



“十二五”江苏省高等学校重点教材



高等院校电气信息类专业“互联网+”创新规划教材

VHDL数字系统设计与应用

黄卉 李冰 主编

教材预览、申请样书



微信公众号: pup6book



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

TP312/5603

2016

“十二五”江苏高等学校重点教材(编号: 2015-2-075)
高等院校电气信息类专业“互联网+”创新规划教材

VHDL 数字系统设计与应用

主 编 黄 卉 李 冰

北方工业大学图书馆



C00477241



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书以培养创新型人才为目标,内容包括电子电路及触发器等较高级的电路设计,在内容安排上注重精讲多练、先进实用,介绍基础知识的同时强调相应的实践和设计,设有实训和设计题目。实训题是验证类的题目,会简单告诉读者如何设计,其结果可以根据各章中的知识点判断回答出来,并可以引出启发性的问题,从而达到对知识点的理解巩固;设计题则是对所学知识的运用,对知识的更深层次的思考。除此之外,本书引入了对 SmartSPOC+实验平台的介绍,书中所有程序均在 EDA 开发平台上通过调试。

本书可作为高等院校电子、信息、自动化、通信等专业的本科教材,也可作为独立院校、高职高专学校电子等专业基础课程的人门教材,还可供相关技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

VHDL 数字系统设计与应用/黄卉,李冰主编. —北京:北京大学出版社,2016.6
(高等院校电气信息类专业“互联网+”创新规划教材)
ISBN 978-7-301-27267-1

I. ①V… II. ①黄… ②李… III. ①VHDL 语言—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 155816 号

- | | |
|---------|--|
| 书 名 | VHDL 数字系统设计与应用
VHDL Shuzi Xitong Sheji yu Yingyong |
| 著作责任者 | 黄 卉 李 冰 主 编 |
| 策 划 编 辑 | 程志程 |
| 责 任 编 辑 | 黄红珍 |
| 数 字 编 辑 | 刘志秀 |
| 标 准 书 号 | ISBN 978-7-301-27267-1 |
| 出 版 发 行 | 北京大学出版社 |
| 地 址 | 北京市海淀区成府路 205 号 100871 |
| 网 址 | http://www.pup.cn 新浪微博:@北京大学出版社 |
| 电 子 信 箱 | pup_6@163.com |
| 电 话 | 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 |
| 印 刷 者 | 三河市博文印刷有限公司 |
| 经 销 者 | 新华书店 |
| 定 价 | 787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.75 印张 438 千字
2016 年 6 月第 1 版 2016 年 6 月第 1 次印刷
42.00 元 |

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024 电子信箱:fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题,请与出版部联系,电话:010-62756370

前 言

在电子设计领域，目前数字系统的设计正朝着速度快、容量大、体积小、质量轻的方向发展。推动该潮流迅猛发展的引擎就是日趋进步和完善的 ASIC 设计技术。熟练掌握 FPGA/CPLD 设计技术已成为电子设计工程师的基本要求。为了适应这个发展趋势，配合应用型人才培养的需求，EDA 及 VHDL 硬件描述语言等相关技术已陆续成为各高校电子类专业的必修课，其重要性可见一斑。

EDA 技术课程是电子、通信、自动化等专业的专业基础课程，是一门实践性较强的课程。因为 EDA 技术是大学生科技创新活动、电子竞赛及毕业设计的重要技术手段之一，是一项直接面向实际应用的电子系统设计技术，包含集成电路设计技术、计算机辅助设计和仿真测试技术。因此，该课程应以学生为主导，实践为主，理论教学围绕实践应用开展。根据课程特点，编者结合多年的教学和科研实践经验，采用知识讲授和设计实验并行的写作思路编写本书。本书以学生本位为原则，结构具有层次化，内容由易到难，既能很好地引导学生入门，又能给学生提供一个进阶平台，使学生更好地理解和掌握 EDA 技术相关的基本知识，掌握现代数字系统的设计思想和方法、开发软件 Quartus II 的使用及 VHDL 编程技术，使其具有动手设计电子系统的能力。

本书具有以下特点：

(1) 面向应用，注重学生实践能力的培养。

在每个章节，配有大量的例题和实际案例，重点展示案例的设计与实现过程，突出本书的实践性和引导性。在第 5、6、8 章，除配有大量案例外，还针对每个案例增加不同难度梯度的实训题目和设计题目。实训题是“半设计”类型的题目，给出设计思路及设计步骤，学生可结合前面的设计案例完成设计，更好地理解、巩固、掌握所学知识；而设计题突出“设计”理念，要求学生运用所学知识独立完成设计。学生通过设计题目的训练可以对知识有更深层次的思考和运用，促进学生把理论知识和实践进行深度融合。

(2) 面向工程，融入 CDIO 教学理念。

第 8 章主要介绍综合实际应用项目的设计方法，让读者更深入地掌握数字系统的设计方法。较多的综合性工程实际设计案例，有利于培养学生的实际工程项目设计能力。综合设计突出实验教学中的“项目式”教学模式，对每个综合系统都有整个项目的设计思路、系统框架、模块设计等设计过程的详细阐述，使学生熟悉系统电路设计的流程，对数字系统设计的认识更加全面。项目配有实训题目，可以让学生参与系统项目的设计。

全书共 8 章。第 1 章主要介绍 EDA 的概念、特点，VHDL 硬件描述语言的概念及特点，其目的是使读者对 EDA 技术及 VHDL 硬件描述语言有初步的了解。第 2 章主要介绍 VHDL 语言的基本结构，目的是使读者掌握 VHDL 的基本程序结构、常规的 VHDL 语言的设计方法，掌握 VHDL 语言逻辑描述特点及语言和硬件电路的对应关系。第 3 章主要介



