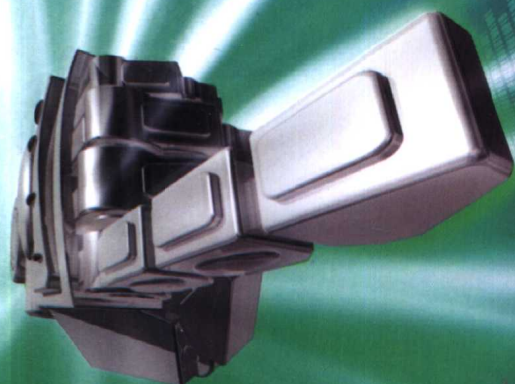




面向

21世纪

高级应用型人才

中国高等职业技术教育研究会推荐
高职高专系列教材

数字电路EDA设计

顾 斌 赵明忠 姜志鹏 马才根 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

□中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专系列教材

数字电路 EDA 设计

顾 斌 赵明忠 姜志鹏 马才根 编著

徐光辉 主审

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

本书主要内容有 Altera 可编程逻辑器件、MAX+plus II 开发工具、VHDL 硬件描述语言和丰富的数字电路及数字电子系统 EDA 设计实例。

本书分为上、下两篇。上篇为理论篇,阐述了 Altera 主要系列的 CPLD 和 FPGA 芯片的结构及特点,以及相应的开发软件 MAX+plus II 的使用,详尽介绍了 VHDL 的基本语言和实用技术;下篇为实践篇,列举了大量设计实例,这些实例程序全部通过了仿真,并均在 JLE 型 EDA 实验与开发系统上通过了硬件测试,实例对大部分实验现象和结果进行了详细分析。

本书实用性强,适合作为高职高专类院校的专业教材,也可供有关专业人员参考。

★为方便教学,本书配有电子教案,有需要的老师可与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

数字电路 EDA 设计/顾斌等编著. —西安:西安电子科技大学出版社, 2004.2

(高职高专系列教材)

ISBN 7 - 5606 - 1350 - 0

I. 数… II. 顾… III. 硬件描述语言—数字电路—计算机辅助设计—高等学校:技术学校—教材
IV TN790.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 121159 号

策 划 马乐惠

责任编辑 张 友 张晓燕

出版发行 西安电子科技大学出版社 (西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

[http //www.xduph.com](http://www.xduph.com)

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 17.75

字 数 415 千字

印 数 1~4 000 册

定 价 19.00 元

ISBN 7 - 5606 - 1350 - 0 / TN · 0256(课)

XDUP 1621001 - 1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

序

1999 年以来,随着高等教育大众化步伐的加快,高等职业教育呈现出快速发展的形势。党和国家高度重视高等职业教育的改革和发展,出台了一系列相关的法律、法规、文件等,规范、推动了高等职业教育健康有序的发展。同时,社会对高等职业技术教育的认识在不断加强,高等技术应用型人才及其培养的重要性也正在被越来越多的人所认同。目前,高等职业技术教育在学校数、招生数和毕业生数等方面均占据了高等教育的半壁江山,成为高等教育的重要组成部分,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着极其重要的作用。

在高等职业教育大发展的同时,也有着许多亟待解决的问题。其中最主要的是按照高等职业教育培养目标的要求,培养一批具有“双师素质”的中青年骨干教师;编写出一批有特色的基础课和专业主干课教材;创建一批教学工作优秀学校、特色专业和实训基地。

为解决当前信息及机电类精品高职教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会分两轮联合策划、组织编写了“计算机、通信电子及机电类专业”系列高职高专教材共 100 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材着力把握高职高专“重在技术能力培养”的原则,结合目标定位,注重在新颖性、实用性、可读性三个方面能有所突破,体现高职教材的特点。第一轮教材共 36 种,已于 2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材二等奖。第二轮教材预计在 2004 年全部出齐。

