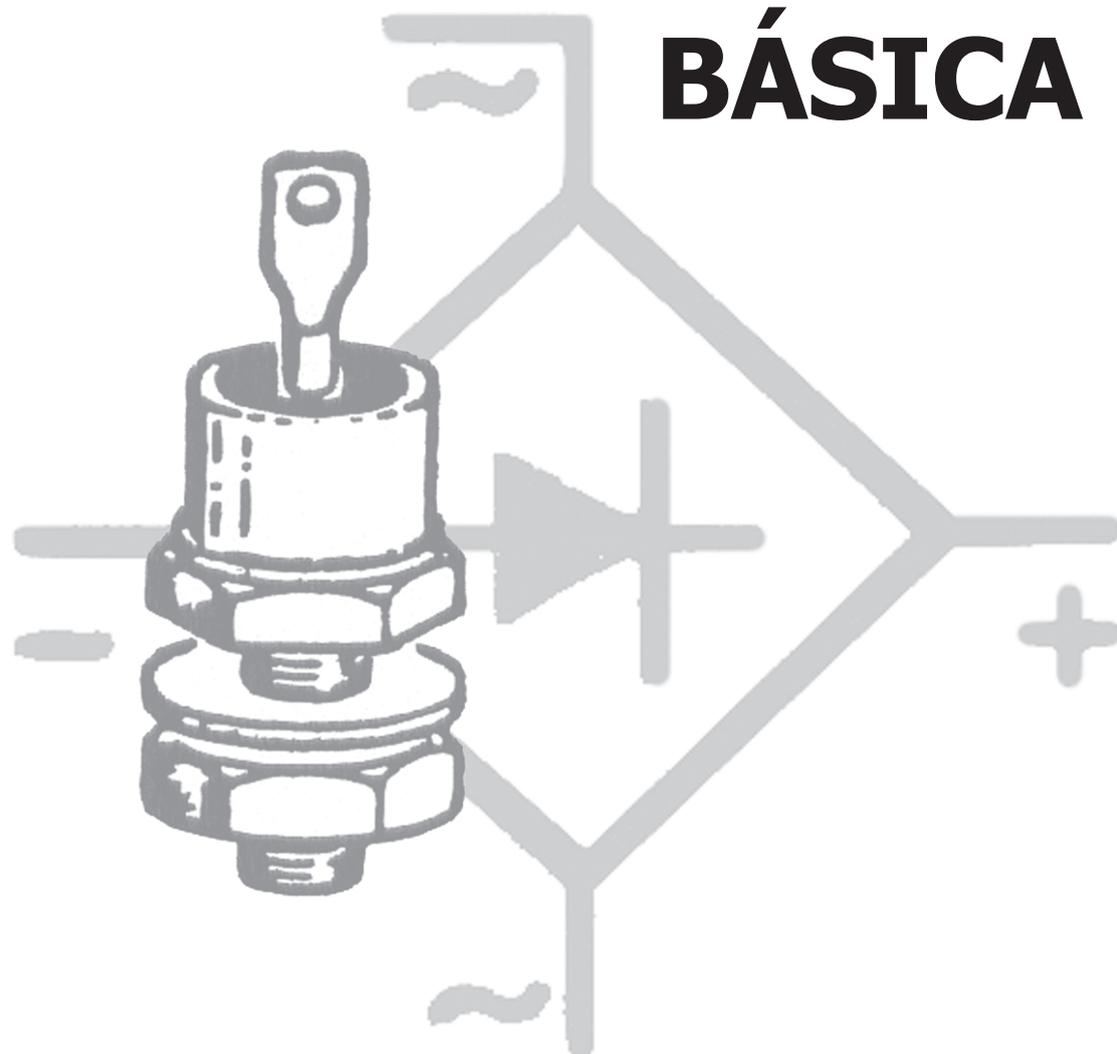


SENAI-RJ • Eletrônica



FIRJAN
CIRJ
SESI
SENAI
IEL

ELETRÔNICA BÁSICA



Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
Eduardo Eugenio Gouvêa Vieira
Presidente