绍 VHDL 语言的数据类型。第 4 章主要介绍 VHDL 语言的基本语句。第 5 章主要介绍组合逻辑电路的 VHDL 语言设计,包括分配器、编码器、译码器、运算器等。第 6 章主要介绍时序逻辑电路的 VHDL 语言设计,包括触发器、计数器、分频器等。第 7 章主要介绍 Quartus II 软件,结合实际应用案例介绍 Quartus II 的使用方法和设计流程。第 8 章为提高部分,主要介绍综合实际应用项目的设计方法,使读者更深入地掌握数字系统的设计方法。

本书由黄卉、李冰担任主编,具体编写分工:第 1 章由陆清茹编写,第 2~4 章由陈德斌编写,第 5~7 章由黄卉编写,第 8 章由张志鹏编写。李冰教授负责全书的统稿及定稿。

本书所有例题均使用 Quartus II 软件编译仿真通过,并且均通过 SmartSOPC+实验平台验证。

在本书的编写过程中,编者参考了大量的文献,在此向文献的作者表示感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和欠妥之处,敬请读者批评指正。

编者
2016 年 3 月



北京大学出版社本科电气信息系列实用规划教材

序号	书名	书号	编著者	定价	出版年份	教辅及获奖情况
物联网工程						
1	物联网概论	7-301-23473-0	王 平	38	2014	电子课件/答案,有“多媒体移动交互式教材”
2	物联网概论	7-301-21439-8	王金甫	42	2012	电子课件/答案
3	现代通信网络	7-301-24557-6	胡珺珺	38	2014	电子课件/答案
4	物联网安全	7-301-24153-0	王金甫	43	2014	电子课件/答案
5	通信网络基础	7-301-23983-4	王昊	32	2014	
6	无线通信原理	7-301-23705-2	许晓丽	42	2014	电子课件/答案
7	家居物联网技术开发与实践	7-301-22385-7	付 蔚	39	2013	电子课件/答案
8	物联网技术案例教程	7-301-22436-6	崔逊学	40	2013	电子课件
9	传感器技术及应用电路项目化教程	7-301-22110-5	钱裕禄	30	2013	电子课件/视频素材,宁波市教学成果奖
10	网络工程与管理	7-301-20763-5	谢 慧	39	2012	电子课件/答案
11	电磁场与电磁波(第2版)	7-301-20508-2	邬春明	32	2012	电子课件/答案
12	现代交换技术(第2版)	7-301-18889-7	姚 军	36	2013	电子课件/习题答案
13	传感器基础(第2版)	7-301-19174-3	赵玉刚	32	2013	视频
14	物联网基础与应用	7-301-16598-0	李蔚田	44	2012	电子课件
15	通信技术实用教程	7-301-25386-1	谢 慧	36	2015	电子课件/习题答案
16	物联网工程应用与实践	7-301-19853-7	于继明	39	2015	
单片机与嵌入式						
1	嵌入式 ARM 系统原理与实例开发(第2版)	7-301-16870-7	杨宗德	32	2011	电子课件/素材
2	ARM 嵌入式系统基础与开发教程	7-301-17318-3	丁文龙 李志军	36	2010	电子课件/习题答案
3	嵌入式系统设计及应用	7-301-19451-5	邢吉生	44	2011	电子课件/实验程序素材
4	嵌入式系统开发基础----基于八位单片机的 C 语言程序设计	7-301-17468-5	侯殿有	49	2012	电子课件/答案/素材
5	嵌入式系统基础实践教程	7-301-22447-2	韩 磊	35	2013	电子课件
6	单片机原理与接口技术	7-301-19175-0	李 升	46	2011	电子课件/习题答案
7	单片机系统设计与实例开发(MSP430)	7-301-21672-9	顾 涛	44	2013	电子课件/答案
8	单片机原理与应用技术	7-301-10760-7	魏立峰 王宝兴	25	2009	电子课件
9	单片机原理及应用教程(第2版)	7-301-22437-3	范立南	43	2013	电子课件/习题答案,辽宁“十二五”教材
10	单片机原理及应用及 C51 程序设计	7-301-13676-8	唐 颖	30	2011	电子课件
11	单片机原理及应用及其实验指导书	7-301-21058-1	邵发森	44	2012	电子课件/答案/素材
12	MCS-51 单片机原理及应用	7-301-22882-1	黄翠翠	34	2013	电子课件/程序代码
物理、能源、微电子						
1	物理光学理论与应用(第2版)	7-301-26024-1	宋贵才	46	2015	电子课件/习题答案,“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
2	现代光学	7-301-23639-0	宋贵才	36	2014	电子课件/答案
3	平板显示技术基础	7-301-22111-2	王丽娟	52	2013	电子课件/答案
4	集成电路版图设计	7-301-21235-6	陆学斌	32	2012	电子课件/习题答案
5	新能源与分布式发电技术	7-301-17677-1	朱永强	32	2010	电子课件/习题答案,北京市精品教材,北京市“十二五”教材
6	太阳能电池原理与应用	7-301-18672-5	靳瑞敏	25	2011	电子课件

