

高等学校电工电子类系列教材



电工电子仿真与 EDA技术

ELECTRICAL AND ELECTRONIC SIMULATION & EDA TECHNOLOGY

主编 / 侯崇升

主审 / 王宝兴



中国石油大学出版社

高等学校电工电子类系列教

电工电子仿真 与 EDA 技术

主 编 侯崇升
副主编 李立军 刁修睦
参 编 张建军 王树华
主 审 王宝兴

中国石油大学出版社

内容提要

本书以电子电路仿真和可编程逻辑器件(CPLD/FPLD)开发应用为主线,对 Multisim10.0 及其在电路原理、模拟电子技术、数字电子技术领域的典型电路的仿真应用,可编程逻辑器件开发软件 Quartus II 的应用方法,硬件描述语言 VHDL 程序设计基础等作了详细介绍,并给出了大量应用和设计实例。

本书语言简练,内容安排条理清晰,实例丰富,应用性强。

本书可作为本科院校电子类、电气类、通信类专业学生的教材,也可作为课程设计、毕业设计、科技创新实践等活动的指导书,同时还可供职业技术教育、技术培训及从事电子线路分析设计的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子仿真与 EDA 技术/侯崇升主编. —东营:
中国石油大学出版社,2010.8
ISBN 978-7-5636-3208-4

I. ①电… II. ①侯… III. ①电子电路—计算机辅助
设计—高等学校—教材 IV. ①TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 149698 号

电工电子仿真与 EDA 技术

主 编:侯崇升
责任编辑:刘 静

出 版 者:中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)
网 址: <http://www.uppbook.com.cn>
电子信箱: cbs2006@163.com
印 刷 者:青岛锦华信包装有限公司
发 行 者:中国石油大学出版社(电话 0546—8391810)
开 本:185×260 印张:11.5 字数:294 千字
版 次:2010 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
定 价:20.80 元

版权专有,翻印必究。举报电话:0546—8391810

本书封面覆有带中国石油大学出版社标志的激光防伪膜。

本书封面贴有带中国石油大学出版社标志的电码防伪标签,无标签者不得销售。

编 审 委 员 会

BIANSHEN WEIYUANHUI

高等学校电工电子类系列教材 ◀◀

主 任 王志功 (东南大学)

副 主 任 马家辰 (哈尔滨工业大学 (威海))

曹茂永 (山东科技大学)

编委会成员 (以姓氏笔画为序)

于海生 (青岛大学)

王宝兴 (聊城大学)

刘法胜 (山东科技大学)

李贻斌 (山东大学)

张 勇 (济南大学)

周绍磊 (海军航空工程学院)

武玉强 (曲阜师范大学)

侯加林 (山东农业大学)

韩 力 (北京理工大学)

谭博学 (山东理工大学)

王培进 (烟台大学)

卢 燕 (青岛理工大学)

刘庆华 (中国石油大学出版社)

李 明 (中国矿业大学)

郑永果 (山东科技大学)

周应兵 (山东交通学院)

孟祥忠 (青岛科技大学)

唐述宏 (潍坊学院)

褚东升 (中国海洋大学)

綦星光 (山东轻工业学院)

编委会秘书 刘 静 (中国石油大学出版社)

出版说明

电工电子技术作为当前信息技术的基础,在国民经济和社会发展中起着越来越直接和越来越重要的作用。在高校中,由于广阔的技术应用和良好的就业前景,使电工电子类专业成为近年来发展势头最强劲的专业之一。在学生人数激增、学科应用拓展、学科发展加速的现实背景下,要使高校的专业教学跟上发展的步伐,适应社会的需求,则必须进行课程体系和课程内容的改革。这是摆在电工电子类专业从教者面前的一项重要而紧迫的任务。

正是在这种共同认识的驱动下,我们 20 多所高校——一些平时在教学改革方面颇多交流、在学科建设方面颇多借鉴的院校,走到了一起。我们这些院校各有所长,在一起切磋、比较、学习,搭建了一个很好的学习和交流的平台,共同推动了教育教学改革,促进了各自的发展。经验告诉我们,教改的核心是课程体系和课程内容的改革,但课程体系和课程内容改革的成果呈现在学生面前的最主要资源便是构架完备系统的教材。因此,课程改革与教材建设同步,编写出一套适合当前教学改革要求、结构体系完备、体现教学改革思路的好教材,成了我们共同的追求。

教材指导教学,教材体现教改。根据现实的教学需求和进一步的发展规划,我们把这套教材的建设构架为三个方面,也可以说是三个模块:

第一个方面是电工电子的基础理论与技术教材,主要针对工科类学生的通识课或者基础课,包括信号与系统、电路分析、电子线路、模拟电子技术、数字电子技术、单片机原理及应用、微机原理及应用、电气控制及 PLC 技术、计算机控制技术、电机与电气控制技术、传感器与检测技术、电机与拖动等,涵盖电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术等专业的基础知识。为确保教材的权威性、科学性,各书主编及主要撰写者,均由具有多年教学经验的教授和专家担任。教材的覆盖面广、知识面宽,以高校的精品课建设为基础,着重基本概念和基本物理过程的论述,注重教学内容的内拓和精选,突出先进性、针对性和实用性。

第二个方面是实验与实训类教材。实验教学是培养学生基本工程素质、提高工程实践能力的重要手段,是高校工科教育教学改革的核心课题。为此,我们这些高校都极其重视实验教学改革与教材建设,不断更新实训教育理念,注重学生创新能力和动手能力的综合发展。国家级实验教学示范中心是高等学校实验教学研究改革的基地,对全国高等学校实验教学改革具有示范作用。我们的整套实训教材以山东科技大学和青岛大学“国家级电工电子实验教学示范中心”为依托,将任务驱动与项目引领相结合,融基础实验与综合技能训练、系统设计与综合应用、工程训练和创新能力培养为一体,体系完整、内容丰富、工程实践性强,以期达到加强学生的系