Diretoria Corporativa Operacional
Augusto Cesar Franco de Alencar
Diretor

Diretoria Regional do SENAI-RJ
Fernando Sampaio Alves Guimarães
Diretor

Diretoria de Educação
Andréa Marinho de Souza Franco
Diretora

FIRJAN

CIRJ

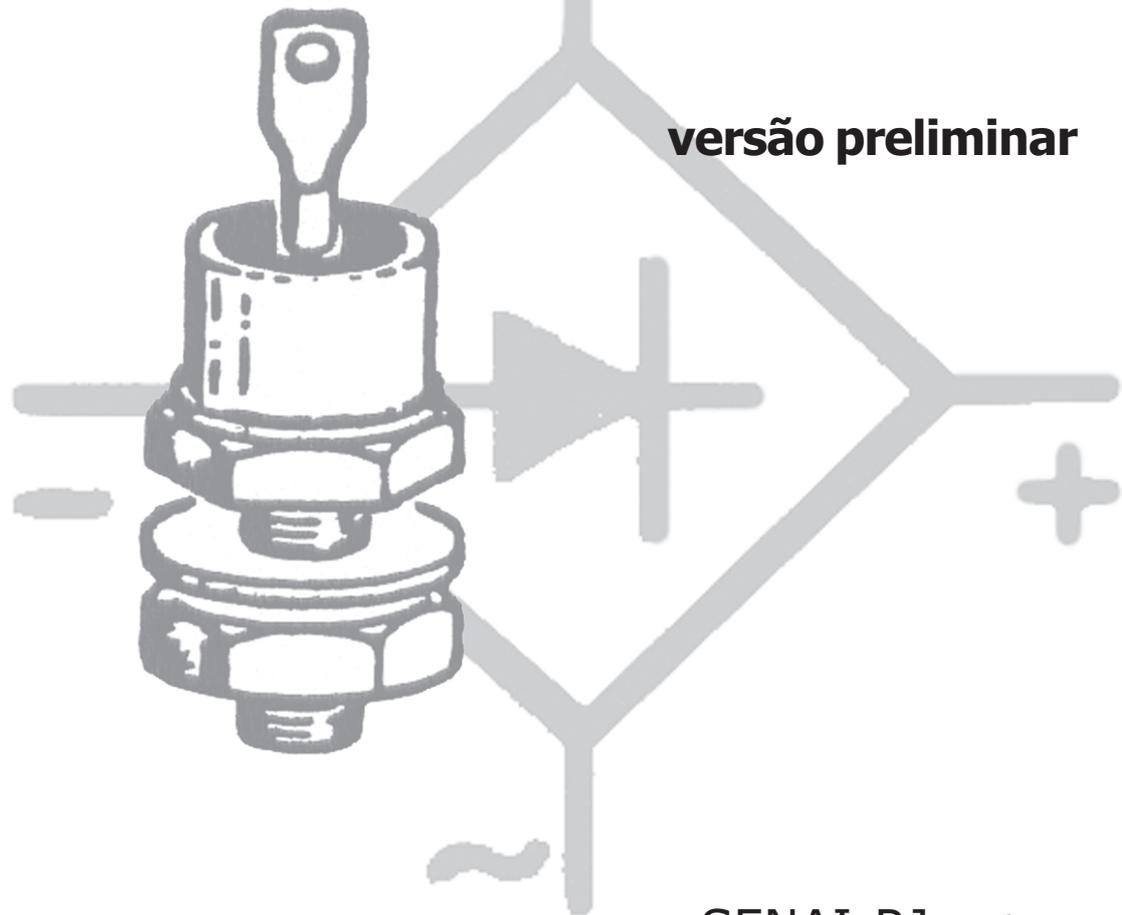
SESI

SENAI

IEL

ELETRÔNICA BÁSICA

versão preliminar



SENAI-RJ
Rio de Janeiro
2005



Eletrônica básica - Módulo 2
2005

SENAI-Rio de Janeiro
Diretoria de Educação

FICHA TÉCNICA

Gerência de Educação Profissional Senai-RJ

Gerência de Produto

Produção Editorial

Pesquisa de Conteúdo e Redação

Revisão Pedagógica e Gramatical

Revisão Editorial

Projeto Gráfico

Editoração

Luís Roberto Arruda

Paulo Cezar Aguiar

Vera Regina Costa Abreu

Bruno Souza Gomes/Jorge Moreira

Izabel Maria de Freitas Sodré

Izabel Maria de Freitas Sodré

Artae Design & Criação

40graus Design

SENAI-RJ

GEP – Gerência de Educação Profissional

Rua Mariz e Barros, 678 – Tijuca

20270-903 – Rio de Janeiro

Tel.: (21) 2587.1117

Fax: (21) 2254.2884

GEP@rj.senai.br

<http://www.rj.senai.br>

Prezado aluno,

Quando você resolveu fazer um curso em nossa instituição, talvez não soubesse que, desse momento em diante, estaria fazendo parte do maior sistema de educação profissional do país: o SENAI. Há mais de sessenta anos, estamos construindo uma história de educação voltada para o desenvolvimento tecnológico da indústria brasileira e da formação profissional de jovens e adultos.

Devido às mudanças ocorridas no modelo produtivo, o trabalhador não pode continuar com uma visão restrita dos postos de trabalho. Hoje, o mercado exigirá de você, além do domínio do conteúdo técnico de sua profissão, competências que lhe permitam decidir com autonomia, proatividade, a capacidade de análise, a solução de problemas, a avaliação de resultados e propostas de mudanças no processo do trabalho. Você deverá estar preparado para o exercício de papéis flexíveis e polivalentes, assim como para a cooperação e a interação, o trabalho em equipe e o comprometimento com os resultados.

Acresce, ainda, que a produção constante de novos conhecimentos e tecnologias exigirá de você a atualização contínua de seus conhecimentos profissionais, evidenciando a necessidade de uma formação consistente que lhe proporcione maior adaptabilidade e instrumentos essenciais à auto-aprendizagem.

Essa nova dinâmica do mercado de trabalho vem requerendo que os sistemas de educação se organizem de forma flexível e ágil, motivos esses que levaram o SENAI a criar uma estrutura educacional com o propósito de atender às novas necessidades da indústria, estabelecendo uma formação flexível e modularizada.

Essa formação tornará possível a você, aluno do sistema, voltar e dar continuidade à sua educação, criando seu próprio percurso. Além de toda a infra-estrutura necessária ao seu desenvolvimento, você poderá contar com o apoio técnico-pedagógico da equipe de educação dessa escola do SENAI para orientá-lo em seu trajeto.

Mais do que formar um profissional, estamos buscando formar cidadãos.

Seja bem-vindo!

Andréa Marinho de Souza Franco

Diretora de Educação

Sumário

1

APRESENTAÇÃO	17
UMA PALAVRA INICIAL	19
DIODO RETIFICADOR.....	23
Conceito	25
Características	25
Polarização direta	27
Diodo ideal	27
Polarização inversa	28
Diodo ideal com polarização inversa	28
Diodos reais	29
Curva característica de um diodo ideal	30
Modelos para diodos diretamente polarizados	31
Modelos para diodos inversamente polarizados	32