序号	书名	书号	编著者	定价	出版年份	教辅及获奖情况
7	新能源照明技术	7-301-23123-4	李姿景	33	2013	电子课件/答案
基础课						
1	电工与电子技术(上册)(第2版)	7-301-19183-5	吴舒辞	30	2011	电子课件/习题答案, 湖南省“十二五”教材
2	电工与电子技术(下册)(第2版)	7-301-19229-0	徐卓农 李士军	32	2011	电子课件/习题答案, 湖南省“十二五”教材
3	电路分析	7-301-12179-5	王艳红 蒋学华	38	2010	电子课件, 山东省第二届优秀教材奖
4	模拟电子技术实验教程	7-301-13121-3	谭海曙	24	2010	电子课件
5	运筹学(第2版)	7-301-18860-6	吴亚丽 张俊敏	28	2011	电子课件/习题答案
6	电路与模拟电子技术	7-301-04595-4	张绪光 刘在娥	35	2009	电子课件/习题答案
7	微机原理及接口技术	7-301-16931-5	肖洪兵	32	2010	电子课件/习题答案
8	数字电子技术	7-301-16932-2	刘金华	30	2010	电子课件/习题答案
9	微机原理及接口技术实验指导书	7-301-17614-6	李干林 李升	22	2010	课件(实验报告)
10	模拟电子技术	7-301-17700-6	张绪光 刘在娥	36	2010	电子课件/习题答案
11	电工技术	7-301-18493-6	张莉 张绪光	26	2011	电子课件/习题答案, 山东省“十二五”教材
12	电路分析基础	7-301-20505-1	吴舒辞	38	2012	电子课件/习题答案
13	模拟电子线路	7-301-20725-3	宋树祥	38	2012	电子课件/习题答案
14	数字电子技术	7-301-21304-9	秦长海 张天鹏	49	2013	电子课件/答案, 河南省“十二五”教材
15	模拟电子与数字逻辑	7-301-21450-3	邬春明	39	2012	电子课件
16	电路与模拟电子技术实验指导书	7-301-20351-4	唐颖	26	2012	部分课件
17	电子电路基础实验与课程设计	7-301-22474-8	武林	36	2013	部分课件
18	电文化——电气信息学科概论	7-301-22484-7	高心	30	2013	
19	实用数字电子技术	7-301-22598-1	钱裕禄	30	2013	电子课件/答案/其他素材
20	模拟电子技术学习指导及习题精选	7-301-23124-1	姚妮川	30	2013	电子课件
21	电工电子基础实验及综合设计指导	7-301-23221-7	盛桂珍	32	2013	
22	电子技术实验教程	7-301-23736-6	司朝良	33	2014	
23	电工技术	7-301-24181-3	赵莹	46	2014	电子课件/习题答案
24	电子技术实验教程	7-301-24449-4	马秋明	26	2014	
25	微控制器原理及应用	7-301-24812-6	丁筱玲	42	2014	
26	模拟电子技术基础学习指导与习题分析	7-301-25507-0	李大军 唐颖	32	2015	电子课件/习题答案
27	电工学实验教程(第2版)	7-301-25343-4	王士军 张绪光	27	2015	
28	微机原理及接口技术	7-301-26063-0	李干林	42	2015	电子课件/习题答案
29	简明电路分析	7-301-26062-3	姜涛	48	2015	电子课件/习题答案
30	微机原理及接口技术(第2版)	7-301-26512-3	越志诚 段中兴	49	2016	二维码数字资源
电子、通信						
1	DSP 技术及应用	7-301-10759-1	吴冬梅 张玉杰	26	2011	电子课件, 中国大学出版社图书奖首届优秀教材奖一等奖
2	电子工艺实习	7-301-10699-0	周春阳	19	2010	电子课件
3	电子工艺学教程	7-301-10744-7	张立毅 王华奎	32	2010	电子课件, 中国大学出版社图书奖首届优秀教材奖一等奖
4	信号与系统	7-301-10761-4	华容 隋晓红	33	2011	电子课件
5	信息与通信工程专业英语(第2版)	7-301-19318-1	韩定定 李明明	32	2012	电子课件/参考译文, 中国电子教育学会2012年全国电子信息类优秀教材

