



Eletrônica Básica

Marcos Antônio Arantes de Freitas

Concluiu o doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia em 2002. Atuou como Professor Adjunto IV na Fundação Educacional de Ituiutaba – Campus da Universidade do Estado de Minas Gerais. Atualmente é Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Itumbiara, onde desenvolve atividades de ensino e pesquisa nas áreas de Informática, Eletrônica de Potência e Acionamento Eletroeletrônico de Máquinas Elétricas. Publicou dezenas de artigos técnicos em eventos científicos nacionais e internacionais.

Roberlam Gonçalves de Mendonça

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Vale do Rio Doce, Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia. Atualmente é Diretor Geral do Instituto Federal de Goiás – Campus Itumbiara, desde 2008. Foi Diretor do CEFETGO – Unidade de ensino de Jataí (2005-2008). Desde 2005 faz parte do quadro de avaliadores do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais, tendo coordenado várias comissões para fins de credenciamento, autorização e reconhecimento. Publicou dezenas de trabalhos científicos em eventos nacionais e internacionais.

Direção Geral	Jean Franco Sagrillo
Direção Editorial	Jeanine Grivot
Edição	Alessandra Domingues
Assistência Editorial	Melissa Harumi Inoue Pieczarka
Gerência de Editoração	Marcia Tomeleri
Revisão	Carlos Melnik
Projeto Gráfico e Capa	Adriana de Oliveira
Editoração	Alfredo Netto

Freitas, Marcos Antonio de.
 Eletrônica básica / Marcos Antonio de Freitas; Roberlam Gonçalves de Mendonça. - Curitiba: Editora do Livro Técnico, 2010.

il.
 120 p.
 ISBN: 978-85-63687-07-4

1. Eletrônica. I. Mendonça, Roberlam Gonçalves de. II. Título.

CDD 537.5

Eutália Cristina do Nascimento Moreto CRB-9/947

2010

Todos os direitos reservados pela Editora do Livro Técnico
 Edifício Comercial Sobral Pinto
 Avenida Cândido de Abreu 469, 2º andar, conj. n.ºs 203-205
 Centro Cívico – CEP: 80530-000
 Tel.: 41 3027-5952 / Fax: 41 3076-8783
 www.editoralt.com.br
 Curitiba – PR

Em conformidade com o Catálogo Nacional de Cursos Técnicos este livro é indicado, entre outros, para os seguintes cursos:

Eixo Tecnológico: Controle e Processos Industriais

- Técnico em Eletroeletrônica
- Técnico em Eletrônica
- Técnico em Automação Industrial
- Técnico em Eletrotécnica
- Técnico em Manutenção Automotiva
- Técnico em Mecatrônica
- Técnico em Refrigeração e Climatização
- Técnico em Eletromecânica
- Técnico em Máquinas Navais

Eixo Tecnológico: Militar

- Técnico em Comunicações Aeronáuticas
- Técnico em Eletricidade e Instrumentos Aeronáuticos
- Técnico em Materiais Bélicos
- Técnico em Operação de Radar
- Técnico em Operação de Sonar
- Técnico em Sensores de Aviação
- Técnico em Sinalização Náutica

Eixo Tecnológico: Ambiente, Saúde e Segurança

- Técnico em Equipamentos Biomédicos

Eixo Tecnológico: Recursos Naturais

- Técnico em Equipamentos Pesqueiros

Eixo Tecnológico: Informação e Comunicação

- Técnico em Sistemas de Comutação
- Técnico em Sistemas de Transmissão
- Técnico em Telecomunicações

Eixo Tecnológico: Infraestrutura

- Técnico em Manutenção de Aeronaves
- Técnico em Equipamentos de Voo

Apresentação

Este livro foi desenvolvido para atender aos alunos dos cursos técnicos de eletrotécnica, eletrônica, eletroeletrônica, automação industrial, informática industrial, telecomunicações e superiores de Engenharia Elétrica, Eletrônica, Automação, Computação, Mecatrônica e outros que têm a disciplina de eletrônica na sua grade curricular. A obra foi dividida em dez capítulos, facilitando o trabalho do docente em subdividir os temas tratados em sala de aula. O livro aborda, basicamente, alguns tipos de diodos e transistores bipolares, apresentando as especificações técnicas de cada um fornecidas pelos catálogos de fabricantes (*datasheet*). Estruturalmente, a obra é formada por teoria, seguida de exemplos aplicados ao final de cada tema discutido. Cada capítulo apresenta ainda uma lista de problemas propostos que irão consolidar o aprendizado.