2

FONTES DE ALIMENTAÇÃO	33
Retificação de meia onda	35
Retificadores de meia onda com diodo semiconductor	35
Funcionamento	36
Retificação de meia onda com tensão de saída negativa	39
Exemplo prático de fonte de alimentação de meia onda	39
Emprego da retificação de meia onda	42
Retificação de onda completa com diodos semicondutores	43
Retificação de onda completa com derivação central	43
Funcionamento	44
Tensão e corrente CC de saída da retificação com derivação central	48
Retificação de onda completa em ponte	50
Funcionamento	50
Fontes de alimentação de onda completa	55
Pontes retificadoras comerciais	57
Filtro nas fontes de alimentação	59
Capacitor como elemento de filtragem	60
Tensão de ondulação	64
Fatores de influência na ondulação	65
Tensão na saída nos circuitos retificadores com filtro	67
Observação da ondulação com osciloscópio	70
O capacitor de filtro ideal	71
Pesquisa de defeitos em fontes com filtros	72
Regimes máximos do diodo em CA	74

	Tensão inversa do diodo	74
	Corrente média nos diodos	76
	Corrente de pico nos diodos	77
3	DIODO ZENER E LED	79
	Conceito de diodo zener	81
	Comportamento	81
	Características	84
	Diodo zener como regulador de tensão	88
	Funcionamento do circuito regulador	89
	Fonte de alimentação com tensão de saída regulada a diodo zener	91
	LED (Light emitter diodo – diodo emissor de luz) – conceito	94
	Simbologia	94
	Funcionamento	95
	Características dos LEDs	96
	Corrente direta nominal (IF)	96
	Tensão direta nominal (VF)	96
	Tensão inversa máxima (VR)	97
	Led bicolor	98
	Led infravermelho	98
	Teste do LED	99
	Utilização do LED em CC	100
	APLICAÇÃO	101

4	TRANSISTOR BIPOLAR	103
	Conceito	105
	Estrutura básica	105
	Tipos de transistores	106
	Terminais do transistor	107
	Simbologia	108
	Aspecto real dos transistores	109
	Testes de transistores	110
	Relembrando o teste de diodos	110
	Teste entre os terminais de um transistor	111
	Teste das junções base-coletor e base-emissor	112
	Defeitos comuns nos transistores	116
	Curto em uma junção	116
	Abertura de uma junção	116
	Curto ou fuga entre coletor e emissor	117
	Tensões nos terminais do transistor	117
	Junções do transistor e polaridade das tensões nos terminais	117
	Junção base-emissor	118
	Junção base-coletor	119
	Polarização simultânea das junções	120
	Princípio de funcionamento do transistor bipolar	123
	Corrente de base	124
	Corrente de coletor	127
	Corrente de emissor	128
	Controle da corrente de base sobre a corrente de coletor	129

Ganho de corrente do transistor	130
Configurações de ligação do transistor	131
Configuração de emissor comum	132
Configuração de base comum	132
Configuração de coletor comum	133
Curvas características de um transistor	133
Parâmetros elétricos nas curvas características do transistor	134

5

CIRCUITOS REGULADORES MONOLÍTICOS 135

Reguladores monolíticos	137
Emprego como carga eletrônica	138

6

TRANSISTOR DE EFEITO DE CAMPO 141

Conceito	143
Transistor de efeito de campo de junção J-FET	144
Terminais de ligação do J-FET	145
Aspecto físico	145
Simbologia	146
Polarização	146
Terminal fonte	147
Terminal dreno	147
Terminal porta	147
Princípio de funcionamento	149
Análise dos potenciais de porta no J-FET	151
Comportamento com porta desligado	151
Comportamento com potencial de porta nulo	154
Comportamento com tensão de porta positivo	156

Transistor de efeito de campo de porta isolado (MOS-FET).....	158
Conceito	158
Comparação estrutural J-FET/MOS-FET	158
MOS-FET tipo depleção	160
Estrutura física.....	160
Simbologia	160
Princípio de funcionamento (MOS-FET depleção – canal N).....	161
MOS-FET enriquecimento	163
Estrutura física.....	163
Simbologia	163
Princípio de funcionamento (MOS-FET enriquecimento N)	164
Proteção do porta	166
Amplificação com FET	166
Polarização do FET para amplificação	166
Polarização de dreno	167
Polarização do terminal porta.....	167
Princípio de funcionamento do estágio amplificador com FET	170
Características dos estágios amplificadores a FET	172
Comparação entre características de estágios amplificadores a transistor e a FET.....	173

7 TIRISTORES	175
Conceito	177
Curva característica V-I do SCR	180
Operação em CA (ou AC, nome inglês)	180
Controle de potência com TRIAC.....	183
Curva característica do TRIAC	184

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	187
---------------------------------	-----



Apresentação

A dinâmica social dos tempos de globalização exige dos profissionais atualização constante. Mesmo as áreas tecnológicas de ponta ficam obsoletas em ciclos cada vez mais curtos, trazendo desafios renovados a cada dia, e tendo como consequência para a educação a necessidade de encontrar novas e rápidas respostas.

Nesse cenário, impõe-se a educação continuada, exigindo que os profissionais busquem atualização constante durante toda a sua vida – e os docentes e alunos do SENAI/RJ incluem-se nessas novas demandas sociais.

É preciso, pois, promover, tanto para os docentes como para os alunos da educação profissional, as condições que propiciem o desenvolvimento de novas formas de ensinar e aprender, favorecendo o trabalho de equipe, a pesquisa, a iniciativa e a criatividade, entre outros aspectos, ampliando suas possibilidades de atuar com autonomia, de forma competente.

Este material apresenta conceitos essenciais da teoria eletrônica básica, possibilitando a aquisição de conhecimentos fundamentais para o bom desempenho do profissional desta área.

Mas é importante que você utilize outras fontes de consulta, e, principalmente, leia com atenção os folhetos, catálogos ou manuais técnicos do fabricante que especificam as características de cada componente ou equipamento eletrônico.

Assim você estará sempre atento às mudanças e avanços tecnológicos que possam vir a ocorrer nos campos da Eletrônica.

Esperamos que os conteúdos aqui abordados sejam úteis ao seu aprendizado e atualização profissional.



Uma palavra inicial

Meio ambiente...

Saúde e segurança no trabalho...