序号	书名	书号	编著者	定价	出版年份	教辅及获奖情况
6	高频电子线路(第2版)	7-301-16520-1	宋树祥 周冬梅	35	2009	电子课件/习题答案
7	MATLAB 基础及其应用教程	7-301-11442-1	周开利 邓春晖	24	2011	电子课件
8	计算机网络	7-301-11508-4	郭银景 孙红雨	31	2009	电子课件
9	通信原理	7-301-12178-8	隋晓红 钟晓玲	32	2007	电子课件
10	数字图像处理	7-301-12176-4	曹茂永	23	2007	电子课件,“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
11	移动通信	7-301-11502-2	郭俊强 李 成	22	2010	电子课件
12	生物医学数据分析及其MATLAB实现	7-301-14472-5	尚志刚 张建华	25	2009	电子课件/习题答案/素材
13	信号处理 MATLAB 实验教程	7-301-15168-6	李 杰 张 猛	20	2009	实验素材
14	通信网的信令系统	7-301-15786-2	张云麟	24	2009	电子课件
15	数字信号处理	7-301-16076-3	王震宇 张培珍	32	2010	电子课件/答案/素材
16	光纤通信	7-301-12379-9	卢志茂 冯进玫	28	2010	电子课件/习题答案
17	离散信息论基础	7-301-17382-4	范九伦 谢 颢	25	2010	电子课件/习题答案
18	光纤通信	7-301-17683-2	李丽君 徐文云	26	2010	电子课件/习题答案
19	数字信号处理	7-301-17986-4	王玉德	32	2010	电子课件/答案/素材
20	电子线路 CAD	7-301-18285-7	周荣富 曾 技	41	2011	电子课件
21	MATLAB 基础及应用	7-301-16739-7	李国朝	39	2011	电子课件/答案/素材
22	信息论与编码	7-301-18352-6	隋晓红 王艳营	24	2011	电子课件/习题答案
23	现代电子系统设计教程	7-301-18496-7	宋晓梅	36	2011	电子课件/习题答案
24	移动通信	7-301-19320-4	刘维超 时 颖	39	2011	电子课件/习题答案
25	电子信息类专业 MATLAB 实验教程	7-301-19452-2	李明明	42	2011	电子课件/习题答案
26	信号与系统	7-301-20340-8	李云红	29	2012	电子课件
27	数字图像处理	7-301-20339-2	李云红	36	2012	电子课件
28	编码调制技术	7-301-20506-8	黄 平	26	2012	电子课件
29	Mathcad 在信号与系统中的应用	7-301-20918-9	郭仁春	30	2012	
30	MATLAB 基础与应用教程	7-301-21247-9	王月明	32	2013	电子课件/答案
31	电子信息与通信工程专业英语	7-301-21688-0	孙桂芝	36	2012	电子课件
32	微波技术基础及其应用	7-301-21849-5	李泽民	49	2013	电子课件/习题答案/补充材料等
33	图像处理算法及应用	7-301-21607-1	李文书	48	2012	电子课件
34	网络系统分析与设计	7-301-20644-7	严承华	39	2012	电子课件
35	DSP 技术及应用	7-301-22109-9	董 胜	39	2013	电子课件/答案
36	通信原理实验与课程设计	7-301-22528-8	邬春明	34	2015	电子课件
37	信号与系统	7-301-22582-0	许丽佳	38	2013	电子课件/答案
38	信号与线性系统	7-301-22776-3	朱明早	33	2013	电子课件/答案
39	信号分析与处理	7-301-22919-4	李会容	39	2013	电子课件/答案
40	MATLAB 基础及实验教程	7-301-23022-0	杨成慧	36	2013	电子课件/答案
41	DSP 技术与应用基础(第2版)	7-301-24777-8	俞一彪	45	2015	
42	EDA 技术及数字系统的应用	7-301-23877-6	包 明	55	2015	
43	算法设计、分析与应用教程	7-301-24352-7	李文书	49	2014	
44	Android 开发工程师案例教程	7-301-24469-2	倪红军	48	2014	
45	ERP 原理及应用	7-301-23735-9	朱宝慧	43	2014	电子课件/答案
46	综合电子系统设计与实践	7-301-25509-4	武 林 陈 希	32(估)	2015	
47	高频电子技术	7-301-25508-7	赵玉刚	29	2015	电子课件
48	信息与通信专业英语	7-301-25506-3	刘小佳	29	2015	电子课件
49	信号与系统	7-301-25984-9	张建奇	45	2015	电子课件
50	数字图像处理及应用	7-301-26112-5	张培珍	36	2015	电子课件/习题答案
51	激光技术与光纤通信实验	7-301-26609-0	周建华 兰 岚	28	2015	

序号	书名	书号	编著者	定价	出版年份	教辅及获奖情况
自动化、电气						
1	自动控制原理	7-301-22386-4	佟 威	30	2013	电子课件/答案
2	自动控制原理	7-301-22936-1	邢春芳	39	2013	
3	自动控制原理	7-301-22448-9	谭功全	44	2013	
4	自动控制原理	7-301-22112-9	许丽佳	30	2015	
5	自动控制原理	7-301-16933-9	丁 红 李学军	32	2010	电子课件/答案/素材
6	现代控制理论基础	7-301-10512-2	侯媛彬等	20	2010	电子课件/素材, 国家级“十一五”规划教材
7	计算机控制系统(第2版)	7-301-23271-2	徐文尚	48	2013	电子课件/答案
8	电力系统继电保护(第2版)	7-301-21366-7	马永翔	42	2013	电子课件/习题答案
9	电气控制技术(第2版)	7-301-24933-8	韩顺杰 吕树清	28	2014	电子课件
10	自动化专业英语(第2版)	7-301-25091-4	李国厚 王春阳	46	2014	电子课件/参考译文
11	电力电子技术及应用	7-301-13577-8	张润和	38	2008	电子课件
12	高电压技术	7-301-14461-9	马永翔	28	2009	电子课件/习题答案
13	电力系统分析	7-301-14460-2	曹 娜	35	2009	
14	综合布线系统基础教程	7-301-14994-2	吴达金	24	2009	电子课件
15	PLC 原理及应用	7-301-17797-6	缪志农 郭新年	26	2010	电子课件
16	集散控制系统	7-301-18131-7	周荣富 陶文英	36	2011	电子课件/习题答案
17	控制电机与特种电机及其控制系统	7-301-18260-4	孙冠群 于少娟	42	2011	电子课件/习题答案
18	电气信息类专业英语	7-301-19447-8	缪志农	40	2011	电子课件/习题答案
19	综合布线系统管理教程	7-301-16598-0	吴达金	39	2012	电子课件
20	供电配技术	7-301-16367-2	王玉华	49	2012	电子课件/习题答案
21	PLC 技术与应用(西门子版)	7-301-22529-5	丁金婷	32	2013	电子课件
22	电机、拖动与控制	7-301-22872-2	万芳瑛	34	2013	电子课件/答案
23	电气信息工程专业英语	7-301-22920-0	余兴波	26	2013	电子课件/译文
24	集散控制系统(第2版)	7-301-23081-7	刘翠玲	36	2013	电子课件, 2014年中国电子教育学会“全国电子信息类优秀教材”一等奖
25	工控组态软件及应用	7-301-23754-0	何坚强	49	2014	电子课件/答案
26	发电厂变电所电气部分(第2版)	7-301-23674-1	马永翔	48	2014	电子课件/答案
27	自动控制原理实验教程	7-301-25471-4	丁 红 贾玉瑛	29	2015	
28	自动控制原理(第2版)	7-301-25510-0	袁德成	35	2015	电子课件, 辽宁省“十二五”教材
29	电机与电力电子技术	7-301-25736-4	孙冠群	45	2015	电子课件/答案
30	虚拟仪器技术及其应用	7-301-27133-9	廖远江	45	2016	
31	VHDL 数字系统设计与应用	7-301-27267-1	黄 卉 李 冰	42	2016	电子课件