统综合设计能力和训练学生工程思维的目的。这一类教材主要包括电路实训教程、模拟电子技术实验教程、数字电路逻辑设计与实训教程、电子工艺与实训教程、PLC 应用实训教程、电子工程实训教程、电气工程实训教程等。相信这部分教材对加强、规范和引导相关高校的实验教学会有一定的借鉴作用。

第三个方面则是我们独具特色的电工电子类专业的双语教学教材。我们本着自编和引进并重的原则,打造适合我国高等教育发展的电工电子类双语教材体系。我们拥有具有东西方不同教学体系下丰富教学经验的外国专家和教授,他们以纯正的英语语言直接面向我们的大学生编写教材,这在国内恐属首创。比如这套教材中的双语教材之一《Introductory Microcontroller Theory and Applications》就是由英籍专家 Michael Collier 主编完成的英文版双语教材。该教材已在试用中得到了教师和学生的很高评价。在编写原创双语教材的同时,为了提供更丰富的双语教材资源,弥补原创双语教材在数量上的不足,各校将在共同讨论的基础上,引进相对适应性广泛的原版教材。另外,电工电子类双语教学网站也在同步建设中,为师生提供双语教学资源,打造师生互动平台。

诸事万物,见仁见智。对一套好教材的追求是我们的愿望。但当我们倾力追求教材对于学校现实的适用性时,又惧怕它们或许已离另一些学校更远。站在不同的起点或角度进行教材构架时,这种差异有时会影响人们对教材的评判。这就时刻提醒我们参与教材编写的院校,在追求教材对于自身的适用性的同时,需要努力与其他院校做更多的沟通和了解,以使自身更好地融入全国教改的主流,同时使这套教材具有更好的普适性,有更广泛的代表意义和借鉴作用。

教材是教学之本。我们希望这套教材:不仅能符合专业培养要求,而且能顺应专业培养方向;不仅能符合教育教学规律,而且能符合学生的接受能力和知识水平;不仅能蕴含和体现丰富的教学经验和思想,而且能为学生呈现良好的学习方法,能指导学生学会自主学习,能调动学生的创造力和学习热情……我们将为此继续努力!

编委会

2010 年 6 月

前言

Preface

EDA 是 Electronic Design Automation(电子设计自动化)的缩写,是一门新兴的电子信息技术学科,属于电子技术等基础学科与计算机技术和智能化技术的交叉前沿学科门类。电工电子相关课程的概念性、实践性、工程应用性较强。将 EDA 技术与电工电子课程相结合,利用其仿真功能软件对典型电路进行仿真分析和设计,可降低硬件成本,加深学生对基本概念的理解,强化学生实践能力和创新能力的培养。通过对可编程逻辑器件开发软件的使用方法、硬件描述语言的介绍,培养和锻炼学生对简单电路系统的分析设计能力,为进一步学习和提高能力夯实基础。

编者根据自己和相关任课教师对电工电子课程的多年开课实践及体会,按照巩固基础理论,突出实际应用的原则组织内容。全书共分 8 章。第 1 章介绍 EDA 技术及发展概况;第 2 章介绍电工电子实验仿真软件 Multisim10.0;第 3 章介绍 Multisim10.0 在电路原理分析中的应用;第 4 章介绍 Multisim10.0 在模拟电路分析中的应用;第 5 章介绍 Multisim10.0 在数字电路分析中的应用;第 6 章介绍 FPGA/CPLD 与开发软件;第 7 章介绍硬件描述语言 VHDL;第 8 章介绍电子系统设计与实践。

EDA 工具层出不穷且都具有较强的功能。本书重点介绍了 Multisim10.0 与可编程逻辑器件开发软件 Quartus II 的应用方法、硬件描述语言 VHDL 程序设计基础,并伴有大量应用和设计实例,期冀使读者获得一定难度的技术知识和系统分析设计的思想,为进一步学习相关知识打下坚实的基础。本书语言简练,实用性强,重点突出。

本书由侯崇升任主编,李立军、刁修睦任副主编。本书的第 1 章、第 2 章、第 5 章的 3~8 节由侯崇升编写;第 3 章由张建军编写;第 4 章、第 5 章的第 1~2 节由刁修睦编写;第 6 章、第 7 章由李立军编写,第 8 章由王树华编写。全书由侯崇升统稿,孟德昌对文字录入做了大量工作。

本书由聊城大学的王宝兴教授主审。王宝兴教授非常仔细地审阅了全部书稿,并提出了许多修改建议。另外,在编写过程中也得到了相关任课老师的指点和帮助,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中参考了大量文献资料,书中未能一一标明和列出,在此对资料作者一并表示诚挚的感谢。编者虽竭尽全力,但由于学识和水平有限,书中误漏难免,热忱欢迎各位读者批评指正。

编 者

2010 年 8 月

e-mail:houchongsheng@126.com

目 录

Contents

第 1 章 EDA 技术

- 1.1 EDA 技术简介 1
 - 1.1.1 EDA 技术的概念及范畴 1
 - 1.1.2 EDA 技术的特征 1
 - 1.1.3 电工电子 EDA 技术的应用 ... 2
- 1.2 常用 EDA 软件简介 3
 - 1.2.1 电子电路设计与仿真工具 3
 - 1.2.2 PCB 设计软件 3
 - 1.2.3 PLD 设计工具 4
- 1.3 EDA 技术的基本设计方法 5
 - 1.3.1 电路级设计 5
 - 1.3.2 系统级设计 6
- 1.4 EDA 技术发展趋势 7
- 本章小结 8