教材建设是高等职业院校基本建设的主要工作之一,是教学内容改革的重要基础。为此,有关高职院校都十分重视教材建设,组织教师积极参加教材编写,为高职教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职教材的建设起步时间不长,还需要做艰苦的工作,我们殷切地希望广大从事高等职业教育的教师,在教书育人的同时,组织起来,共同努力,编写出一批高职教材的精品,为推出一批有特色的、高质量的高职教材作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

李宗尧

IT类专业系列高职高专教材编审专家委员会名单

主 任：高 林 （北京联合大学副校长，教授）

副主任：温希东 （深圳职业技术学院电子通信工程系主任，教授）

李卓玲 （沈阳电力高等专科学校信息工程系主任，教授）

李荣才 （西安电子科技大学出版社总编辑，教授）

计 算 机 组：组长：李卓玲(兼) （成员按姓氏笔画排列）

丁桂芝 （天津职业大学计算机工程系主任，教授）

王海春 （成都航空职业技术学院电子工程系副教授）

文益民 （湖南工业职业技术学院信息工程系主任，副教授）

朱乃立 （洛阳大学电子工程系主任，教授）

李 虹 （南京工业职业技术学院电气工程系副教授）

陈 晴 （武汉职业技术学院计算机科学系主任，副教授）

范剑波 （宁波高等专科学校电子技术工程系副主任，副教授）

陶 霖 （上海第二工业大学计算机学院教授）

徐人凤 （深圳职业技术学院计算机应用工程系副主任，高工）

章海鸥 （金陵科技学院计算机系副教授）

鲍有文 （北京联合大学信息学院副院长，副教授）

电子通信组：组长：温希东(兼) （成员按姓氏笔画排列）

马晓明 （深圳职业技术学院电子通信工程系副主任，副教授）

于 冰 （宁波高等专科学校电子技术工程系副教授）

孙建京 （北京联合大学教务长，教授）

苏家健 （上海第二工业大学电子电气工程学院副院长，高工）

狄建雄 （南京工业职业技术学院电气工程系主任，副教授）

陈 方 （湖南工业职业技术学院电气工程系主任，副教授）

李建月 （洛阳大学电子工程系副主任，副教授）

李 川 （沈阳电力高等专科学校自动控制系副教授）

林训超 （成都航空职业技术学院电子工程系主任，副教授）

姚建永 （武汉职业技术学院电子信息系主任，副教授）

韩伟忠 （金陵科技学院龙蟠学院院长，高工）

项目总策划：梁家新

项 目 策 划：马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

电 子 教 案：马武装

前 言

电子技术在不断地发展,电子系统的设计方法也随之发生变革,基于 EDA 技术的设计方法正在成为现代电子系统设计的主流。

大规模可编程逻辑器件 FPGA/CPLD 是当今应用最广泛的两类可编程专用集成电路(ASIC)。电子设计工程师只要拥有一台电脑,一套 EDA 开发工具,一块 FPGA/CPLD 芯片,就可以设计出所需的专用集成电路,大大减少了开发成本和开发时间,设计人员可以通过软件编程来修改硬件的功能,极大地提高了设计的灵活性和通用性。

由于具备上述特点,在世界范围内,FPGA/CPLD 受到了业界的普遍欢迎,在近几年得到了迅猛的发展,其集成度、工作速度不断提高。目前,单片可用门数超过 300 万门、工作频率可达 1 GHz 以上的可编程器件已投入商用。由于结构和工艺的改进,可编程 ASIC 芯片上包含的资源越来越丰富,可实现的功能越来越强,它们已成为当今实现电子系统集成化的重要手段。而可编程 ASIC 的开发技术——EDA 技术,势必成为广大电子信息工程类各专业领域工程技术人员的必修课。

国家教育部高度重视 EDA 技术的教学,要求电子技术类课程的体系和内容作相应改革,在设计手段上应用 EDA 工艺和 FPGA/CPLD 方法。EDA 技术和 FPGA/CPLD 方法是电子技术类课程教学改革的重要方向。该课程应作为高职高专院校电子类各个专业的学生必须掌握的一门重要新技术课程。目前,高职院校的 EDA 教学可分为两个层次:第一层次是 EWB、Protel 的学习;第二层次是基于 FPGA/CPLD 的数字电路与数字系统的设计开发。

