

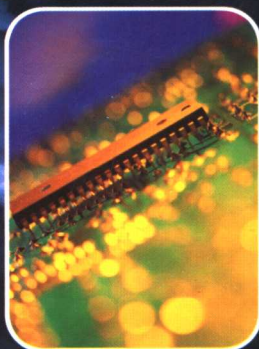
高等学校理工科规划教材

数字电子技术基础与设计

SHUZI DIANZI JISHU JICHU YU SHEJI

大连理工大学电工电子实验中心 组编

高仁璟 孙 鹏 陈 景 编著



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

高等学校理工科规划教材

数字电子技术基础与设计

组编 大连理工大学电工电子实验中心
编著 高仁璟 孙 鹏 陈 景

大连理工大学出版社

© 高仁璟,孙鹏,陈景 2004

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础与设计 / 高仁璟,孙鹏,陈景编著. —大连: 大连理工大学出版社, 2004.10

ISBN 7-5611-2722-7

I. 数… II. ①高… ②孙… ③陈… III. 数字电路—电子技术—高等学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 094604 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市凌水河 邮政编码:116024

电话:0411-84708842 传真:0411-84701466 邮购:0411-84707961

E-mail:dutp@dutp.cn URL:http://www.dutp.cn

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm × 260mm 印张:13.5 字数:325 千字

印数:1 ~ 2 000

2004 年 10 月第 1 版

2004 年 10 月第 1 次印刷

责任编辑:范业婷

责任校对:孙伟丽

封面设计:宋 蕾

定 价:20.00 元

序

辉煌的 20 世纪已经过去,世界进入了风景无限的 21 世纪。回顾过去我们会发现,电子信息技术在上个世纪得到了空前的高速发展,并在各个领域都得到了广泛的应用。电子信息技术对促进社会整体的进步与发展起到了日益重要的作用,在当今高技术群域中处于主导地位,社会其他各个领域的成功与发展无一能够脱离电子信息技术的支持。据有关专家统计,20 世纪末电子工业已经成为世界第一工业。

综观国内各高校近年来专业发展的情况,我们发现与电子信息技术相关的专业已成为发展最快的专业之一,也是最热门的专业之一。21 世纪是知识经济时代,时代的特点将会对人才的培养和需求提出新的要求和标准,这就要求我们广大的高校教育工作者及时适应社会发展的步伐,对教学内容进行不断地改革和创新。

高等学校是培养人才最重要的基地,担负着历史赋予的培养人才的重要使命。当前我国高等教育得到了突飞猛进的发展,国内各高校的教学改革也相应出现了百花齐放、蓬勃发展的大好局面。大连理工大学电工电子实验中心的建设在学校的重视下,在世行贷款项目的支持下,已进入了最快最好的发展时期。近年来,我们不仅对实验设备、测量仪器进行了全面的更新换代,同时也对实验内容

进行了全面的更新和改进,增大了设计性、综合性、科研创新性实验(创新院、创新班)的比例。建立了自主的、新的实验课程体系。我们将实验课程体系划分为五个层次:认知性实验、验证性实验、设计性实验、综合性实验、科研创新性实验。五个层次的实验课程由浅入深,贯穿于大一到大四共八个学期,保证了实验教学的科学性和连续性。对应五个层次,设置了一系列实验课程,并且编写出版了相应的实验教材。

本系列实验教材包括以下几个方面:仪器仪表使用及电子器件识别、电子工程训练(一、二)、电工学、可编程控制器、电路原理、模拟电子技术、数字电子技术、单片机原理、微机原理、电子系统综合设计、EDA技术、科研创新专题(一、二、三)。教材的特点为:独立设课,以设计性和综合性为主,注重学生系统设计能力的培养和训练,部分课程将理论教学融于实验教学当中,教材的编写全部基于新的实验设备和测量仪器。

在此,对实验教材编者们的辛勤劳动表示由衷的感谢!最后,希望广大师生多提宝贵意见,以利不断提高。

大连理工大学电工电子实验中心

2004.5

前 言

21 世纪是信息化的时代,数字化是人类进入信息化的必要条件。“数字电子技术”是数字化的基础,因此“数字电子技术”课程是计算机、自动化、电子工程等电类专业和机电一体化非电类专业的一门专业基础课,也是一门发展最快、应用最广的学科。

为了适应电子系统设计技术的发展,培养面向 21 世纪、参与国内外市场竞争的电子技术人才,本书作为“数字电子技术”的配套教材,介绍了大规模数字系统的设计方法,可编程逻辑器件的使用及相关的 EDA 软件的使用。

本书既重视基本的逻辑设计概念和方法的介绍,也重视对于用硬件描述语言描述和设计数字电路的介绍。为了使读者能够很好地掌握 VHDL 语言的使用,本书介绍了数字电路常用逻辑部件的 VHDL 描述,最后介绍了复杂数字系统的 VHDL 语言描述。

