

Edson Lemos Horta

Dispositivos lógicos programáveis

Implementação de
sistemas digitais
em FPGAS

Dispositivos lógicos programáveis

Implementação de sistemas
digitais em FPGAS



3

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

Reitor: Benedito Guimarães Aguiar Neto

Vice-reitor: Marcel Mendes

COORDENADORIA DE PUBLICAÇÕES ACADÊMICAS

Coordenadora: Helena Bonito Couto Pereira

EDITORA DA UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

Conselho Editorial

Helena Bonito Couto Pereira (*Presidente*)

José Francisco Siqueira Neto

Leila Figueiredo de Miranda

Luciano Silva

Maria Cristina Triguero Veloz Teixeira

Maria Lucia Marcondes Carvalho Vasconcelos

Moises Ari Zilber

Valter Luís Caldana Júnior

Wilson do Amaral Filho

Edson Lemos Horta

Dispositivos lógicos programáveis

Implementação de sistemas
digitais em FPGAS

© 2013 Edson Lemos Horta

Todos os direitos reservados à Universidade Presbiteriana Mackenzie.
Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida por qualquer meio
ou forma sem a prévia autorização da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Coordenação editorial: Andréia Ferreira Cominetti
Capa: O Capista
Diagramação: Acqua Estúdio Gráfico
Preparação de texto: Eugênia Pessotti
Revisão: Claudia da Silveira e Hebe Ester Lucas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Horta, Edson Lemos

Dispositivos lógicos programáveis : implementação de
sistemas digitais em FPGAS / Edson Lemos Horta. – São Paulo :
Editora Mackenzie, 2013. – (Coleção conexão inicial ; v. 3)

Bibliografia

ISBN: 978-85-66167-06-1

1. Circuitos eletrônicos 2. Circuitos integrados 3. Dispositivos
lógicos programáveis (FPGA) I. Título. II. Série.

12-14182

CDD-621.395

Índices para catálogo sistemático:

1. Circuitos integrados digitais : Engenharia eletrônica 621.395
2. Sistemas digitais em FPGAS : Engenharia eletrônica 621.395

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

Rua da Consolação, 930
Edifício João Calvino, 7º andar
São Paulo – SP – CEP: 01302-907
Tel.: (5511) 2114-8774/2114-8785
editora@mackenzie.com.br
www.editora.mackenzie.br

Como adquirir os livros:

Livraria Mackenzie
Campus Higienópolis
Rua Itambé, 135 – Prédio 19 - loja 1
São Paulo – SP – CEP 01302-907
Tel.: (5511) 2766-7027
livraria@mackenzie.br

*Para as três mulheres mais importantes da minha vida: Patrícia,
Giovana e Luíza.*

Muito obrigado por existirem.

SUMÁRIO

Apresentação	11
Introdução	13
1 Dispositivos lógicos programáveis	17
1.1 CPLD	22
1.2 FPGA	27
1.3 Exercícios de revisão	35
2 Ferramentas de desenvolvimento	37
2.1 LAB1 – Projeto com a ferramenta ISE	42
2.1.1 Descrição	43
2.1.2 Implementação	48
2.1.3 Atribuição de pinos	49
2.1.4 Arquivo de configuração	51
2.1.5 Download	53
2.2 Exercícios de revisão	56
3 Linguagem VHDL	57
3.1 Descrição funcional	61
3.2 LAB2 – Decodificador de sete segmentos	68
3.2.1 Descrição	69
3.2.2 Implementação e download	73
3.3 Descrição estrutural	74
3.4 LAB3 – Hierarquia em VHDL (síntese)	78
3.4.1 Descrição	79
3.4.2 Síntese do arquivo TOP	82
3.4.3 Arquivamento do projeto	84