本书是作者在多年开发和教授 EDA 技术经验的基础上编写而成的。书中的实践篇和作者自行研制的配套“JLE 型 EDA 实验与开发系统”早已在金陵科技学院(原金陵职业大学)、南京技师学院、南京高级技工学校等多所职业类院校中作为教师培训和学生教学的讲义及实验教学仪器推广使用,收到了很好的效果。

本书按照器件介绍—开发工具介绍—基本电路设计—应用电路设计的顺序编写。第 1~4 章为理论篇,其中第 1 章重点介绍了 EDA 和 ASIC 的基本概念;第 2 章以 Altera 公司的产品为例介绍了目前广泛使用的大规模可编程逻辑器件的特点、性能和发展趋势;第 3 章介绍了开发大规模可编程逻辑器件的 EDA 设计手段,重点介绍了 Altera 公司的 EDA 开发软件 MAX+plus II 的使用方法;第 4 章重点介绍了

国际标准通用硬件描述语言 VHDL 的程序结构、语言要素、常用语句以及仿真方法等内容,为后续章节的电路设计的学习打下基础。第 5~7 章是实践篇,分别介绍了组合逻辑电路、时序逻辑电路和综合数字电子系统的设计方法,并列举了大量实例,这些实例程序均仿真通过并全部在实验装置上得到验证,实例对大部分实验现象和结果都进行了详细分析。

本书第 1 章由顾斌和徐光辉共同编写;第 2、3 章由顾斌编写;第 4 章由姜志鹏编写;第 5 章由马才根和李蓓蓓共同编写;第 6 章由顾斌和姜志鹏共同编写;第 7 章由赵明忠编写。全书由顾斌统稿。

刘艳雯、史俊在本书编写过程中做了大量的文字工作,吴彬彬、朱媛媛和史俊对部分电路进行了仿真和验证,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏与差错之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2003 年 11 月于南京

目 录

上篇 理 论 篇

第 1 章 EDA 技术概述.....3	2.5.4 ACEX 系列器件.....38
1.1 现代电子系统的设计方法.....3	2.5.5 APEX 系列器件简介.....42
1.1.1 概述.....3	习题.....50
1.1.2 ASIC 技术.....4	
1.2 EDA 技术.....5	第 3 章 可编程逻辑器件的设计与开发.....51
1.2.1 概述.....5	3.1 可编程逻辑器件的设计过程.....51
1.2.2 EDA 技术的基本特征.....6	3.2 可编程逻辑器件的开发环境.....53
1.3 可编程专用集成电路 ASIC.....7	3.2.1 ISP Synario 系统.....54
1.3.1 概述.....7	3.2.2 Foundation 系统.....54
1.3.2 主要特点.....8	3.2.3 MAX+plus II 系统.....55
1.3.3 可编程 ASIC 技术展望.....9	3.3 硬件描述语言.....56
习题.....12	3.3.1 ABEL-HDL.....56
	3.3.2 Verilog-HDL.....57
第 2 章 可编程逻辑器件.....13	3.3.3 VHDL.....57
2.1 可编程逻辑器件的分类.....13	3.3.4 VHDL 和 Verilog-HDL 的比较.....58
2.1.1 可编程逻辑器件按集成度分类.....13	3.4 MAX+plus II 软件介绍.....58
2.1.2 可编程逻辑器件的其他分类方法.....14	3.4.1 原理图编辑器(Graphic Editor).....58
2.2 可编程逻辑器件的基本结构.....14	3.4.2 符号编辑器(Symbol Editor).....59
2.2.1 PLD 电路的表示方法及有关符号.....15	3.4.3 文字编辑器(Text Editor).....59
2.2.2 与 - 或阵列.....16	3.4.4 波形编辑器(Waveform Editor).....60
2.2.3 宏单元.....17	3.4.5 编译(Compiler).....60
2.3 可编程逻辑器件的基本资源.....17	3.4.6 信息(Messages).....60
2.3.1 功能单元.....17	3.4.7 仿真(Simulator).....61
2.3.2 输入/输出引脚.....18	3.4.8 烧写(Programmer).....61
2.3.3 布线资源.....19	3.4.9 时间分析(Timing Analyzer).....61
2.3.4 片内 RAM.....21	3.4.10 引脚平面编辑器(Floorplan Editor).....62
2.4 可编程逻辑器件的编程元件.....23	3.4.11 体系显示窗口(Hierarchy Display).....62
2.5 Altera 公司的可编程逻辑器件.....26	3.5 如何使用 MAX+plus II.....63
2.5.1 Altera 公司的产品简介.....26	3.5.1 原理图编辑.....63
2.5.2 MAX 7000 系列的结构特点.....27	3.5.2 文字编辑——VHDL 设计.....71
2.5.3 FLEX 10K 系列的结构特点.....30	习题.....77