本书是作者依据多年的教学经验和科研的积累,参考国内外优秀教材编写而成的。全书共分 8 章。第 1 章介绍了数字系统的设计方法和 EDA 工具的发展状况。主要介绍了基于硬件描述语言的数字系统设计方法。第 2 章是可编程逻辑器件。

主要介绍了 Altera 公司的 FPGA/CPLD 大规模器件的结构和工作原理。第 3 章和第 4 章介绍了 Altera 公司的 EDA 软件 MAX + PLUS II 和 Quartus II 的使用。第 5 章介绍了数字电路常用逻辑部件的 VHDL 语言描述、VHDL 语言使用以及基于 VHDL 语言的数字系统设计方法。具体设计了几个复杂的数字系统。第 6 章针对数字电路课程设计的要求,给出了几个不同难易程度的数字系统课程设计题目,读者可根据自己的实际情况,有选择地进行练习。第 7 章介绍了数字电路组合逻辑部分实验内容。第 8 章介绍了数字电路时序逻辑部分实验内容。

本书第 1~6 章由高仁璟编写,第 7 章由陈景编写,第 8 章由孙鹏编写。全书由高仁璟统编,由孟贵胥老师主审。

本书编写时间仓促,不当之处,恳请读者提出指正。

编著者

2004 年 10 月

目 录

第1章 数字系统设计与 EDA 工具发展 /1

1.1 引言 /1

1.2 数字系统的设计 /1

1.2.1 自上而下的设计 /2

1.2.2 自下而上的设计 /3

1.2.3 正向设计和逆向设计 /3

1.3 EDA 技术的基本特征和工具 /4

1.3.1 EDA 技术的发展 /4

1.3.2 EDA 技术的范畴 /5

1.3.3 EDA 技术的基本特征 /6

1.3.4 EDA 的基本工具 /7

1.4 IP 核复用技术与 SOC /9

1.4.1 IP 复用技术 /9

1.4.2 系统芯片 /10

1.5 硬件描述语言在数字系统设计中的作用 /11

1.6 与数字电路有关的 CAD 技术发展趋势和难题 /13

第2章 可编程逻辑器件 /15

2.1 概述 /15

2.1.1 PLD 的优点 /15

2.1.2 PLD 的发展历程 /16

2.1.3 PLD 的分类 /16

2.2 PLD 产品的基本结构 /18

2.2.1 PLD 结构原理 /18

2.2.2 PLD 电路的表示方法 /19

2.2.3 SPLD 的结构(简单的可编程逻辑器件) /19

2.3 复杂可编程逻辑器件/现场可编程门阵列 /21

2.3.1 概述 /21

2.3.2 CPLD 结构与原理 /21

2.3.3 FPGA 结构与原理 /24

2.4 FPGA/CPLD 产品概述 /28

2.4.1 Lattice 公司 CPLD 器件系列 /28

2.4.2 Xilinx 公司的 FPGA 和 CPLD 器件系列 /29

2.4.3 Altera 公司 FPGA 和 CPLD 器件系列 /30

2.4.4 Altera 的开发工具 /32

2.5 可编程逻辑器件的发展趋势 /33

第3章 MAX + PLUS II 开发系统 /35

3.1 MAX + PLUS II 的安装与配置 /35

3.2 MAX + PLUS II 开发系统的特点 /36

3.3 设计输入 /37

3.3.1 建立一个新项目 /38

3.3.2 建立图形设计文件 /38

3.3.3 文本输入方式 /42

3.3.4 设计的层次 /44

3.4 编译设计项目 /45

3.5 模拟仿真 /48

3.5.1 项目仿真 /48

3.5.2 定时分析 /51

3.6 器件编程 /51

3.6.1 Altera 器件的编程文件 /51

3.6.2 编程文件的生成和转换 /52

3.6.3 器件编程 /53

3.7 MAX + PLUS II 使用提高 /53

3.7.1 使用 LPM 宏单元库 /54

3.7.2 创建元件符号 /57

3.7.3 使用 EAB 单元进行设计 /58

3.8 Byteblaster 下载电缆及其应用 /60

3.8.1 并口下载电缆 ByteBlaster /60

3.8.2 编程配置方式 /62

第4章 Quartus II 设计软件简介 /65

4.1 Quartus II 简介 /65

4.1.1	Quartus II 4.0 的特点	/65	5.6.3	乐曲演奏电路的 VHDL 描述	/119
4.1.2	Quartus II 软件支持的 EDA 工具	/66	5.7	有限状态机(FSM)设计举例	/122
4.2	设计输入	/67	5.7.1	基于状态机的设计	/122
4.2.1	建立工程	/68	5.7.2	频率计控制器设计举例	/123
4.2.2	设计输入	/71	5.7.3	几点讨论	/125
4.2.3	设计方法与设计规划	/78	5.8	正负脉宽数控调制信号发生器	/125
4.3	设计编译	/79	5.9	抢答器设计	/127
4.3.1	简介	/79	5.9.1	抢答器功能	/127
4.3.2	使用 Quartus II 编译器	/80	5.9.2	输入部分(INPUT1)	/127