O que é que nós temos a ver com isso?

Antes de iniciarmos o estudo deste material, há dois pontos que merecem destaque : a relação entre o processo produtivo e o meio ambiente, e a questão da saúde e segurança no trabalho.

As indústrias e os negócios são a base da economia moderna. Não só produzem os bens e serviços necessários, como dão acesso a emprego e renda. Mas para atender a essas necessidades, precisam usar recursos e matérias-primas. Os impactos no meio ambiente muito freqüentemente decorrem do tipo de indústria existente no local, do que ela produz e, principalmente, de *como* produz.

É preciso entender que todas as atividades humanas transformam o ambiente. Estamos sempre retirando materiais da natureza, transformando-os e depois jogando o que “sobra” de volta ao ambiente natural. Ao retirar do meio ambiente os materiais necessários para produzir bens, altera-se o equilíbrio dos ecossistemas e arrisca-se ao esgotamento de diversos recursos naturais que não são renováveis ou, quando o são, têm sua renovação prejudicada pela velocidade da extração, superior à capacidade da natureza para se recompor. É necessário fazer planos de curto e longo prazo, para diminuir os impactos que o processo produtivo causa na natureza. Além disso, as indústrias precisam se preocupar com a recomposição da paisagem e ter em mente a saúde dos seus trabalhadores e da população que vive ao seu redor.

Com o crescimento da industrialização e a sua concentração em determinadas áreas, o problema da poluição aumentou e se intensificou. Em relação ao ar e à água, a questão é bastante complexa, pois as emissões poluentes se espalham de um ponto fixo para uma grande região, dependendo dos ventos, do curso da água e das demais condições ambientais, tornando difícil localizar, com precisão, a origem do problema. No entanto, é importante repetir que, ao depositarem os resíduos no solo, ao lançarem efluentes sem tratamento em rios, lagoas e demais corpos hídricos, as indústrias causam danos ao meio ambiente.

O uso indiscriminado dos recursos naturais e a contínua acumulação de lixo mostram a falha básica de nosso sistema produtivo: ele opera em linha reta. Extraem-se as matérias-primas através de



processos de produção desperdiçadores e que geram subprodutos tóxicos. Fabricam-se produtos de utilidade limitada que, finalmente, viram lixo, o qual se acumula nos aterros. Produzir, consumir e dispensar bens desta forma, obviamente, não é sustentável.

Enquanto os resíduos naturais (que não podem, propriamente, ser chamados de “lixo”) são absorvidos e reaproveitados pela natureza, a maioria dos resíduos deixados pelas indústrias não tem aproveitamento para qualquer espécie de organismo vivo e, para alguns, pode até ser fatal. O meio ambiente pode absorver resíduos, redistribuí-los e transformá-los. Mas, da mesma forma que a Terra possui uma capacidade limitada de produzir recursos renováveis, sua capacidade de receber resíduos também é restrita, e a de receber resíduos tóxicos praticamente não existe.

Ganha força, atualmente, a idéia de que as empresas devem ter procedimentos éticos que considerem a preservação do ambiente como uma parte de sua missão. Isto quer dizer que se devem adotar práticas que incluam tal preocupação, introduzindo processos que reduzam o uso de matérias-primas e energia, diminuam os resíduos e impeçam a poluição.

Cada indústria tem suas próprias características. Também se sabe que a conservação de recursos é importante. Deve haver crescente preocupação com a qualidade, durabilidade, possibilidade de conserto e vida útil dos produtos.

As empresas precisam não só continuar reduzindo a poluição, como também buscar novas formas de economizar energia, melhorar os efluentes, reduzir a poluição, o lixo, o uso de matérias-primas. Reciclar e conservar energia são atitudes essenciais no mundo contemporâneo.

É difícil ter uma visão única que seja útil para todas as empresas. Cada uma enfrenta desafios diferentes e pode beneficiar-se de sua própria visão de futuro. Ao olhar para o futuro, nós (o público, as empresas, as cidades e as nações) podemos decidir quais alternativas são mais desejáveis e trabalhar com elas.

Entretanto, é verdade que tanto os indivíduos quanto as instituições só mudarão as suas práticas quando acreditarem que seu novo comportamento lhes trará benefícios – sejam estes financeiros, para sua reputação ou para sua segurança.

A mudança nos hábitos não é uma coisa que possa ser imposta. Dever ser uma escolha de pessoas bem-informadas a favor de bens e serviços sustentáveis. A tarefa é criar condições que melhorem a capacidade de as pessoas escolherem, usarem e disporem de bens e serviços de forma sustentável.

Além dos impactos causados na natureza, diversos são os malefícios à saúde humana provocados pela poluição do ar, dos rios e mares, assim como são inerentes aos processos produtivos alguns riscos à saúde e segurança do trabalhador. Atualmente, acidente do trabalho é uma questão que preocupa os empregadores, empregados e governantes, e as conseqüências acabam afetando a todos.

De um lado, é necessário que os trabalhadores adotem um comportamento seguro no trabalho, usando os equipamentos de proteção individual e coletiva; de outro, cabe aos empregadores prover a empresa com esses equipamentos, orientar quanto ao seu uso, fiscalizar as condições da cadeia produtiva e a adequação dos equipamentos de proteção.



A redução do número de acidentes só será possível à medida que cada um – trabalhador, patrão e governo – assuma, em todas as situações, atitudes preventivas, capazes de resguardar a segurança de todos.

Deve-se considerar, também, que cada indústria possui um sistema produtivo próprio, e, portanto, é necessário analisá-lo em sua especificidade, para determinar seu impacto sobre o meio ambiente, sobre a saúde e os riscos que o sistema oferece à segurança dos trabalhadores, propondo alternativas que possam levar a melhores condições de vida para todos.