第4章 VHDL 语言	78	4.2.3 程序包、库及配置	92
4.1 VHDL 概述	78	4.2.4 VHDL 的常用语句	95
4.1.1 VHDL 的特点	79	4.3 VHDL 语言的数据类型及运算操作符	107
4.1.2 VHDL 程序的一般结构	79	4.3.1 VHDL 语言的客体及其分类	107
4.2 VHDL 语言的程序结构	80	4.3.2 VHDL 语言的数据类型	109
4.2.1 实体 (Entity)	80	4.3.3 VHDL 语言的运算操作符	112
4.2.2 结构体(Architecture)	82	习题	117

下篇 实 践 篇

第5章 组合逻辑电路设计	121	6.13 有限状态机的设计	225
5.1 基本门电路的设计	121	6.13.1 莫尔型状态机	225
5.2 数据选择器的设计	126	6.13.2 米里型状态机	228
5.3 1对2数据分配器的设计	132	习题	232
5.4 4位BCD译码器的设计	136	第7章 数字系统设计实例	236
5.5 三态门的设计	140	7.1 半整数分频器的设计	236
5.6 半加器的设计	144	7.1.1 小数分频的基本原理	236
5.7 全加器的设计	148	7.1.2 电路组成	237
5.8 6位加法器的设计	153	7.1.3 VHDL 程序	237
5.9 4位加减法器的设计	158	7.1.4 仿真结果	238
5.10 3位乘法器的设计	162	7.1.5 下载验证	238
习题	167	7.2 音乐发生器	239
第6章 时序逻辑电路设计	169	7.2.1 音名与频率的关系	239
6.1 基本D触发器的设计	170	7.2.2 音长的控制	240
6.2 JK 触发器	176	7.2.3 演奏时音名的动态显示	240
6.3 带异步复位/置位端的使能T触发器	182	7.2.4 VHDL 程序	241
6.4 基本计数器的设计	187	7.2.5 仿真结果	244
6.5 同步清零的计数器	191	7.2.6 下载验证	245
6.6 同步清零的可逆计数器	195	7.3 2FSK/2PSK 信号产生器	245
6.7 同步预置数的计数器	200	7.3.1 2FSK 基本原理	245
6.8 带进制的计数器	204	7.3.2 2FSK 信号产生器	246
6.9 基本移位寄存器的设计	207	7.3.3 2FSK/2PSK 信号产生器	247
6.9.1 基本数据寄存器	207	7.3.4 2FSK 信号产生器的 VHDL 程序	248
6.9.2 串入/串出移位寄存器	211	7.3.5 2PSK 信号产生器的 VHDL 程序	251
6.10 同步预置数串行输出移位寄存器	215	7.3.6 仿真结果	254
6.11 循环移位寄存器	218	7.3.7 下载验证	255
6.12 6位双向移位寄存器	221	7.4 实用多功能电子表	255