如您需要更多教学资源如电子课件、电子样章、习题答案等, 请登录北京大学出版社第六事业部官网 www.pup6.cn 搜索下载。

如您需要浏览更多专业教材, 请扫下面的二维码, 关注北京大学出版社第六事业部官方微信(微信号: pup6book), 随时查询专业教材、浏览教材目录、内容简介等信息, 并可在线申请纸质样书用于教学。



感谢您使用我们的教材, 欢迎您随时与我们联系, 我们将及时做好全方位的服务。联系方式: 010-62750667, szheng_pup6@163.com, pup_6@163.com, lihu80@163.com, 欢迎来电来信。客户服务QQ号: 1292552107, 欢迎随时咨询。

目 录

第 1 章 概述..... 1	习题..... 91
1.1 EDA 简介..... 1	
1.2 VHDL 简介..... 4	
1.3 EDA 的发展趋势..... 7	
第 2 章 VHDL 语言基本结构..... 8	
2.1 基本的 VHDL 单元..... 8	
2.2 库文件声明及包集合..... 9	
2.3 实体..... 12	
2.4 结构体..... 13	
2.5 类属说明语句..... 15	
2.6 配置..... 16	
2.7 VHDL 文字使用规则..... 17	
2.8 注释..... 19	
习题..... 20	
第 3 章 数据类型..... 22	
3.1 标准的数据类型..... 23	
3.2 IEEE 标准数据类型..... 25	
3.3 用户定义的数据类型..... 26	
3.4 操作符..... 31	
3.5 常量、变量和信号..... 36	
习题..... 46	
第 4 章 基本语句..... 49	
4.1 并行语句..... 50	
4.2 顺序语句..... 70	
4.3 NULL 语句..... 82	
4.4 RETURN 语句..... 83	
4.5 跳出循环的语句..... 84	
4.6 顺序断言语句(ASSERT 语句)..... 86	
4.7 REPORT 语句..... 87	
4.8 VHDL 语言的描述风格..... 88	
第 5 章 组合逻辑电路设计..... 97	
5.1 简单组合逻辑电路的设计方法..... 97	
5.2 数据选择器..... 101	
5.3 数据分配器..... 106	
5.4 编码器..... 107	
5.5 译码器..... 112	
5.6 运算器..... 115	
5.7 数值比较器..... 125	
习题..... 128	
第 6 章 时序逻辑电路设计..... 130	
6.1 时钟信号描述..... 130	
6.2 时序电路的复位设计..... 134	
6.3 触发器..... 135	
6.4 计数器..... 143	
6.5 分频器..... 152	
6.6 移位寄存器..... 161	
6.7 序列信号发生器..... 166	
6.8 状态机..... 170	
习题..... 180	
第 7 章 Quartus II 基本设计流程..... 183	
7.1 Quartus II 简介..... 183	
7.2 自下而上的设计方法..... 185	
7.3 自上而下的设计方法..... 201	
第 8 章 综合实验..... 208	
8.1 动态数码管显示..... 208	
8.2 数控分频器设计..... 214	
8.3 序列脉冲检测器——有限状态机 实现..... 216	



8.4 移位相加 8 位硬件乘法器.....	220	8.10 对 D/A 芯片 TLC5620 的控制.....	254
8.5 数字时钟实验.....	223	8.11 基于 LPM 扫频信号发生器设计.....	260
8.6 采用流水线技术设计高速数字 相关器	229	8.12 直接数字频率合成器(DDS)设计.....	268
8.7 直流电动机 PWM 控制	234	8.13 高速 ADTLC5510 数据采集——嵌入式 逻辑分析仪 SignalTap II 的使用	274
8.8 步进电动机控制.....	242	8.14 VGA 彩色信号显示控制器设计	281
8.9 对 TLC549 的采样控制 (AD 实验).....	248	参考文献.....	289

第 1 章

概 述

【本章教学目标与要求】

- (1) 要求对现代EDA技术有所了解。
- (2) 熟悉Quartus II工具的使用方法，对设计流程有初步的了解。

1.1 EDA 简介

1.1.1 EDA 的发展历史

当今社会随着电子产品的不断进步而飞速发展，人类社会由此也进入了高度发达的信息化时代。从 1959 年的第一块集成电路问世到现今的电子产品，无论是在性能、集成度上，还是在复杂度上都已得到极大的提升。

进入 21 世纪，硅片技术日益成熟，尤其是深亚微米(Deep Sub-Micron, DSM)和超深亚微米(Very Deep Sub-Micron, VDSM)技术，极大地促进了集成电路产业的快速发展，引领当今信息社会发生了翻天覆地的巨大变革。

集成电路发展先后经历了电路集成、功能集成和技术集成三个阶段，而随着当今计算机软硬件的知识集成，传统的电子系统已全面进入现代电子系统阶段，也就是现在普遍所说的 3G 时代(单片集成度达到 1G 个晶体管、器件工作速度达到 1GHz、数据传输速率达到 1Gbit/s)。

随着集成度和性能的飞速提升，电子产品的价格却不断下降，与此同时，产品更新换代的步伐也越来越快，现代电子设计技术已迈入了一个全新的阶段。集成电路设计技术的核心是电子设计自动化(Electronic Design Automation, EDA)技术，专家由此预言，未来的电子技术时代将是 EDA 的时代。