Da conscientização, partimos para a ação: cresce, cada vez mais, o número de países, empresas e indivíduos que, já estando conscientizados acerca dessas questões, vêm desenvolvendo ações que contribuem para proteger o meio ambiente e cuidar da nossa saúde. Mas isso ainda não é suficiente... faz-se preciso ampliar tais ações, e a educação é um valioso recurso que pode e deve ser usado em tal direção. Assim, iniciamos este material conversando com você sobre o meio ambiente, saúde e segurança no trabalho, lembrando que, no seu exercício profissional diário, você deve agir de forma harmoniosa com o ambiente, zelando também pela segurança e saúde de todos no trabalho.

Tente responder à pergunta que inicia este texto: meio ambiente, saúde e segurança no trabalho – o que é que **eu** tenho a ver com isso? Depois, é partir para a ação. Cada um de nós é responsável. Vamos fazer a nossa parte?

Diodo retificador

Nesta seção...

- Conceito ◀
- Características ◀
- Polarização direta ◀
- Diodo ideal ◀
- Polarização inversa ◀
- Diodo ideal com polarização inversa ◀
- Diodos reais ◀
- Curva característica de um diodo real ◀
- Modelos para diodos diretamente polarizados ◀
- Modelo para diodos inversamente polarizados ◀

1

Conceito

Diodo é um componente eletrônico que permite a passagem da corrente em um só sentido.

Usam-se diodos semicondutores em quase todos os equipamentos eletrônicos encontrados em residências, escritórios e indústrias. Um dos principais usos dos diodos é a transformação da corrente alternada em corrente contínua.

Os diodos são representados pelo símbolo da figura 1a e apresentam-se sob várias formas, tais como as mostradas na figura 1b.

Características



Fig. 1a: símbolo do diodo

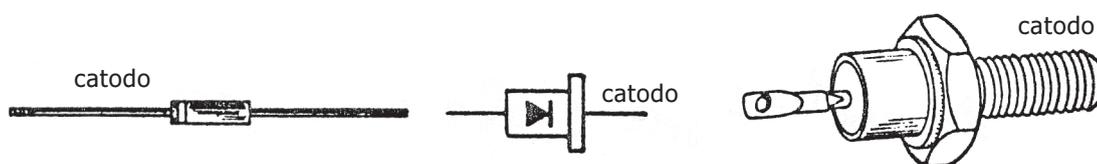


Fig. 1b: apresentações típicas de diodos

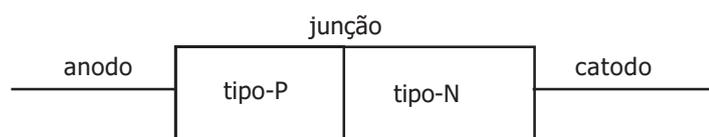


Fig. 1c: diodo de junção PN

Os materiais semicondutores empregados na industrialização de diodos são o germânio e o silício. A maioria dos diodos é feita de silício.

O diagrama esquemático da figura 1c mostra que o diodo se compõe de duas partes separadas por uma *junção*, também chamada *barreira*. As duas partes são composta de:

- 1- silício ou germânio tipo P.
- 2- silício ou germânio tipo N.

O silício usado para fazer diodos está sob a forma cristalina, artificialmente obtida em laboratório. Para conseguir material do tipo N, deve-se introduzir no cristal uma impureza cuja valência é maior que a do silício. Este processo de contaminação é chamado *dopagem (dopping)*.

As impurezas acrescentam elétrons extras, chamados *portadores de carga*, como na figura 2.

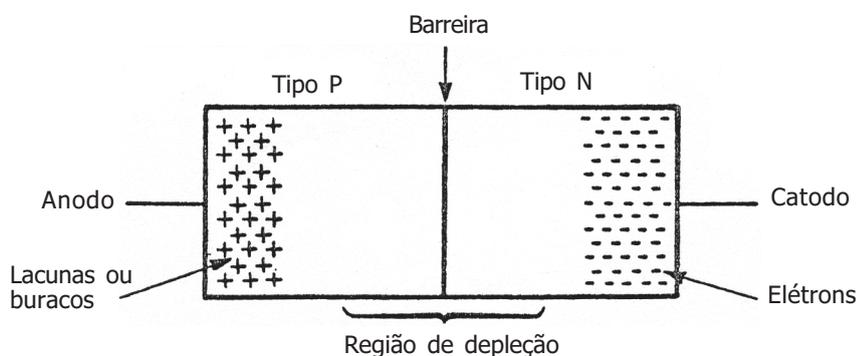


Fig. 2: junção PN

A outra parte do cristal é de material do tipo P, que é produzido por dopagem com uma impureza cuja valência é menor que a do silício.

Os portadores de carga em materiais tipo P são apresentados como cargas positivas, chamadas de *buracos* ou *lacunas*. Uma lacuna em material semicondutor é produzida pela ausência de um elétron.

Na junção entre os materiais tipo P e tipo N, ocorre uma barreira, que é o resultado da migração de cargas através da junção e da recombinação.

As cargas que atravessam a junção ou se combinam com cargas opostas originam íons que formam uma barreira. A tensão necessária para vencer esta barreira é de aproximadamente 0,3 V para o germânio e 0,6 V para o silício. A região vizinha à barreira é chamada de *região de depleção*, devido à ausência de cargas.

Polarização direta

Na figura 3a o diodo está *diretamente polarizado* e a corrente fluirá através dele. O sentido convencional é indicado pela direção da seta.

Convém lembrar que, em circuitos elétricos, cargas iguais se repelem. Logo, o pólo negativo da bateria na figura 3b repelirá os portadores de carga negativa no material tipo N: eles se moverão através da barreira no sentido do pólo positivo da bateria.

As lacunas são repelidas pelo pólo positivo e também se deslocam através da barreira. Se a voltagem (tensão) da bateria for inferior à voltagem da barreira, muito poucos portadores atravessarão a junção.