A realização deste trabalho é o resultado de vários anos de ensino em escolas técnicas de nível médio, subsequente e PROEJA e de experiências no ensino superior em cursos de graduação de Engenharia Elétrica. A cada semestre recebendo alunos de diversos níveis e verificando suas dificuldades de entendimento com determinados termos técnicos, levou-nos a tornar realidade este trabalho. Os profissionais de engenharia que estão em sala de aula, muitas vezes acreditam que seus alunos tenham o mesmo nível de conhecimento que eles.

Por isso, é preciso um intenso trabalho de autocompreensão e autoanálise para perceber quando estamos “pulando” etapas, essenciais ao entendimento do conteúdo e que deveriam ser mais detalhadas. Tirando as dificuldades de raciocínio e de compreensão que agora estão sendo trabalhadas pelas instituições de ensino e objetivando, portanto, o melhor entendimento por parte do discente, acreditamos ter chegado a uma abordagem mais didática, objetiva, clara, com muitas ilustrações e abordagens detalhadas para o completo entendimento dos assuntos trabalhados neste livro.

O livro fornece uma compreensão das características dos dispositivos semicondutores, apresentando conceitos de forma clara e objetiva. Cada capítulo traz diversos exercícios de aplicação para fixação do aprendizado e, além disso, ao final de cada tema, são apresentados exemplos que ajudarão na solução dos exercícios no final de cada capítulo.

No decorrer de todo o livro, ressaltamos e mostramos a possibilidade do uso de ferramentas de simulação computacional que auxiliarão na compreensão. Vários circuitos encontrados no livro foram montados utilizando o *software* MultiSim, na sua versão 10.0. O MultiSim ou EWB da National Instruments – Electronics Workbench Groups é muito utilizado em nível mundial. O programa possui uma interface gráfica amigável, contando com uma tela em que podem ser desenhados os circuitos, “arrastando-se”

Sumário

cAPÍTULO 1 – Princípio dos Semicondutores	9
Introdução	9
Estrutura Atômica	10
Semicondutores, Condutores e Isolantes	13
Ligações Covalentes	18
Condução Elétrica nos Semicondutores	19
Materiais Semicondutores dos Tipos “P” e “N”	22
O Diodo Semicondutor	25
Modelos de Diodos	33
Testando os Diodos	38
Atividades	43
CAPÍTULO 2 – Diodos e suas Principais Aplicações 1	51
Retificadores de Meia-Onda	51
Retificadores Monofásicos	64
Atividades	76
CAPÍTULO 3 – Diodos e suas Principais Aplicações 2	81
Retificadores de Onda Completa e Emprego de Filtros Capacitivos	81
Atividades	107
CAPÍTULO 4 – Circuitos Ceifadores	113
Introdução	113
Circuitos Ceifadores	113
Atividades	127
CAPÍTULO 5 – Circuitos Grampeadores e Multiplicadores de Tensão	131
Introdução	131
Circuitos Grampeadores	131
Circuitos Multiplicadores de Tensão	139
Atividades	144
CAPÍTULO 6 – Diodos Zener: Reguladores de Tensão	146
Introdução	146
Fontes Reguladas e Não Reguladas	146
Diodos Zener	148
Atividades	168

CAPÍTULO 7 – Reguladores de Tensão a Partir de Circuitos Integrados	171
Introdução	171
Reguladores de Tensão a Partir de Circuitos Integrados	171
Atividades.....	179
CAPÍTULO 8 – Transistor Bipolar de Junção (TBJ): Princípio de Funcionamento	180
Introdução	180
Aspectos Construtivos do TBJ	181
Funcionamento dos Transistores	182
Ganho de Corrente dos Transistores.....	187
Expressões Matemáticas Iniciais dos Transistores.....	190
Características Construtivas dos Transistores.....	192
Atividades.....	193
CAPÍTULO 9 – Verificação de Defeitos em Transistores Bipolares de Junção	195
Introdução	195
Testando os Transistores	195
Verificações de Defeitos.....	203
Configurações e Curva Característica dos Transistores.....	209
Manuais de Fabricantes (<i>Datasheet</i>).....	222
Importâncias do Uso de Dissipadores	226
Atividades.....	227
CAPÍTULO 10 – Polarização dos Transistores Bipolares de Junção	230
Introdução	230
Variações no Ganho de Corrente.....	230
Alterações no Ponto Quiescente dos TBJ Emissor Comum	231
Polarização Estável do Emissor	233
Polarização Estável do Emissor com Fontes no Coletor e Emissor.....	236
Polarização Estável do Emissor com Resistor de Emissor e Fonte na Base	244
Polarização Emissor Comum com Divisor de Tensão na Base.....	247
Polarização com Realimentação do Coletor	259
Polarização com Realimentação do Coletor e do Emissor	262
Atividades.....	267
Referências Bibliográficas	272