7.4.1 功能描述	255	7.5.4 仿真结果	266
7.4.2 电路组成	256	7.5.5 下载验证	266
7.4.3 Verilog-HDL 程序	258	7.6 数字频率计	267
7.4.4 仿真结果	263	7.6.1 测频原理	267
7.4.5 下载验证	263	7.6.2 频率计实现	267
7.5 交通灯控制器	263	7.6.3 VHDL 程序	268
7.5.1 功能描述	264	7.6.4 仿真结果	269
7.5.2 交通灯控制器的实现	264	7.6.5 下载验证	269
7.5.3 VHDL 程序	265	习题	269
附录 JLE 型 EDA 实验与开发系统使用介绍	270		
参考文献	273		



上 篇

理 论 篇



第 1 章 EDA 技术概述



本章提要

本章介绍了 EDA 技术的基本概念, 主要包括:

- 现代电子系统的设计方法与 ASIC 技术;
- EDA 技术的基本特征和 EDA 工具;
- 可编程专用集成电路 ASIC。



1.1 现代电子系统的设计方法

1.1.1 概述

无论是现代高精尖电子设备如雷达、软件无线电电台等, 还是为我们所熟悉的微机、手机、VCD 等现代电子装置, 其核心构成都是数字电子系统。随着微电子技术和计算机技术的发展, 集成电路不断更新换代, 出现了现场可编程逻辑器件, 数字电子系统的设计方法和设计手段也发生了很大的变化。特别是进入 20 世纪 90 年代以后, EDA(电子设计自动化)技术的发展和普及给电子系统的设计带来了革命性的变化, 并已渗透到电子系统设计的各个领域。

传统的数字系统设计只能对电路板进行设计, 把所需的具有固定功能的标准集成电路像积木块一样堆积于电路板上, 通过设计电路板来实现系统功能。利用 EDA 工具, 采用可编程器件, 通过设计芯片来实现系统功能, 这样不仅可以通过芯片设计实现多种数字逻辑系统功能, 而且由于管脚定义的灵活性, 大大减轻了电路图设计和电路板设计的工作量和难度, 从而有效地增强了设计的灵活性, 提高了工作效率; 同时基于芯片的设计可以减少芯片的数量, 缩小系统体积, 降低能源消耗, 提高系统的性能和可靠性。这种基于芯片的设计方法正在成为现代电子系统设计的主流。现在, 只要拥有一台计算机、一套相应的 EDA 软件和空白的可编程逻辑器件芯片, 在实验室里就可以完成数字系统的设计和生产。当今的数字系统设计已经离不开可编程逻辑器件和 EDA 设计工具。

现在人们可以把数以亿计的晶体管、几百万门的电路集成在一个芯片上。半导体集成电路也由早期的单元集成、部件电路集成发展到整机电路集成和系统电路集成。电子系统

的设计方法也由过去的那种集成电路厂家提供通用芯片, 整机系统用户采用这些芯片组成电子系统的“Bottom-up”(自底向上)设计方法改变为一种新的“Top-down”(自顶向下)设计方法。在这种新的设计方法中, 由整机系统用户对整个系统进行方案设计和功能划分, 系统的关键电路用一片或几片专用集成电路 ASIC 来实现, 且这些专用集成电路是由系统和电路设计师亲自参与设计的, 直至完成电路到芯片版图的设计, 再交由 IC 工厂投片加工, 或者用可编程 ASIC(例如 CPLD 和 FPGA)现场编程实现。图 1-1 所示为电子系统的两种不同的设计步骤。