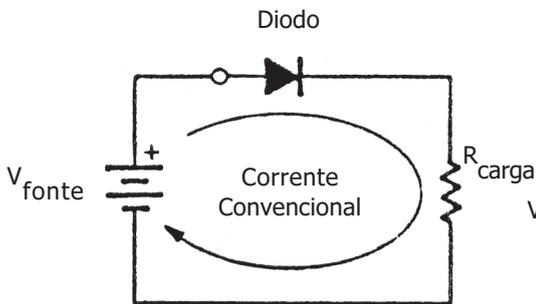


Fig. 3a: polarização direta

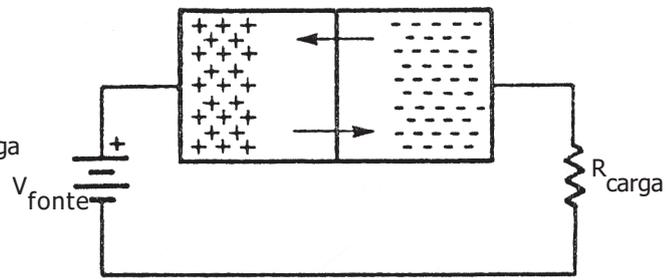


Fig. 3b: movimento de portadores de carga através da barreira

Diodo ideal

O diodo ideal, embora não exista, tem grande utilidade para explicar como agem os diodos em circuitos. Quando o diodo está *diretamente polarizado*, ele age como *curto-circuito* de resistência zero ohm, conforme a figura 4a.

Como uma chave fechada também apresenta valor nulo de resistência, o diodo ideal polarizado diretamente pode ser representado por uma chave fechada, conforme a figura 4b.

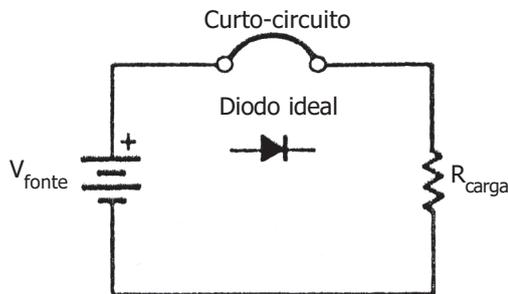


Fig. 4a: curto-circuito

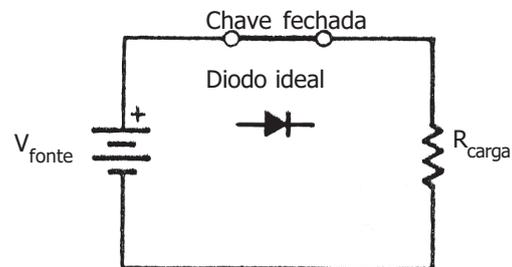


Fig. 4b: chave fechada

Atenção

A resistência direta de um diodo ideal sempre apresenta valor de zero ohm.

Polarização inversa

Se a bateria estiver invertida, como na figura 5a, o diodo se encontra *inversamente polarizado*.

O diagrama esquemático na figura 5b mostra que o pólo negativo da bateria se acha conectado ao material tipo P, o qual tem cargas positivas. Estas lacunas (ou portadores de carga) positivas serão atraídas para o pólo negativo da bateria, para longe da barreira. De modo análogo, o terminal positivo atrairá as cargas negativas (elétrons) para longe da barreira.

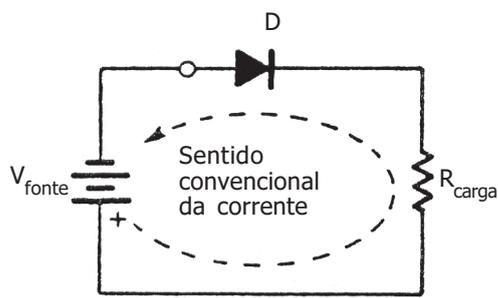


Fig. 5a: polarização inversa

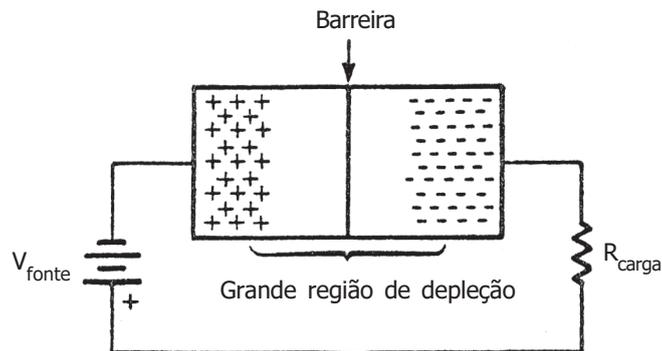


Fig. 5b: polarização inversa produz grande região de depleção

Em cada lado da barreira origina-se uma *região* muito grande de *depleção*, *desprovida de portadores de carga*. Para que a corrente flua em qualquer circuito, os portadores de carga deverão estar presentes. Assim, o diodo atua como resistor de alta resistência.

Diodo ideal com polarização inversa

Os materiais desprovidos de portadores de carga possuem resistência extremamente alta. O diodo ideal inversamente polarizado tem resistência infinita e atua como um *circuito aberto*, como mostra a figura 6a.

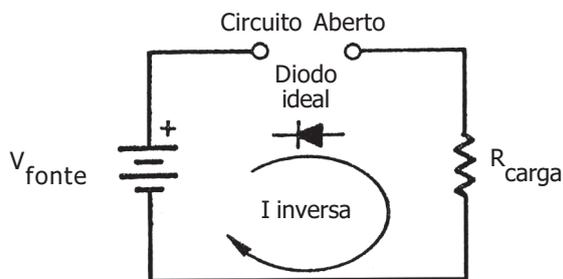


Fig. 6a: circuito aberto

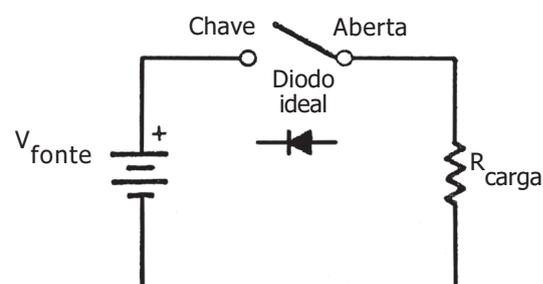


Fig. 6b: chave aberta

Como a chave aberta tem resistência infinita, o diodo ideal com polarização inversa pode ser considerado como uma chave aberta, conforme aparece na figura 6b. A corrente inversa, representada por I inversa, é zero para um diodo ideal.