第 2 章 电工电子实验仿真软件 Multisim10.0

- 2.1 Multisim10.0 的基本界面 9
 - 2.1.1 Multisim10.0 主窗口 9
 - 2.1.2 Multisim10.0 菜单栏 10
 - 2.1.3 Multisim10.0 工具栏 13
 - 2.1.4 Multisim10.0 元器件栏 ... 14
 - 2.1.5 Multisim10.0 仪器仪表栏 ... 14
- 2.2 Multisim10.0 基本操作 14
 - 2.2.1 文件基本操作 14
 - 2.2.2 编辑基本操作 15
 - 2.2.3 输入并编辑子电路 15
 - 2.2.4 添加文字与注释 16
 - 2.2.5 编辑图纸标题栏 16
- 2.3 电路设计基础 17
 - 2.3.1 元器件操作 17
 - 2.3.2 电路图选项设置 18
 - 2.3.3 导线操作 20
 - 2.3.4 输入/输出端 21

- 2.4 虚拟仪器及其使用 22
 - 2.4.1 数字万用表 23
 - 2.4.2 瓦特表 23
 - 2.4.3 函数信号发生器 23
 - 2.4.4 示波器 24
 - 2.4.5 频率计数器 25
 - 2.4.6 四通道示波器 26
 - 2.4.7 波特图仪 26
 - 2.4.8 IV 分析仪 27
 - 2.4.9 失真分析仪 28
 - 2.4.10 字信号发生器 28
 - 2.4.11 逻辑转换仪 30
 - 2.4.12 逻辑分析仪 30
 - 2.4.13 频谱分析仪 31
 - 2.4.14 网络分析仪 31
 - 2.4.15 电压表 32
 - 2.4.16 电流表 32
 - 2.4.17 实时测量探头 32
- 2.5 主要电路分析方法 33
 - 2.5.1 直流工作点分析 33
 - 2.5.2 瞬态分析 34
 - 2.5.3 交流分析 35
 - 2.5.4 传递函数分析 35
 - 2.5.5 零-极点分析 36
 - 2.5.6 失真分析 36
 - 2.5.7 噪声分析 37
 - 2.5.8 直流扫描分析 37
 - 2.5.9 参数扫描分析 37
 - 2.5.10 温度扫描分析 38
 - 2.5.11 傅里叶分析 38
 - 2.5.12 灵敏度分析 38
- 本章小结 39

习题与思考题	39
第 3 章 Multisim10.0 在电路原理分析中的应用	
3.1 线性网络等效分析	40
3.1.1 电路原理	40
3.1.2 仿真内容与步骤	41
3.2 线性网络主要特性分析	42
3.2.1 电路原理	42
3.2.2 仿真内容与步骤	44
3.3 受控源电路分析	45
3.3.1 电路原理	45
3.3.2 仿真内容与步骤	46
3.4 正弦稳态交流电路分析	46
3.4.1 电路原理	46
3.4.2 仿真内容与步骤	47
3.5 RLC 串联谐振电路分析	47
3.5.1 电路原理	47
3.5.2 仿真内容与步骤	48
3.6 双口网络参数测试	49
3.6.1 电路原理	49
3.6.2 仿真内容与步骤	49
3.7 单相变压器特性分析	50
3.7.1 电路原理	50
3.7.2 仿真内容与步骤	51
3.8 三相交流电路中电压、电流及功率测量	51
3.8.1 电路原理	51
3.8.2 仿真内容与步骤	52
本章小结	54
习题与思考题	54
第 4 章 Multisim10.0 在模拟电路分析中的应用	
4.1 负反馈放大电路	55
4.1.1 电路原理	55
4.1.2 仿真内容与步骤	56
4.2 功率放大电路	57
4.2.1 电路原理	57
4.2.2 仿真内容与步骤	58
4.3 差动放大电路	59

4.3.1 电路原理	59
4.3.2 仿真内容与步骤	60
4.4 放大器的应用(I)	
——有源滤波器	61
4.4.1 电路原理	62
4.4.2 仿真内容与步骤	63
4.5 集成运算放大器的应用(II)	
——三角波和方波发生器	64
4.5.1 电路原理	64
4.5.2 仿真内容与步骤	65
4.6 RC 正弦波振荡电路	65
4.6.1 电路原理	66
4.6.2 仿真内容与步骤	66
4.7 直流稳压电源	67
4.7.1 电路原理	67
4.7.2 仿真内容与步骤	68
本章小结	69
习题与思考题	69
第 5 章 Multisim10.0 在数字电路分析中的应用	
5.1 编码、译码及显示	71
5.1.1 电路原理	71
5.1.2 仿真内容与步骤	74
5.2 选择器及其应用	76
5.2.1 电路原理	76
5.2.2 仿真内容与步骤	77
5.3 计数器及其应用	78
5.3.1 电路原理	78
5.3.2 仿真内容与步骤	82
5.4 移位寄存器及其应用	83
5.4.1 电路原理	83
5.4.2 仿真内容与步骤	83
5.5 555 定时器及其应用	85
5.5.1 555 电路的工作原理	85
5.5.2 555 定时器的典型应用	86
5.5.3 仿真内容与步骤	87
5.6 数模与模数转换电路	87
5.6.1 电路原理	87
5.6.2 仿真内容与步骤	88