EDA 技术是通过计算机的辅助完成集成电路设计、电子电路设计和印制电路板(Printed Circuit Board, PCB)设计这三个方面的电子设计工作的，如图 1.1 所示。在这一系列过程中，它将应用电子技术、计算机技术、智能化技术等融合在一个电子 CAD 通用软件包中，实现自动化系统操作。没有 EDA 技术的支持，想要完成上述超大规模集成电路的设计制造是不可想象的，反过来，生产制造技术的不断进步又必将对 EDA 技术提出新的要求。



【参考图文】

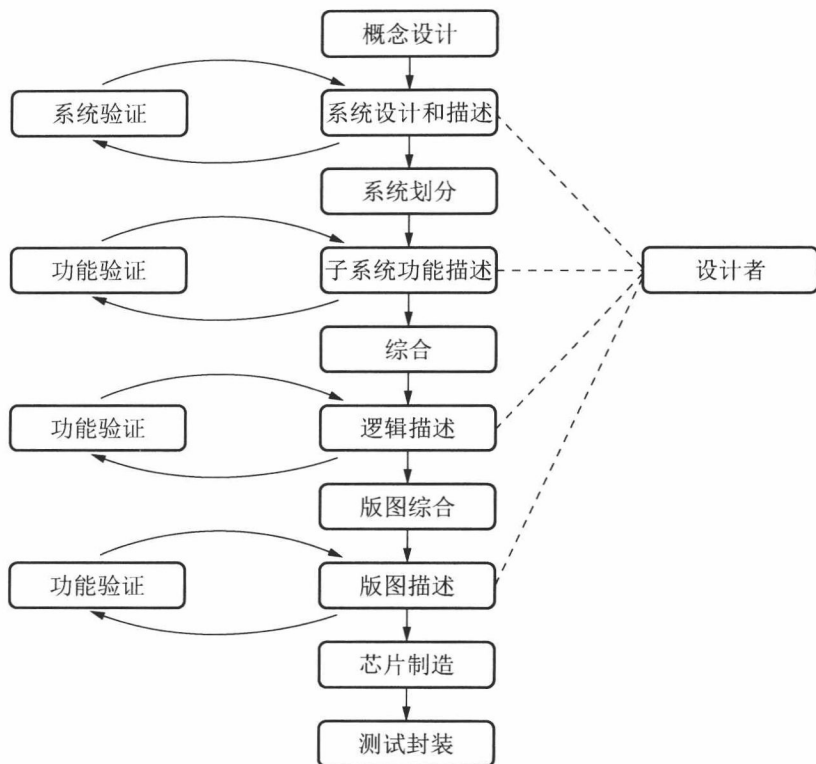


图 1.1 EDA 设计流程图

EDA 是由计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)、计算机辅助制造(Computer Aided Made, CAM)、计算机辅助测试(Computer Aided Test, CAT)及计算机辅助工程(Computer Aided Engineering, CAE)结合发展而出现的,回顾电子设计技术的发展历程,EDA 技术的发展大致可分为以下三个阶段:CAD 阶段、CAE 阶段和 EDA 阶段。

20 世纪 70 年代为 CAD 阶段,人们摒弃了烦琐的手工操作,开始在计算机的帮助下对 IC 版图进行编辑及对 PCB 版图进行布局布线,计算机辅助设计的概念由此产生。

20 世纪 80 年代为 CAE 阶段,在之前的基础上,利用计算机,电子设计者又增加了电路功能设计和结构设计,并且通过电气连接网络表将两者结合在一起,实现了工程设计,这就是计算机辅助工程的概念。CAE 的主要功能是原理图输入、逻辑仿真、电路分析、自动布局布线和 PCB 后分析。

20 世纪 90 年代为 EDA 阶段,相比之前而言,CAD/CAE 技术虽然取得了巨大的成功,但在整个设计过程中,自动化和智能化程度并不高,而且由于各种 EDA 软件千差万别,兼容性差且不易上手,直接导致整个设计环节间的脱节。由此,设计者改进并完善了相应的软件及技术,实现了整个设计过程的自动化,EDA 技术应运而生。通过 EDA 工具,电子设计师从概念、算法、协议开始设计电子系统,从电路设计、性能分析直到 IC 版图或 PCB 版图生成的全过程均可在计算机上自动



【参考图文】



【参考图文】



【参考图文】



完成。EDA 的出现引领了电子设计领域的一场变革。

1.1.2 EDA 的特点

作为现代电子系统设计的主导技术,EDA 具有并行工程(Concurrent Engineering)设计和自顶向下(Top-down)设计两个明显特征。它的整个设计流程是从系统总体要求出发,依次通过行为描述(Behaviour Description)、寄存器传输级(Register Transfer Level, RTL)描述和逻辑综合(Logic Synthesis)三个层次,逐步将设计内容细化,从而完成整体设计。同以前的设计技术相比,EDA 技术更具有系统性、自动化性及高效性,可以说这是一种全新的设计思想与设计理念。

与 EDA 基本特征密切相关的有以下四个概念:

1. “自顶向下”的设计方法

在 20 世纪 90 年代,电子设计者们在设计电子系统时最初采用的是标准集成电路“自底向上”的设计方法,但最终这种方法由于成本高、效率低和容易出错而最终被“自顶向下”的设计方法所取代。

“自顶向下”的设计方法是从系统设计入手,首先在系统顶层进行功能方框图的划分,这样既有利于早期发现结构设计上的错误,避免设计工作的浪费,又减少了逻辑功能仿真的工作量,接着设计者通过软件对前面的方框图进行仿真和纠错,并通过硬件描述语言(HDL)对高层次的系统行为进行描述,然后进行系统一级的验证,最后设计者利用综合优化工具生成具体门电路的网络表,得到 PCB 版图并印制完成后实现最终的硬件电路并进行性能测试。