Diodos reais

Já se verificou que a introdução do conceito de diodo ideal é muito útil para compreender a operação dos circuitos.

É óbvio, também, que se faz necessário saber como os diodos reais diferem dos diodos ideais para poder analisar e depurar circuitos.

O diodo real na figura 7a funciona como um resistor, conforme ilustra a figura 7b.

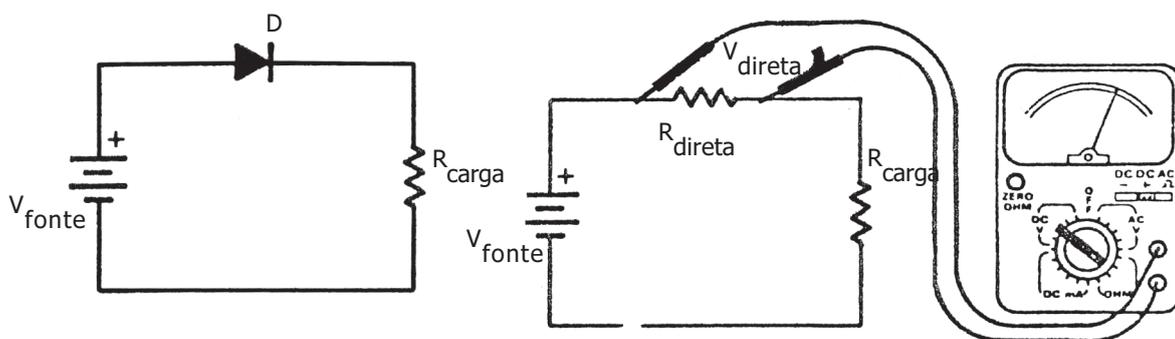


Fig. 7a: polarização direta

Fig. 7b: modelo de resistor

Esta resistência denomina-se resistência direta e é representada pela notação R_{direta} . O valor da resistência direta pode ser calculado pela Lei de Ohm.

$$R_{direta} = \frac{V_{direta}}{I_{direta}}$$

O valor da resistência direta não é constante, apresentando variação. Quando a voltagem direta é muito reduzida, a resistência direta é bastante alta. Quando a voltagem direta assume valores maiores na faixa normal de operação dos diodos, a resistência direta é inferior a 100 ohm.

Usa-se uma curva característica para mostrar o relacionamento entre voltagem e corrente diretas.

Curva característica de um diodo real

Para obter uma curva característica, o diodo é conectado ao circuito. (Fig. 8a). Aumenta-se, gradativamente, o valor da fonte de voltagem. Traça-se a curva característica com os valores da corrente direta do diodo, medida com amperímetro, e os da voltagem direta, medida nos terminais do diodo. (Fig. 8b)

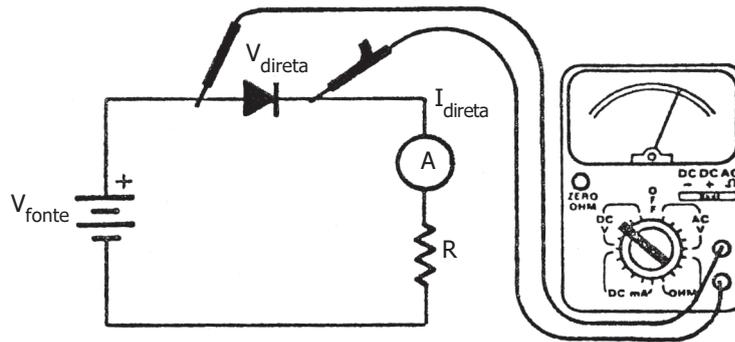


Fig. 8a: circuito de teste

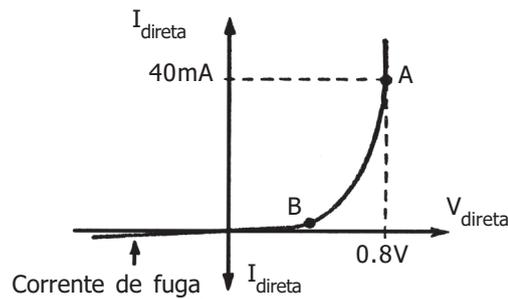


Fig. 8b: curva característica

O valor da resistência direta, R_{direta} , pode ser calculado em qualquer ponto da curva. No ponto A da curva acima, o valor é:

$$R_{direta} = \frac{V_{direta}}{I_{direta}} = \frac{0,8 \text{ V}}{0,04 \text{ A}} = 20 \text{ ohm}$$

No ponto B da curva característica, a resistência direta apresenta um valor diferente.

Os valores de voltagem e corrente para o diodo inversamente polarizado também foram plotados através do esquema da figura 8a, no terceiro quadrante. Para o diodo ideal, a corrente inversa é zero ampère, mas no caso de um diodo real sempre existe uma pequena corrente inversa. A corrente inversa flui porque a resistência inversa assume um valor alto, sem nunca chegar à resistência infinita do diodo ideal. A corrente inversa é, às vezes, chamada de *corrente de fuga* e é indesejável em circuitos com diodo.

Modelos para diodos diretamente polarizados

Para muitas finalidades, os diodos funcionam com polarização direta na região mostrada na curva característica da figura 9a.