5.7 综合性数字电路设计与仿真(一)	
——数字钟	89
5.7.1 电路设计要求	89
5.7.2 数字钟的基本原理	89
5.7.3 各部分电路设计	90
5.7.4 仿真内容与步骤	91
5.8 综合性数字电路设计与仿真(二)	
——8路智力竞赛抢答器	92
5.8.1 电路设计要求	92
5.8.2 抢答器的基本原理	92
5.8.3 各部分电路设计	92
5.8.4 仿真内容与步骤	95
本章小结	95
习题与思考题	95
第6章 FPGA/CPLD 与开发软件	
6.1 FPGA/CPLD 的结构原理	97
6.1.1 CPLD 的基本结构	97
6.1.2 FPGA 的基本结构	101
6.2 Altera 公司的器件产品	106
6.2.1 Stratix II 系列 FPGA	107
6.2.2 ACEX 系列 FPGA	107
6.2.3 FLEX 系列 FPGA	107
6.2.4 MAX 系列 CPLD	107
6.2.5 Altera 宏功能块及 IP 核	108
6.3 FPGA/CPLD 的设计流程	108
6.3.1 设计要求	109
6.3.2 设计输入	109
6.3.3 设计处理	110
6.3.4 设计检验	110
6.3.5 器件编程与配置	111
6.4 FPGA/CPLD 开发软件	
——Quartus II	111
6.5 原理图输入设计法的基本流程	
.....	112
6.6 VHDL 文本输入方法	120
本章小结	121
习题与思考题	121
第7章 硬件描述语言 VHDL 初步	
7.1 概 述	122
7.1.1 常用硬件描述语言简介	122
7.1.2 VHDL 的特点	122
7.1.3 VHDL 程序设计约定	123
7.2 VHDL 设计文件的基本结构	123
7.2.1 实体	123
7.2.2 结构体与结构体的描述	125
7.2.3 库、程序包及配置	126
7.3 VHDL 的数据类型	133
7.3.1 VHDL 数据对象	133
7.3.2 VHDL 数据类型	135
7.3.3 标识符	138
7.3.4 运算操作符	138
7.4 VHDL 的基本描述语句	142
7.4.1 顺序语句	142
7.4.2 并行语句	145
7.5 状态机的 VHDL 设计	152
7.5.1 状态机的基本结构和功能	
.....	152
7.5.2 一般状态机的 VHDL 设计	
.....	152
7.5.3 Moore 型有限状态机的设计	
.....	156
7.5.4 Mealy 状态机的 VHDL 设计	
.....	158
本章小结	159
习题与思考题	159
第8章 电子系统设计与实践	
8.1 8位十进制数字频率计	161
8.1.1 设计原理	161
8.1.2 程序设计	162
8.1.3 编译、仿真	166
8.2 电梯控制系统的设计	166
8.2.1 设计要求	166
8.2.2 设计实现	166
8.2.3 系统仿真	171
本章小结	171
习题与思考题	171
参考文献	172

第1章 EDA 技术

1.1 EDA 技术简介

电工电子类课程的重要任务是对电路进行分析和设计。EDA 技术的快速发展,使电路的分析和设计由计算机来实现成为可能。

1.1.1 EDA 技术的概念及范畴

1. EDA 技术的概念

20 世纪 90 年代,国际上电子技术和计算机技术较先进的国家一直在积极探索新的电子电路设计方法,并在设计方法、工具等方面进行了彻底的变革,取得了巨大成功。在电子技术设计领域,可编程逻辑器件(如 CPLD、FPGA)已得到广泛的普及和应用。这些器件为数字系统的设计带来了极大的灵活性。通过软件编程对可编程逻辑器件的逻辑功能进行重构,从而使得硬件的设计可以如同软件设计那样方便快捷。这一切极大地改变了传统的数字系统设计方法、设计过程和设计观念,促进了 EDA 技术的迅速发展。

EDA 是 Electronic Design Automation(电子设计自动化)的缩写,于 20 世纪 90 年代初从计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助测试(CAT)和计算机辅助工程(CAE)的概念发展而来。EDA 技术就是以计算机为工具,设计者在(EDA)软件平台上用硬件描述语言(HDL)完成设计文件,然后由计算机自动完成逻辑编译、化简、分割、综合、优化、布局、布线、仿真、适配编译和逻辑映射,通过对特定芯片的编程下载,完成电路功能的实现。EDA 技术的出现,极大地提高了电路设计的效率和可靠性,减轻了设计者的劳动强度。

2. EDA 技术的内容与范畴

EDA 技术是近代电子信息领域的杰出成果。EDA 技术包括电子工程设计的全过程,如系统结构模拟、电路特性分析、绘制电路图和制作 PCB(印刷电路板)、电路实现等,其中,系统结构模拟、电路特性分析称为 EDA 仿真。

20 世纪 90 年代后期,出现的以硬件描述语言、系统级仿真和综合技术为特征的 EDA 技术,使 EDA 工具不仅具有电子系统设计的能力,而且能提供独立于工艺和厂家的系统级设计能力,具有高级抽象的设计构思手段。

现在在机械、电子、通信、航空航天、化工、矿产、生物、医学、军事等各个领域,都有 EDA 的应用。目前 EDA 技术已在各大公司、企事业单位和科研教学部门广泛使用。例如在飞机制造过程中,从设计、性能测试及特性分析到飞行模拟,都可能涉及 EDA 技术。

1.1.2 EDA 技术的特征

EDA 技术代表了当今电子设计技术的最新发展方向,它是电子设计领域的一场革命。它的基本特征是:硬件工具采用较高档次的计算机,软件采用 EDA 工具,功能包括:原理图输入、

硬件描述语言输入、波形输入、仿真设计、可测试设计、逻辑综合、形式验证、时序分析等各个方面。设计方法采用自顶向下的方法,设计工作从高层开始,使用标准化硬件描述语言(VHDL)描述电路行为,自顶向下跨过各个层次,完成整个电子系统的设计。