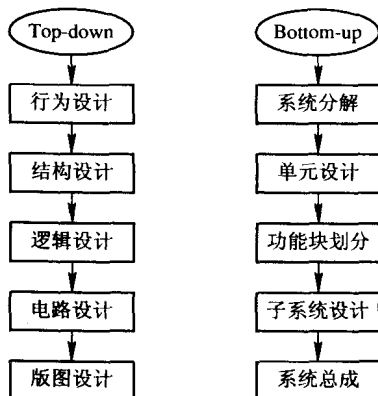


图 1-1 “自顶向下”(左图)与“自底向上”(右图)的设计

1.1.2 ASIC 技术

ASIC(Application Specific Integrated Circuits)直译为“专用集成电路”, 与通用集成电路相比, 它是面向专门用途的电路, 以此区别于标准逻辑(Standard Logic)、通用存储器、通用微处理器等电路。ASIC 是相对于通用集成电路而言的, 两者并无明显界限。

ASIC 的提出和发展说明集成电路进入了一个新阶段。通用的、标准的集成电路已不能完全适应电子系统的急剧变化和更新换代。目前 ASIC 在总的 IC 市场中的占有率已发展到近 1/3, 在整个逻辑电路市场中的占有率已超过一半。与通用集成电路相比, ASIC 在构成电子系统时具有以下几个方面的优越性:

(1) 提高了产品的可靠性。用 ASIC 芯片进行系统集成后, 外部连线减少, 为调试和维修带来极大的方便, 系统可靠性明显提高。

(2) 易于获得高性能。ASIC 针对专门的用途而特别设计, 它是系统设计、电路设计和工艺设计的紧密结合, 这种一体化的设计有利于得到前所未有的高性能系统。

(3) 可增强产品的保密性和竞争力。电子产品中的 ASIC 芯片对用户来说相当于一个“黑盒子”。

(4) 在大批量应用时, 可显著降低产品的综合成本。用 ASIC 来设计和生产产品大幅度减少了印刷电路板面积及其他元器件数量, 降低了装配调试费用。

(5) 提高了产品的工作速度。

(6) 缩小了体积, 减轻了重量, 降低了功耗。

ASIC 按功能的不同可分为数字 ASIC、模拟 ASIC 和微波 ASIC; 按使用材料的不同可

分为硅 ASIC 和砷化镓 ASIC。一般来说,数字、模拟 ASIC 主要采用硅材料,微波 ASIC 主要采用砷化镓材料。砷化镓具有高速、抗辐射能力强、寄生电容小和工作温度范围宽等优点,目前已在移动通信、卫星通信等方面得到广泛应用。对硅材料 ASIC,按制造工艺的不同还可进一步将其分为 MOS 型、双极型和 BiCMOS 型。

ASIC 的设计流程如图 1-2 所示,为了保证设计的正确性,对每一个设计层次都要进行计算机模拟与验证。

按照设计方法的不同,设计 ASIC 可分为全定制和半定制两类。全定制法是一种基于晶体管级的设计方法,半定制法是一种约束性设计方法。约束的目的是简化设计、缩短设计周期、提高芯片成品率。对于某些性能要求很高、批量较大的芯片,一般采用全定制法设计,用全定制法设计时须采用最佳的随机逻辑网络,且每个单元都必须精心设计,另外还要精心地布局布线,将芯片设计得最紧凑,以期实现速度快、面积利用率高、功耗低等的最优性能。但是,很多产品的产量不大或者不允许设计时间过长,这时只能对芯片面积或性能作出牺牲,并尽可能采用已有的、规则结构的版图。为了争取时间和市场,也可采用半定制法,先用最短的时间设计出芯片,在占领市场的过程中再予以改进,进行二次开发。因此半定制与全定制两种设计方式的优缺点是互补的,设计人员可根据不同的要求选择合适的设计方法。

20 世纪 80 年代中期出现了复杂可编程逻辑器件。复杂可编程逻辑器件是 ASIC 的一个重要分支,它是一种已完成了全部工艺制造,可直接从市场上购得的产品,用户只要对它编程就可实现所需要的电路功能,所以称它为可编程 ASIC。以上介绍的两类 ASIC 芯片都必须到 IC 厂家去加工制造才能完成,而采用可编程逻辑器件,设计人员在实验室即可设计和制造出芯片,而且可反复编程,修改错误,这就大大地方便了设计者。