A resistência do diodo pode ser encontrada medindo-se o coeficiente angular da reta traçada pelo ponto de operação, conforme mostrado na figura 9b. É chamada resistência *dinâmica*, e seu valor é a tangente à curva traçada no ponto de operação, sendo calculado pela seguinte equação:

$$\text{Resistência dinâmica} = \frac{\text{Variação de } V_{\text{direta}}}{\text{Variação de } I_{\text{direta}}} = \frac{\Delta V_{\text{direta}}}{\Delta I_{\text{direta}}}$$

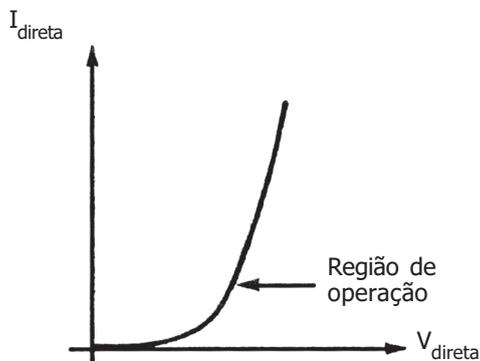


Fig. 9a: região de operação do diodo real

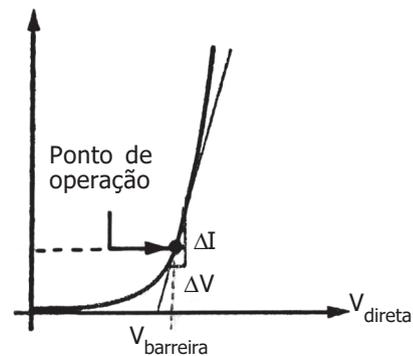


Fig. 9b: tangente à curva = resistência dinâmica

A linha intercepta o eixo horizontal num valor de voltagem aproximadamente igual à voltagem de barreira (0,6 volts para o silício e 0,3 volts para o germânio). Deste gráfico pode-se obter outro modelo para o diodo. Nele o diodo é representado não só pela resistência dinâmica ($R_{\text{dinâmica}}$) em série com uma fonte de voltagem, cujo valor é igual à voltagem de barreira, como também pelo diodo ideal, de acordo com a figura 9c.

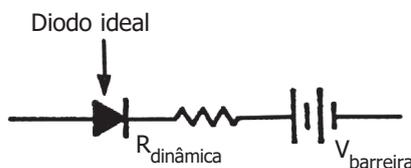


Fig. 9c: modelo de polarização direta

A análise do circuito divide-se em duas etapas.

Etapa 1 – A fonte de voltagem (V_{fonte}) tem valor inferior ao da voltagem de barreira (V_{barreira}): a corrente não pode fluir no circuito porque o diodo ideal está inversamente polarizado pela voltagem de barreira.

Etapa 2 – A fonte de voltagem (V_{fonte}) tem valor superior ao da voltagem de barreira (V_{barreira}): o diodo ideal está diretamente polarizado e atua como curto-circuito. A fonte de voltagem que propicia corrente num circuito é a diferença entre V_{fonte} e V_{barreira} . A resistência no circuito é a resistência dinâmica somada à resistência de carga. A corrente neste circuito pode ser calculada para qualquer valor da fonte de voltagem, a partir da seguinte equação:

$$I_{\text{direta}} = \frac{V_{\text{fonte}} - V_{\text{barreira}}}{R_{\text{dinâmica}} + R_{\text{carga}}}$$

Os diodos podem ser representados pelo modelo de diodo ideal como diodos reais ou pelo modelo que utiliza a resistência dinâmica. Deve-se selecionar o modelo mais adequado a cada aplicação.

Modelo para diodos inversamente polarizados

O circuito equivalente para o diodo inversamente polarizado está representado na figura 10a.

O fato de funcionar como uma chave aberta significa que a corrente inversa tem valor nulo. Os diodos reais têm uma quantidade mínima de corrente inversa, chamada corrente adventícia ou de fuga, conforme mostrado pela curva característica do diodo real na figura 10b. Os diodos inversamente polarizados podem ser representados pelo modelo descrito na figura 10c.

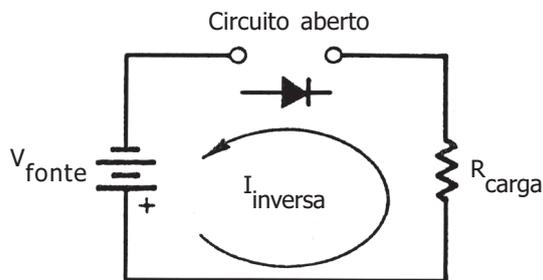


Fig. 10a: diodo ideal com polarização inversa

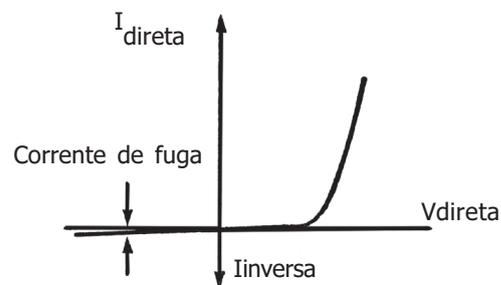


Fig. 10b: curva característica do diodo real

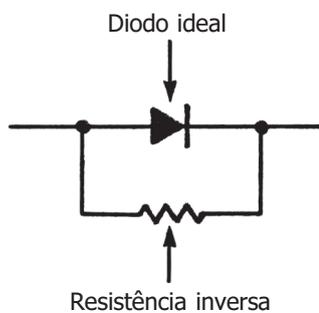


Fig. 10c: modelo de polarização inversa

O diodo é representado por um diodo ideal em paralelo com um resistor de alto valor de resistência. O diodo ideal não conduzirá, mas a corrente inversa fluirá através do resistor em paralelo.