EDA 技术具有效率高、精度高、可靠性高和成本低等特点,已经广泛应用于电工电子电路(或系统)的分析和设计中。EDA 技术不仅可以取代系统的许多繁琐的人工分析,减轻劳动强度,提高分析和设计能力,避免因为解析法在近似处理中带来的较大误差,还可以与实物试制和调试相互补充,最大限度地降低设计成本,缩短了系统的研制周期。可以说,EDA 技术大大加速了电工电子电路的设计和实验过程。

1. “自顶向下”的设计方法

高层次设计给我们提供了一种“自顶向下”(Top-Down)的全新的设计方法。这种设计方法首先从系统设计入手,在顶层进行功能方框图的划分和结构设计,在方框图一级进行仿真、纠错,并用硬件描述语言对高层次的系统行为进行描述,在系统一级进行验证,然后用综合优化工具生成具体门电路的网表,其对应的物理实现级可以是印刷电路板或专用集成电路。由于设计的主要仿真和调试过程是在高层次上完成的,这不仅有利于早期发现结构设计上的错误,避免设计工作的浪费,而且也减少了逻辑功能仿真的工作量,提高了设计的一次成功率。

2. 硬件描述语言

硬件描述语言 HDL(Hardware Description Language)是 EDA 技术的重要组成部分,常见的 HDL 主要有 VHDL、Verilog HDL、ABEL、AHDL、SystemVerilog 和 SystemC。

其中,VHDL、Verilog 在现在的 EDA 设计中使用最多,也拥有几乎所有主流 EDA 工具的支持,而 SystemVerilog HDL 和 SystemC 还处于完善过程中。本书将重点介绍 VHDL 的编程方法和使用技术。

VHDL 的英文全名是 VHSIC(Very High Speed Integrated Circuit)Hardware Description Language,于 1983 年由美国国防部(DOD)发起创建,由 IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers)进一步发展,并在 1987 年作为“IEEE 标准 1076”发布。从此,VHDL 成为硬件描述语言的业界标准之一。自 IEEE 公布了 VHDL 的标准版本(IEEE Std. 1076)之后,各 EDA 公司相继推出了自己的 VHDL 设计环境,或宣布自己的设计工具支持 VHDL。此后,VHDL 在电子设计领域得到了广泛应用,并逐步取代了原有的非标准硬件描述语言。

VHDL 语言具有很强的电路描述和建模功能,能从多个层次对数字系统进行建模和描述,从而大大简化了硬件设计任务,提高了设计效率和可靠性。

VHDL 具有与具体硬件电路和设计平台无关的特性,并且具有良好的电路行为描述和系统描述的能力,在语言易读性和层次化、结构化设计方面表现出了强大的生命力和应用潜力。因此,VHDL 在支持各种模式的设计方法,如自顶向下与自底向上或混合方法方面,以及在面对当今许多电子产品生命周期的缩短,需要多次重新设计以融入最新技术、改变工艺等方面都表现出了良好的适应性。用 VHDL 进行电子系统设计的一个很大的优点是设计者可以专心致力于其功能的实现,而不需要对不影响功能的、与工艺有关的因素花费过多的时间和精力。

1.1.3 电工电子 EDA 技术的应用

电工电子 EDA 技术在教学、科研、产品设计与制造等各方面都发挥着巨大的作用。

在教学方面,电工电子类课程是自动化、电子信息技术、计算机科学与技术、机电一体化技

术、光电技术及测控技术等众多专业的最重要的技术基础课程,涵盖了电路原理、模拟电子技术 and 数字电子技术等内容。开设电工电子 EDA 技术课程,主要是让学生了解 EDA 技术的基本概念和基本原理;掌握 VHDL 语言的编写规范和逻辑综合的理论与算法;能够使用 EDA 工具进行电子电路课程的实验并从事简单系统的设计;学习电路仿真工具(如 Multisim、PSPICE)和 PLD 开发工具(如 Altera/Xilinx 的器件结构及开发系统),为今后工作打下基础。

在科研方面,主要利用电路仿真工具(Multisim 或 PSPICE)进行电路设计与仿真;利用虚拟仪器进行产品测试;将 CPLD/FPGA 器件实际应用到仪器设备中;从事 PCB 设计和 ASIC 设计等。

在产品设计与制造方面,包括前期的计算机仿真,产品开发中的 EDA 工具应用、系统级模拟及测试环境的仿真,生产流水线的 EDA 技术应用、产品测试等各个环节。如 PCB 的制作、电子设备的研制与生产、电路板的焊接、ASIC 的流片过程等。

目前 EDA 技术可分为三个层次,以 PSPICE、Multisim、MATLAB、SystemView 为软件平台的仿真分析类辅助设计技术为第一层次;以 Quartus II、MaxPlus II、Express、Foundation、NC Simulator 等为软件平台、以 FPGA/CPLD 为硬件系统目标芯片的电子系统设计 EDA 技术为第二层次;以 NC Simulator、Virtuso、Diva 等为软件设计开发平台、以集成电路芯片版图设计并最终流片为目标的 ASIC 芯片设计为第三层次。本书所介绍的 EDA 技术,主要针对电工电子电路的仿真与电子系统设计,即第一、二两个层次。全书以电子电路仿真设计和可编程逻辑器件(CPLD/FPLD)开发应用为主线,重点介绍 Multisim10.0 与可编程逻辑器件开发软件 Quartus II 的应用方法、标准化硬件描述语言 VHDL 程序设计基础,并给出了大量应用和设计实例,期冀使读者获得一定难度的技术知识和系统分析设计的思想,为进一步学习和提高相关知识打下坚实的基础。