3.5	Comandos de simulação	85
3.6	LAB4 – Hierarquia em VHDL (simulação)	93
3.6.1	Descompactação do projeto	93
3.6.2	Inclusão de arquivos no projeto	94
3.6.3	Criação do testbench	95
3.6.4	Simulação	98
3.6.5	Visualização de sinais internos	100
3.6.6	Arquivamento do projeto	102
3.7	LAB5 – Hierarquia em VHDL (download)	102
3.7.1	Descompactação do projeto	102
3.7.2	Implementação e download	103
3.7.3	Arquivamento do projeto	104
3.8	Exercícios de revisão	104
4	Particionamento do sistema digital	111
4.1	Projeto do fluxo de dados	114
4.2	LAB6 – Fluxo de dados do exemplo 3 (síntese)	120
4.2.1	Descrição	121
4.2.2	Inclusão dos COMPONENTES no projeto	124
4.2.3	Síntese do arquivo TOP	126
4.2.4	Arquivamento do projeto	127
4.3	Simulação do FD	128
4.4	LAB7 – Fluxo de dados do exemplo 3 (simulação)	131
4.4.1	Descompactação do projeto	131
4.4.2	Criação do testbench	131
4.4.3	Simulação	132
4.4.4	Arquivamento do projeto	132
4.5	LAB8 – Fluxo de dados do exemplo 3 (download)	133
4.5.1	Descompactação do projeto	133
4.5.2	Implementação e download	134
4.5.3	Arquivamento do projeto	135
4.6	Projeto da unidade de controle	135

4.6.1	Diagrama ASM (Algorithmic State Machine)	137
4.6.2	Diagrama ASM em VHDL	144
4.7	Simulação da UC	151
4.8	LAB9 – Unidade de controle em VHDL	152
4.8.1	Descrição	152
4.8.2	Síntese e simulação do ASM	155
4.9	Projeto do sistema digital completo	156
4.10	Simulação do SD	156
4.11	LAB10 – Sistema digital do exemplo 3	159
4.11.1	Descompactação do FD (LAB8) e criação do novo projeto	159
4.11.2	Descrição da UC	161
4.11.3	Descrição do SD	163
4.11.4	Simulação do SD	165
4.12	Exercícios de revisão	166
Referências		173
Glossário		175
Índice		179

APRESENTAÇÃO

O rápido avanço da área de microeletrônica fornece para os projetistas de sistemas digitais circuitos integrados com milhões de portas lógicas. Esse avanço proporciona também a possibilidade de se utilizar um circuito integrado com sua arquitetura de hardware flexível, que pode ser configurada com a função desejada, denominado PLD (“Programmable Logic Device” – Dispositivo Lógico Programável). Com o surgimento dos PLDs, o hardware de um equipamento digital deixou de ser a parte fixa do sistema, podendo sofrer alterações, antes possíveis apenas com a troca dos componentes da placa de circuito impresso. O PLD também é muito utilizado na prototipação de novos produtos, pois permite que o projetista consiga testar a arquitetura proposta, antes de fabricar uma placa com a versão final. Em um curso de Engenharia Elétrica, a utilização de PLDs é importante para que o aluno consiga testar várias arquiteturas, utilizando a mesma placa didática. Essa placa pode ser utilizada em várias disciplinas do núcleo de sistemas digitais, possibilitando a elaboração de laboratórios onde os alunos podem observar os resultados práticos dos seus projetos em alguns minutos após sua descrição e implementação.

Este livro mostra, de maneira didática, a arquitetura interna dos PLDs e como descrever um sistema digital para que essa arquitetura seja utilizada de maneira eficiente. São apresentados os principais comandos da linguagem VHDL utilizados para descrever e simular um sistema digital dividido em fluxo de dados e unidade de controle. O projetista tem a oportunidade de utilizar todos os conceitos citados aqui por meio de dez laboratórios distribuídos ao longo do livro.

Indicado para estudantes que atuarão na área de sistemas digitais e profissionais que precisam atualizar seus conhecimentos nesta

área, este livro pode ser utilizado como bibliografia básica em cursos que já apresentaram os conceitos básicos de lógicas combinatória e sequencial, em disciplinas que possuam aproximadamente doze semanas de aulas teóricas, encadeadas com seus respectivos laboratórios.

*O autor
em janeiro de 2013*

Dispositivos lógicos programáveis:
implementação de sistemas digitais em FPGAs
apresenta, de maneira didática, a arquitetura interna dos FPGAs e como descrever um sistema digital para que sua arquitetura seja eficientemente utilizada. Voltada para alunos de graduação em Engenharia Eletrônica, a obra traz os principais comandos da linguagem VHDL, utilizados para descrever e simular um sistema digital dividido em fluxo de dados e unidade de controle. O projetista tem a oportunidade de fazer uso de todos esses conceitos por meio de dez laboratórios distribuídos ao longo do livro.