可编程逻辑器件发展到今天,其规模越来越大,功能越来越强,价格越来越便宜,相配套的 EDA 软件越来越完善,因而深受设计人员的喜爱。目前,在电子系统的开发阶段的硬件验证过程中,一般都采用可编程逻辑器件,以期尽快开发产品,迅速占领市场。等大批量生产时,再根据实际情况转换成前面三种方法中的一种进行“再设计”。

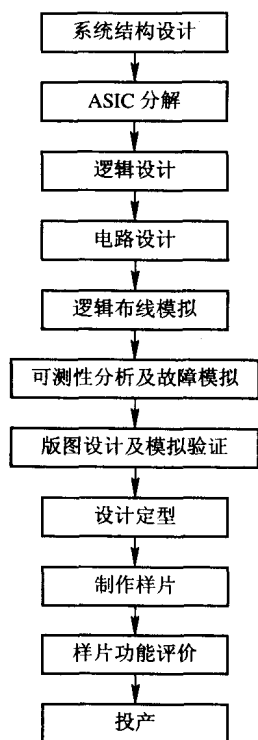


图 1-2 ASIC 设计的一般流程

1.2 EDA 技术

1.2.1 概述

EDA(Electronic Design Automation)即电子设计自动化。EDA 技术指的是以计算机硬件和系统软件为基本工作平台,继承和借鉴前人在电路和系统、数据库、图形学、图论和拓

扑逻辑、计算数学、优化理论等多学科的最新科技成果而研制成的商品化通用支撑软件和应用软件包。EDA 旨在帮助电子设计工程师在计算机上完成电路的功能设计、逻辑设计、性能分析、时序测试直至 PCB(印刷电路板)的自动设计。

与早期的电子 CAD 软件相比,EDA 软件的自动化程度更高,功能更完善,运行速度更快,而且操作界面友好,有良好的数据开放性和互换性,即不同厂商的 EDA 软件可相互兼容。因此,EDA 技术很快在世界各大公司、企业和科研单位得到了广泛应用,并已成为衡量一个国家电子技术发展水平的重要标志。

EDA 技术的范畴应包括电子工程师进行产品开发的全过程,以及电子产品生产的全过程中期望由计算机提供的各种辅助工作。从一个角度看,EDA 技术可粗略分为系统级、电路级和物理实现级三个层次的辅助设计过程;从另一个角度来看,EDA 技术应包括电子电路设计的各个领域,即从低频电路到高频电路,从线性电路到非线性电路,从模拟电路到数字电路,从分立电路到集成电路的全部设计过程。

1.2.2 EDA 技术的基本特征

现代 EDA 技术的基本特征是采用高级语言描述,具有系统级仿真和综合能力。下面介绍与这些基本特征有关的几个新概念。

1. “自顶向下”设计方法

“自顶向下”的设计方法首先从系统级设计入手,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;在功能级进行验证,然后用逻辑综合优化工具生成具体的门级逻辑电路的网表,其对应的物理实现级可以是印刷电路板或专用集成电路。“Top-down”设计方法有利于在早期发现结构设计中的错误,提高设计的一次成功率,因而在现代 EDA 系统中被广泛采用。

2. 硬件描述语言(HDL)

用硬件描述语言进行电路与系统的设计是当前 EDA 技术的一个重要特征。与传统的原理图输入设计方法相比较,硬件描述语言更适合于规模日益增大的电子系统,它还是进行逻辑综合优化的重要工具。硬件描述语言使得设计者在比较抽象的层次上描述设计的结构和内部特征。它的突出优点是:语言的公开可利用性;设计与工艺的无关性;宽范围的描述能力;便于组织大规模系统的设计;便于设计的复用和继承等。目前最常用的硬件描述语言有 VHDL 和 Verilog-HDL,它们都已经成为 IEEE 标准。