1.2 常用 EDA 软件简介

EDA 工具层出不穷,目前进入我国并具有广泛影响的 EDA 软件有:Multisim10.0(原 EWB 的最新版本)、PSPICE、OrCAD、PCAD、Protel、Viewlogic、Mentor、Graphics、Synopsys、LSIlogic、Cadence、MicroSim 等。这些工具都有较强的功能,一般可用于几个方面,例如很多软件都可以进行电路仿真与设计,同时还可以进行 PCB 自动布局布线,可输出多种网表文件与第三方软件接口。按主要功能或主要应用场合,EDA 工具可分为电子电路设计与仿真工具、PCB 设计软件、PLD 设计工具、IC 设计软件及其他 EDA 软件。

1.2.1 电子电路设计与仿真工具

电子电路设计与仿真工具包括 SPICE/PSPICE、Multisim、MATLAB、SystemView、MMI-CAD LiveWire、Edison、Tina Pro Bright Spark 等。下面简单介绍前三种软件,其特点和应用范围如表 1.2.1 所示。

1.2.2 PCB 设计软件

PCB(Printed-Circuit Board)设计软件种类很多,如 Protel、OrCAD、Viewlogic、Power PCB、Cadence PSD、MentorGraphics 的 Expedition PCB、Zuken CadStart、Winboard/Win-draft/Ivex-SPICE、PCB Studio、TANGO、PCB Wizard(与 LiveWire 配套的 PCB 制作软件包)、

Ultiboard10.0(与 Multisim10.0 配套的 PCB 制作软件包)等。

表 1.2.1 常用电子电路设计与仿真工具

工具名称	主要特点	应用范围
SPICE	美国加州大学推出的电路分析仿真软件,是 20 世纪 80 年代世界上应用最广的电路设计软件之一,它是功能最为强大的模拟电路和数字电路混合仿真 EDA 软件,较新版本为 PSPICE9.2	可以进行各种各样的电路仿真、激励建立、温度与噪声分析、模拟控制、波形输出、数据输出,并自行建立元器件及元器件库
Multisim	是 Interactive Image Technologies Ltd. 在 20 世纪末推出的电路仿真软件,其最新版本为 Multisim10.0(原 EWB 的最新版本),它具有更加形象直观的人机交互界面,特别是其仪器仪表库中的各仪器仪表表与操作真实实验中的实际仪器仪表完全一样	提供万用表、信号发生器、瓦特表、双踪示波器、波特仪(相当于实际中的扫频仪)、字信号发生器、逻辑分析仪、逻辑转换仪、失真度分析仪、频谱分析仪、网络分析仪和电压表及电流表等仪器仪表的仿真功能,还可用于 VHDL 仿真和 Verilog HDL 仿真
MATLAB	MATLAB 由 MathWorks 公司开发,具有数据采集、报告生成和 MATLAB 语言编程产生独立 C/C++ 代码等功能,有众多的面向具体应用的工具箱和仿真块,完整的函数集用来对图像信号处理、控制系统设计、神经网络等特殊应用进行分析和设计,其最新版本为 MATLAB. R2008b	广泛应用于数据分析,数值和符号计算、工程与科学绘图,控制系统设计,数字图像信号处理,财务工程,建模、仿真、原型开发,应用开发,图形用户界面设计,通讯系统仿真等诸多领域

目前在我国用得最多的当属 Protel,下面仅对此软件作一介绍。

Protel 是 PROTEL(现为 Altium)公司在 20 世纪 80 年代末推出的 EAD 工具,是 PCB 设计者的首选软件。它较早在国内使用,普及率最高,在很多高校的电类专业还专门开设 Protel 课程,几乎所有的电路设计公司都要用到它。早期的 Protel 主要作为印刷电路板自动布线工具使用,其最新版本为 Protel DXP,现在普遍使用的是 Protel99SE。它是个完整的全方位电路设计系统,包含了电路原理图绘制、模拟电路与数字电路混合信号仿真、多层印刷电路板设计(包含印刷电路板自动布局布线)、可编程逻辑器件设计、图表生成、电路表格生成、支持宏操作等功能,并具有 Client/Server(客户/服务体系结构),同时还兼容一些其他设计软件的文件格式,如 OrCAD、PSPICE、Excel 等。使用多层印刷电路板的自动布线,可实现高密度 PCB 的 100% 布通率。Protel 软件功能强大(同时具有电路仿真功能和 PLD 开发功能)、界面友好、使用方便,但它最具代表性的是电路设计和 PCB 设计。

1.2.3 PLD 设计工具

PLD(Programmable Logic Device)是一种由用户根据需要而自行构造逻辑功能的数字集成电路,目前主要有两大类型:CPLD(Complex PLD)和 FPGA(Field Programmable Gate Array)。它们的基本设计方法是借助 EDA 软件,用原理图、状态机、布尔表达式、硬件描述语言等方法,生成相应的目标文件,最后用编程器或电缆下载,由目标器件实现。生产 PLD 的厂家很多,但最有代表性的为 Altera、Xilinx 和 Lattice。

PLD 的开发工具一般由器件生产厂家提供,但随着器件规模的不断增加,软件的复杂性也随之提高,目前由专门的软件公司与器件生产厂家共同推出了功能强大的设计软件。常用的 PLD 软件开发工具如表 1.2.2 所示。