2. 采用 ASIC 芯片进行设计

随着现在电子产品的复杂度和集成度越来越高,集成电路的体积和功耗也越来越大,与此同时,系统的可靠性却越来越低,而通过 ASIC 芯片进行设计的方法很好地解决了这一难题。到目前为止,ASIC 芯片可分为全定制 ASIC、半定制 ASIC 和可编程 ASIC 三种类型。

目前较为领先的 CPLD 和 FPGA 就属于可编程 ASIC 类型,这两种技术的高密度集成度已高达两百万每门,成为现代高层次电子设计方法的实现载体。它兼具高集成度和可编程的优点,特别适合于产品的快速先期研制和开发。

3. 硬件描述语言

硬件描述语言(Hardware Description Language, HDL)自 1962 年由 Iverson 提出以来,先后出现了很多种软件语言,但随着集成电路及硬件描述语言的发展,HDL 的发展进入多领域和多层次,迫切要求标准化和集成化,最终只有美国国防部(DOD)开发的 VHDL 和 GDA(Gateway Design Automation)公司开发的 Verilog HDL 适应这种发展趋势并被沿用至今。

在电子设计过程中,设计者通过 HDL 软件编程的方式来描述电子系统的逻辑功能、电路结构和连接形式,从而实现电子系统的从最初的系统设计到最后的硬件电路。



【参考图文】



【参考图文】



硬件描述语言是硬件设计人员和 EDA 工具之间的界面, 主要用于从算法级、门级到开关级的多种抽象设计层次的数字系统建模。

设计者通过硬件描述语言的主要功能编写设计文件, 对电子系统行为级建立仿真模型, 然后在计算机及相关软件的辅助下对用 Verilog HDL 或 VHDL 建模的复杂数字逻辑进行仿真, 在仿真无误后对它进行自动综合, 生成符合设计要求的各种网络表, 然后根据相应的网络表通过软件生成具体电路并进行仿真, 最后就可以根据设计生成的电路进行 ASIC 芯片的制造或把它写入 FPGA 和 CPLD 器件中。

4. EDA 系统框架结构

目前, 绝大部分的 EDA 系统都在遵守国际统一技术标准的前提下建立了自己的框架结构, 这些系统框架结构是一系列软件配置及使用 EDA 软件包的规范。在这些系统框架结构的帮助下, 设计者可以对不同的工具软件进行优化组合, 并集成在一个易于管理的统一的环境下进行操作, 这一做法极大地促进了工程自顶向下的设计方法。

1.2 VHDL 简介

1.2.1 VHDL 的发展历史

VHDL 诞生于 1982 年, 1985 年由美国国防部正式推出。它的英文全名是 Very-High-Speed Integrated Circuit Hardware Description Language, 意即甚高速集成电路硬件描述语言。1987 年年底, VHDL 被 IEEE 和美国国防部确认为标准硬件描述语言。自 IEEE 公布了 VHDL 的标准版本以来, VHDL 在电子设计领域得到了广泛的认可, 并逐步取代了原有的非标准的硬件描述语言, 直至今日, VHDL 和 Verilog HDL 作为 IEEE 的工业标准硬件描述语言, 在整个电子工程领域, 已成为最具代表性的通用硬件描述语言。

VHDL 主要应用在行为层和寄存器传输层, 对数字系统的结构、行为、功能和接口进行描述, 而行为层和寄存器传输层可使 VHDL 更好地发挥其面向高层的优势, 通过 VHDL 可将高层次描述转化为低层次门级描述, 从而实现数字电路的设计工作。

VHDL 是一种计算机高级语言, 因此, 无论是它的语言形式还是它的描述风格与句法, 都与绝大多数计算机高级语言一样。有所不同的是, VHDL 还另外含有许多具有硬件特征的语句。因此, VHDL 的程序结构特点是将一项工程设计分成两部分: 外部和内部。一方面, 它既可对一个设计实体定义外部界面, 又可对其内部进行设计开发; 另一方面, 一旦这个实体设计完成, 其他的设计就可以直接调用这个实体。

1.2.2 VHDL 的特点

VHDL 是一种全方位的硬件描述语言, 它几乎覆盖了以往各种硬件描述语言的功能, 也成了电子设计者们必须掌握的工具。设计者利用 VHDL 语言可实现自顶向下或自底向上的电路设计过程, 另外, VHDL 还具有以下优点:

(1) 与其他的硬件描述语言相比, VHDL 具有更强的行为描述能力, 从而使它成为高层次设计的核心, 将设计人员的工作重心集中在系统功能的实现与调试, 而不需要理会具

体的器件结构，大大减轻了设计者的工作强度，并保证电子设计系统的完成。

(2) VHDL 具有丰富的仿真语句和库函数，对设计过程中出现的错误可及时发现并改进，大大节约了设计者的时间、精力及财力。

(3) VHDL 可以用简洁明确的代码描述来进行复杂控制逻辑的设计，灵活且方便，也便于设计结果的交流、保存和重用。

(4) VHDL 是一个标准语言，得到众多 EDA 厂商的支持，因此移植性好，具有支持大规模设计的分解和已有设计的再利用功能。

(5) VHDL 对设计的描述具有相对独立性，不依赖于特定的器件，可直接进行独立的设计。

1.2.3 如何把硬件电路翻译成 VHDL 代码

下面以一个全加器的设计为例，介绍如何用 VHDL 硬件语言描述一个具体电路。如图 1.2 所示的一位全加器端口引脚框图。其中，端口 a 和端口 b 是全加器的二进制输入端，端口 cin 是低位的二进制进位输入端，端口 s 是二进制的和的输出端，端口 cout 是二进制和的进位输出端。如图 1.3 所示，当输入端(a、b 和 cin)1(高电平)的个数是奇数时，s 端口一定是 1；而当两个或更多的输入端为 1 时，cout 端口一定是 1。