3. 逻辑综合优化

逻辑综合功能将高层次的系统行为设计自动翻译成门级逻辑的电路描述,做到了设计与工艺的独立。优化则是对于上述综合生成的电路网表,根据布尔方程功能等效的原则,用更小更快的综合结果替代一些复杂的逻辑电路单元,根据指定的目标库映射成新的网表。

4. 开放性和标准化

框架是一种软件平台结构,它为 EDA 工具提供了操作环境。框架的关键在于提供与硬件平台无关的图形用户界面以及工具之间的通信、设计数据和设计流程的管理等,此外还应包括各种与数据库相关的服务项目。任何一个 EDA 系统只要建立了一个符合标准的开放式框架结构,就可以接纳其他厂商的 EDA 工具一起进行设计工作。这样,框架作为一套使

用和配置 EDA 软件包的规范, 就可以实现各种 EDA 工具间的优化组合, 并集成在一个易于管理的统一的环境之下, 实现资源共享。

近年来, 随着硬件描述语言等设计数据格式的逐步标准化, 不同设计风格和应用的的要求导致各具特色的 EDA 工具被集成在同一个工作站上, 从而使 EDA 框架标准化。新的 EDA 系统不仅能够实现高层次的自动逻辑综合、版图综合和测试码生成, 而且可以使各个仿真器对同一个设计进行协同仿真, 进一步提高了 EDA 系统的工作效率和设计的正确性。

5. 库(Library)的引入

EDA 工具之所以能够完成各种自动设计过程, 关键是有各类库的支持, 如逻辑模拟时的模拟库、逻辑综合时的综合库、版图综合时的版图库、测试综合时的测试库等。这些库都是 EDA 设计与半导体生产厂商紧密合作、共同开发的。

集成电路技术的进展不断对 EDA 技术提出新的要求, 促进了 EDA 技术的发展。EDA 工具的发展经历了两个大的阶段, 即物理工具阶段和逻辑工具阶段。

物理工具用来完成设计中的实际物理问题, 如芯片布局、印刷电路板布线等。另外它还能提供一些设计的电气性能分析, 如设计规则检查。这些工作现在主要由集成电路厂家来完成。

逻辑工具是基于网表、布尔逻辑、传输时序等概念的。首先由原理图编辑器或硬件描述语言进行设计输入, 然后利用 EDA 系统完成逻辑综合、仿真、优化等过程, 最后生成物理工具可以接受的网表或 VHDL、Verilog-HDL 的结构化描述。

现在 EDA 已被理解为一个整体的概念, 即电子系统设计自动化。

1.3 可编程专用集成电路 ASIC

1.3.1 概述

可编程 ASIC 特别是现代可编程 ASIC(CPLD、FPGA)的出现, 使得电子设计工程师或科研人员有条件在实验室内快速、方便地开发专用集成电路, 这些专用集成电路往往就是一个复杂的数字系统。因此, 可以说可编程 ASIC 给现代电子系统的设计带来了极大的变革。

简单可编程 ASIC 主要指早期开发的可编程逻辑器件 PLD(Programmable Logic Device), 它们通常由“与阵列”和“或阵列”组成, 能够用来实现任何以“积之和”形式表示的各种布尔逻辑函数。当“与”和“或”两个阵列都为可编程时, 这个器件就称为 PLA, 其变形是 PROM、PAL 和 GAL, PROM 具有固定的与阵列和可编程的或阵列, PAL 和 GAL 具有可编程的与阵列和固定的或阵列。

PAL 和 GAL 是早期得到广泛应用的可编程 ASIC 器件。PAL 器件一般用熔丝链路作为可编程开关, 是一次性可编程的。GAL 器件则可反复编程, 它采用了 E^2 C MOS 工艺, 实现了电可擦除和电可改写, 为设计和修改提供了极大的方便。

复杂可编程 ASIC 主要是指复杂可编程逻辑器件 CPLD(Complex Programmable Logic Device), 它是 20 世纪 80 年代后期得到迅速发展的新一代可编程 ASIC。早期的 PLD 结构