表 1.2.2 常用 PLD 软件开发工具

工具名称	主要特点	应用范围
MAX+plus II 10.2	Altera 公司的 MAX+plus II 是一种与结构无关的全集成化 EDA 设计环境,使设计者能方便地对 Altera 的各种 CPLD/FPGA 系列进行设计输入、快速处理和器件编程。MAX+plus II 开发系统具有强大的处理能力和高度的灵活性。其主要优点:与结构无关,多平台,丰富的设计库,开放的界面,全集成化,支持多种硬件描述语言等	数字电路 CPLD/FPGA
Quartus II 7.2	Altera 的 Quartus II 是继 MAX+plus II 之后开发的一种针对其公司生产的系列 CPLD/FPGA 器件的设计、仿真、编程的 EDA 工具软件。该软件具有开放性、与结构无关、多平台、完全集成化、丰富的设计库、模块化工具、支持各种 HDL、有多种高级编程语言接口等特点,可以很方便地与以往的 MAX+plus II 设计环境相切换	数字电路 CPLD/FPGA
ISE 10.1i	Xilinx 公司开发的最新 ISE 整合型软件 10.1i 版包括 ISE Foundation、ISE Alliance、ISE WebPACK 和 ISE BaseX 四种类型,ISE 系列软件采用基于工程项目的分层次管理,支持硬件描述语言、原理图和状态图的混合输入设计方式	数字电路 CPLD/FPGA
ispEXPERT	ispEXPERT 是美国 Lattice 公司针对在系统可编程模拟器件 ispPAC 推出的 EDA 软件。该软件界面友好,操作方便,并与第三方 EDA 工具兼容,通过它可进行 VHDL、Verilog HDL 及 ABEL 语言的设计输入、综合、适配、仿真和在系统下载	模拟电路 ispPAC

1.3 EDA 技术的基本设计方法

EDA 技术的每一次进步,都引起了设计层次上的一个飞跃,可以用图 1.3.1 说明。

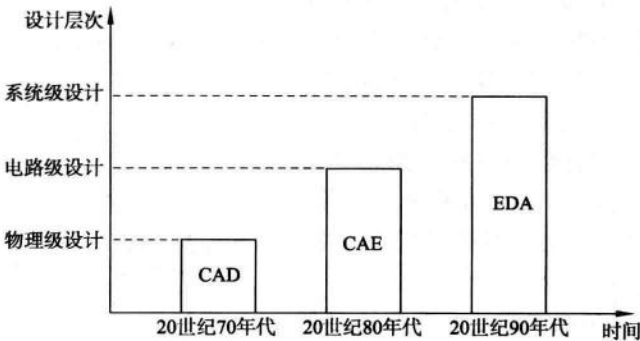


图 1.3.1 EDA 技术设计层次的变化

物理级设计主要指 IC 版图设计,一般由半导体生产厂家完成,对电子技术工程人员并没有太大的意义,因此本书重点介绍电路级设计和系统级设计。

1.3.1 电路级设计

电路级设计的工作流程如图 1.3.2 所示。电子技术工程人员接受系统设计任务后,首先确定设计方案,同时要选择能实现该方案的合适元器件,然后根据具体的元器件设计电路原理图,

接着进行第一次仿真,包括数字电路的逻辑模拟、故障分析、模拟电路的交直流分析、瞬态分析等。在进行系统仿真时,必须要有元件模型库的支持,计算机上模拟的输入输出波形代替了实际电路调试中的信号源和示波器。这一次仿真主要是检验设计方案在功能方面的正确性。

仿真通过后,根据原理图产生的电气连接网络表进行 PCB 板的自动布局布线。在制作 PCB 板之前还可以进行后分析,包括热分析、噪声及串扰分析、电磁兼容分析、可靠性分析等,并且可以将分析后的结果参数标回电路图,进行第二次仿真,也称为后仿真。这一次仿真主要是检验 PCB 板在实际工作环境中的可行性。

由此可见,电路级的 EDA 技术使电子技术工程人员在实际的电子系统产生之前就可以全面地了解系统的功能特性和物理特性,从而将开发过程中出现的缺陷消灭在设计阶段,不仅缩短了开发时间,而且还降低了开发成本。

1.3.2 系统级设计

进入 20 世纪 90 年代以来,电子信息类产品的开发出现了两个明显的特点:一是产品的复杂程度加深;二是产品的上市时限紧迫。然而电路级设计本质上是基于门级描述的单层次设计,设计的所有工作(包括设计输入、仿真和分析、设计修改等)都是在基本逻辑门这一层次上进行的,显然这种设计方法不能适应新的形势,为此引入了一种高层次的电子设计方法,也称为系统级的设计方法。

高层次设计是一种“概念驱动式”设计,设计人员无须通过门级原理图描述电路,而是针对设计目标进行功能描述。由于摆脱了电路细节的束缚,设计人员可以把精力集中于创造性的概念构思与方案上,一旦这些概念构思以高层次描述的形式输入计算机,EDA 系统就能以规则驱动的方式自动完成整个设计。这样,新的概念得以迅速有效的成为产品,大大缩短了产品的研制周期。不仅如此,高层次设计只是定义系统的行为特性,可以不涉及实现工艺,在厂家综合库的支持下,利用综合优化工具可以将高层次描述转换成针对某种工艺优化的网表,工艺转化变得轻松容易。具体的设计流程如图 1.3.3 所示。