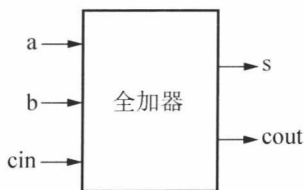


图 1.2 一位全加器端口引脚框图

a	b	cin	s	cout
0	0	0	0	0
0	1	0	1	0
1	0	0	1	0
1	1	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	1	1	1

图 1.3 一位全加器真值表

与全加器对应的 VHDL 语言代码如图 1.4 所示。它主要包括两个部分：一个是实体部分(Entity)；另一个是结构体部分(Architecture)。实体部分用来描述电路端口(Ports)的数量和属性，从图 1.4 中可以看到端口 a、b 和 cin 都是输入(IN)信号，端口 s 和 cout 都是输出(OUT)信号。结构体部分主要用于描述电路实现的逻辑功能。从图 1.4 中可以看到端口 $s = a \oplus b \oplus cin$ ，端口 $cout = ab + acin + bcin$ 。当然也可以用其他方式描述电路的逻辑功能。

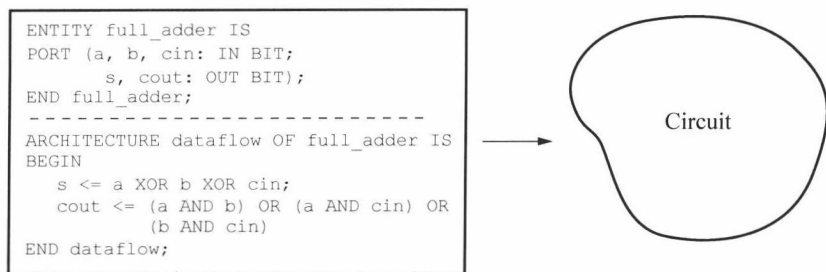


图 1.4 一位全加器的 VHDL 语言代码



(1) 如果我们的设计目标是用可编程逻辑器件(PLD 或 FPGA)来完成,则进位信号 c_{out} 的实现方式有两种,如图 1.5 所示,这两种方式都是基于门电路级的实现方案。

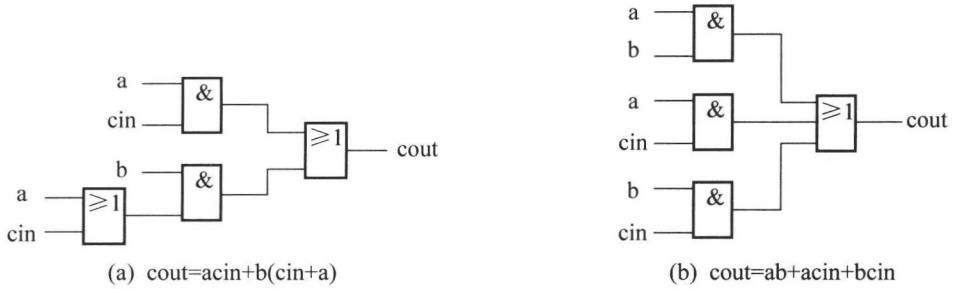


图 1.5 进位信号 c_{out} 的两种门电路级实现方式

(2) 如果我们的设计目标是用专用集成电路(ASIC)来完成,则进位信号 c_{out} 是使用 CMOS 电路结构实现晶体管级的实现方案。如图 1.6 所示,就是利用 MOS 晶体管和 Domino 逻辑结构来完成的。

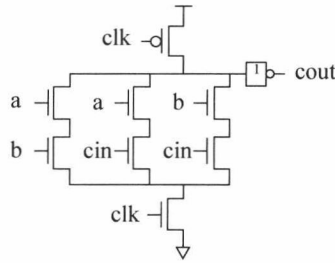


图 1.6 进位信号 c_{out} 的晶体管级实现方法

无论用 VHDL 代码描述的电路最终用何种结构来实现,其逻辑运行的仿真验证结果和实物测试结果都应一致,如图 1.7 所示。其中包括设计过程中的电路功能仿真验证和版图功能仿真验证,以及最后的物理层面上的测试验证。从图 1.7 中可以验证在输入端的不同组合,在输出端都会产生符合图 1.3 中真值表的输出逻辑要求。除了对电路要进行功能仿真外,对有些电路还要进行时序仿真。

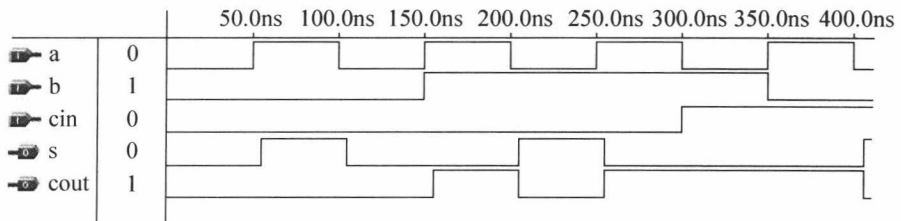


图 1.7 全加器的仿真结果

时序仿真与功能仿真的差别是时序仿真加载到仿真器的参数包括基于实际布局布线设计的最坏情况的布局布线延时,并且在仿真结果波形图中,时序仿真后的信号加载了延时,更接近电路实际。