Princípio dos Semicondutores

Introdução

Por volta de 1904 surgiu a primeira válvula intitulada de válvula a diodo. Essa válvula propiciou um grande avanço na criação de outros circuitos e dispositivos e favoreceu grandes descobertas na época. A válvula a diodo foi muito utilizada até meados da década de 80, e até hoje é possível ver essas válvulas em rádios e televisores antigos. Porém, elas ainda são muito eficazes em equipamentos eletrônicos de telecomunicação, que trabalham em altas frequências. Esse dispositivo possui dois terminais (placas metálicas) devidamente inseridos em um invólucro de vidro denotados por catodo e ânodo. O catodo é o eletrodo negativo, e o anodo é o eletrodo positivo. Aplicando-se uma tensão elétrica

aos dois eletrodos, os elétrons que são emitidos pelo catodo aquecido dirigem-se para o ânodo. A figura 1.1 mostra uma foto ilustrativa da válvula de diodo. Posteriormente, em torno de 1906, DeForest inventou a válvula a triodo, que possui

um terceiro terminal chamado grade, que proporciona um controle da energia por meio da aplicação dos valores de tensão e/ou de corrente. Dessa forma, as válvulas triodo eram utilizadas como dispositivos amplificadores, que proporcionam sinais mais “fortes”, o que não era possível com a utilização das válvulas diodo. A figura 1.2 mostra a foto de uma válvula triodo.

Graças às válvulas diodo e triodo a tecnologia na transmissão sem fio (radiotransmissão) tornou-se realidade, e a partir daí a busca passou a melhorar o desempenho do circuito e, para isso, era necessário desenvolver uma tecnologia para aperfeiçoar os dispositivos. Entretanto, tanto as válvulas diodo quanto as válvulas triodo apresentam algumas desvantagens, tais como:



Figura 1.2 – Válvula Triodo



Figura 1.1 – Válvula diodo

- Ocupam muito espaço devido ao tamanho relativamente grande;
- Aquecem excessivamente, dissipando alta quantidade de energia (perdas de energia) na forma de calor devido ao aquecimento dos filamentos;
- Possuíam baixa vida útil e eram pouco confiáveis.

Devido às desvantagens inerentes com a utilização das válvulas, existia grande necessidade de aperfeiçoamento na tecnologia de fabricação dos componentes eletrônicos.

Na década de 20, os cientistas da época começaram estudos mais aprofundados da química e física dos semicondutores, mas somente na década de 40 é que surgiu o diodo semicondutor, propriamente dito. Isso aconteceu graças às grandes evoluções ocorridas na física dos semicondutores que investiga a estrutura, as propriedades e o comportamento elétrico dos semicondutores.

Logo após a invenção do diodo, surgiu o transistor semicondutor, substituindo a válvula triodo, e outros dispositivos foram automaticamente criados a partir da necessidade dos novos aparelhos eletrônicos que foram aparecendo. Várias são as vantagens na utilização dos diodos e transistores semicondutores em comparação com as válvulas, podendo-se destacar:

- Ocupam espaço reduzido;
- Dissipam pouca energia;
- São mais robustos e confiáveis.

Entre muitas outras aplicações, a eletrônica pode ser usada para:

- Transmissão de sinais em tempo real;
- Desenvolvimento de equipamento bélico (construção de armas e de sistemas de controle de mísseis);
- Desenvolvimento de sistemas de controle confiáveis;
- Salvar vidas, diagnosticar doenças e desenvolver métodos de cura;
- Servir ao lazer das pessoas.

Os dispositivos eletrônicos, tais como diodos, transistores e circuitos integrados são feitos de materiais semicondutores, geralmente o silício. Para entender como esses dispositivos trabalham, deve-se ter conhecimento básico da estrutura atômica do átomo e da interação entre as partículas atômicas. Um conceito importante, introduzido neste capítulo, é a junção P-N, que é formada quando há a junção do mesmo material com dopagens diferentes. A junção P-N é fundamental para a compreensão do princípio de funcionamento de determinados componentes, tais como o diodo e certos tipos de transistores.

Estrutura Atômica

Um átomo é a estrutura fundamental de cada elemento químico. De acordo com o modelo atômico de Bohr, o átomo é dividido em duas partes: o núcleo e a eletrosfera, conforme mostrado na figura 1.3. No núcleo, encontram-se os prótons e os nêutrons. Na eletrosfera, estão os elétrons, distribuídos em sete camadas eletrônicas ou níveis de energia. O núcleo consiste de partículas positivamente carregadas que são os prótons e também de nêutrons, com cargas sem estrutura quântica. Os elétrons são partículas com carga negativa.