下面是高层次设计的具体步骤。

第一步:按照“自顶向下”的设计方法进行系统划分。

第二步:输入 VHDL 代码。这是高层次设计中最为普遍的输入方式。此外,还可以采用图形输入方式(框图、状态图等),此输入方式具有直观、容易理解的优点。

第三步:将以上的设计输入编译成标准的 VHDL 文件。对于大型设计,还要进行代码级的

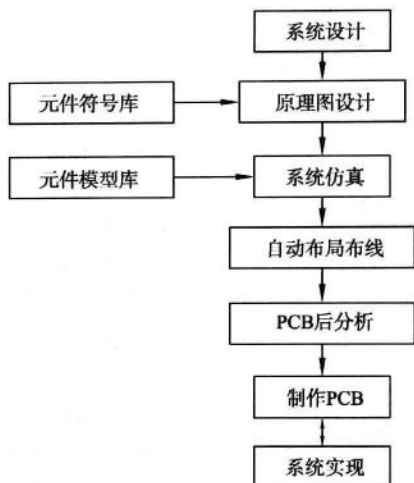


图 1.3.2 电路级设计工作流程

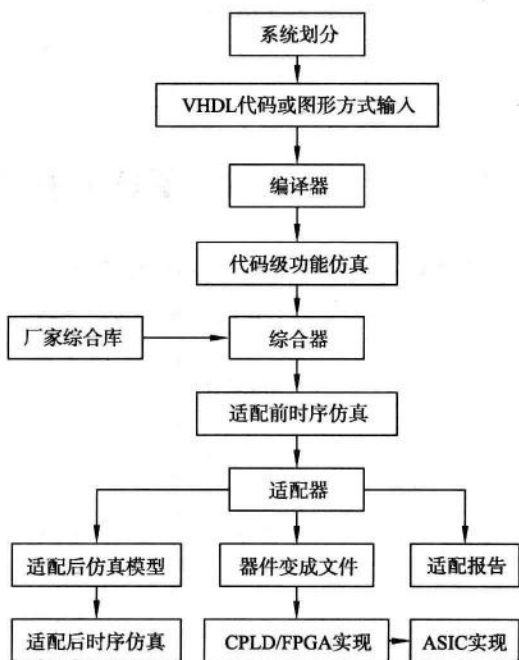


图 1.3.3 系统级设计工作流程

功能仿真,主要是检验系统功能设计的正确性。因为对于大型设计,综合、适配要花费数小时,所以在综合前对源代码仿真可以大大减少设计重复的次数和时间。一般情况下,可略去这一仿真步骤。

第四步:利用综合器对 VHDL 源代码进行综合优化处理,生成门级描述的网表文件。这是将高层次描述转化为硬件电路的关键步骤。综合优化是针对 ASIC 芯片供应商的某一产品系列进行的,所以综合的过程要在相应的厂家综合库的支持下才能完成。综合后,可利用产生的网表文件进行适配前的时序仿真,仿真过程不涉及具体器件的硬件特性,较为粗略。对于一般设计,这一仿真步骤也可略去。

第五步:利用适配器将综合后的网表文件针对某一具体的目标器件进行逻辑映射操作,包括底层器件配置、逻辑分割、逻辑优化和布局布线。适配完成后,产生多项设计结果:① 适配报告,包括芯片内部资源的利用情况、设计的布尔方程描述情况等;② 适配后的仿真模型;③ 器件编程文件。根据适配后的仿真模型,可以进行适配后的时序仿真,因为已经得到器件的实际硬件特性(如时延特性),所以仿真结果能比较精确地预期未来芯片的实际性能。如果仿真结果达不到设计要求,就需要修改 VHDL 源代码或选择不同速度、品质的器件,直至满足设计要求。

第六步:将适配器产生的器件编程文件通过编程器或下载电缆载入到目标芯片 FPGA 或 CPLD 中。如果是大批量产品开发,通过更换相应的厂家综合库,可以很容易转由 ASIC 形式实现。

1.4 EDA 技术发展趋势

随着市场需求的增长和集成工艺水平及计算机自动设计技术的不断提高,单片系统或称系统集成芯片成为 IC 设计的发展方向。这一发展趋势表现在如下几个方面:

(1) 超大规模集成电路的集成度和工艺水平不断提高,深亚微米(Deep-Submicron)工艺,如 $0.13\ \mu\text{m}$ 、 $90\ \text{nm}$ 已经走向成熟,在一个芯片上完成的系统级的集成已成为可能。

(2) 由于工艺线宽的不断减小,在半导体材料上的许多寄生效应已经不能简单地被忽略,这就对 EDA 工具提出了更高的要求,同时,也使得 IC 生产线的投资更为巨大。可编程逻辑器件开始进入传统的 ASIC 市场。

(3) 市场对电子产品提出了更高的要求,如必须降低电子系统的成本,减小系统的体积等,从而对系统的集成度不断提出更高的要求。同时,设计的效率也成了产品能否成功的关键因素,促使 EDA 工具和 IP 核应用更为广泛。

(4) 高性能的 EDA 工具得到长足的发展,其自动化和智能化的程度不断提高,为嵌入式系统设计提供了功能强大的开发环境。

(5) 计算机硬件平台的性能大幅度提高,为复杂的 SOC 设计提供了物理基础。

但现有的 HDL 语言只是提供行为级或功能级的描述,尚无法完成对复杂的系统级的抽象描述。人们正尝试开发一种新的系统级设计语言来完成这一工作,现在已开发出更趋于电路行为级的硬件描述语言(如 SystemC、SystemVerilog)及系统级混合仿真工具,可以在同一个开发平台上完成高级语言(如 C/C++ 等)与标准 HDL 语言(Verilog HDL、VHDL)或其他更低层次描述模块的混合仿真。虽然用户用高级语言编写的模块尚不能自动转化成 HDL 描述,但作为一种针对特定应用领域的开发工具,软件供应商已经为常用的功能模块提供了丰富的宏单元库支持,可以方便地构建应用系统,并通过仿真加以优化,最后自动产生 HDL 代码,进入下一阶段的 ASIC 实现。

此外,随着系统开发对 EDA 技术目标器件的各种性能要求的提高,ASIC 和 FPGA 将更大