4.3.3	使用其他 EDA 综合工具	/81	5.9.3	八进制计数器	/128
4.4	仿真	/83	5.9.4	数码管显示	/129
4.4.1	简介	/83	5.9.5	判断部分	/130
4.4.2	使用 Quartus II 软件进行仿真	/83	第 6 章	数字电路课程设计	/132
4.5	编程与配置	/86	6.1	数字钟	/132
4.6	使用宏功能块设计频率计	/87	6.1.1	任务要求	/132
第 5 章	基于 VHDL 的数字系统设计	91	6.1.2	数字计时器的基本工作原理	/132
5.1	设计中的常见错误及避免方法	/91	6.2	电子密码锁	/133
5.1.1	信号和变量的区别	/91	6.2.1	任务要求	/133
5.1.2	BUFFER 模式和内部虚拟信号	/93	6.2.2	设计说明和提示	/134
5.1.3	保留字 DOWNT0 和 T0 的用法	/93	6.3	自动售票机	/134
5.1.4	顺序语句与并行语句的使用	/94	6.3.1	任务要求	/134
5.2	提高数字系统性能的方法	/94	6.3.2	总体设计	/134
5.2.1	提高系统的工作速度	/94	6.4	乒乓游戏机	/134
5.2.2	耗用资源的考虑	/94	6.4.1	设计任务	/135
5.3	组合逻辑电路的 VHDL 描述	/97	6.4.2	设计说明和提示	/135
5.3.1	译码器	/97	6.5	三层电梯控制器	/135
5.3.2	编码器	/99	6.6	8 路彩灯控制系统	/136
5.3.3	比较器	/99	6.7	简单异步通信系统	/136
5.3.4	奇偶检验电路	/100	6.8	智能函数发生器	/136
5.3.5	用 VHDL 实现加法器	/101	6.8.1	设计任务	/136
5.4	常用的时序逻辑电路模块设计	/102	6.8.2	系统设计	/136
5.4.1	锁存器和触发器电路设计	/102	6.9	卡式电话计费器	/137
5.4.2	移位寄存器电路设计	/104	6.9.1	功能定义	/137
5.4.3	计数器电路设计	/105	6.9.2	功能实现	/137
5.4.4	ROM/RAM 模块	/106	6.10	PCM 采编器	/138
5.4.5	先进先出(FIFO)存储器	/107	6.10.1	结构与功能	/138
5.4.6	分频电路设计	/108	6.10.2	设计与实现	/138
5.4.7	序列检测器设计	/110	6.11	出租车计费器	/139
5.5	多层次电路设计	/112	6.11.1	设计任务	/139
5.5.1	图形与文本混合设计	/112	6.11.2	设计与实现	/139
5.5.2	纯文本描述	/116	6.12	16×16 点阵显示设计	/139
5.6	《梁祝》乐曲演奏电路设计	/117	6.12.1	设计任务	/139
5.6.1	音符频率的控制	/118	6.12.2	设计实现	/139
5.6.2	音长的控制	/118	6.13	交通灯控制器	/140

第7章 组合逻辑电路部分实验 /141**实验 7.1 TTL 和 CMOS 集成逻辑门电气参数测试 /141**

7.1.1 实验目的 /141

7.1.2 实验原理 /141

7.1.3 实验内容 /144

7.1.4 思考题 /145

实验 7.2 集成逻辑电路的连接和驱动 /145

7.2.1 实验目的 /145

7.2.2 实验原理 /145

7.2.3 实验内容 /147

7.2.4 思考题 /148

实验 7.3 数字电路基本逻辑门功能验证 /148

7.3.1 实验目的 /148

7.3.2 实验原理 /148

7.3.3 实验内容 /151

7.3.4 思考题 /153

实验 7.4 编码器和译码器 /153

7.4.1 实验目的 /153

7.4.2 实验原理 /153

7.4.3 实验内容 /158

7.4.4 思考题 /158

实验 7.5 数据分配器及数据选择器 /159

7.5.1 实验目的 /159

7.5.2 实验原理 /159

7.5.3 实验内容 /160

7.5.4 思考题 /161

实验 7.6 组合逻辑电路的综合应用 /161

7.6.1 实验目的 /161

7.6.2 实验原理 /161

7.6.3 实验内容 /162

第8章 时序逻辑电路 /163**实验 8.1 触发器及其应用 /163**

8.1.1 实验目的 /163

8.1.2 实验原理 /163

8.1.3 实验内容 /164

8.1.4 思考题 /165

实验 8.2 触发器及其应用 /165

8.2.1 实验目的 /165

8.2.2 实验原理 /166

8.2.3 实验内容 /167

8.2.4 思考题 /167

实验 8.3 寄存器及其应用 /168

8.3.1 实验目的 /168

8.3.2 实验原理 /168

8.3.3 实验内容 /169

实验 8.4 脉冲产生与整形 /170

8.4.1 实验目的 /170

8.4.2 实验原理 /170

8.4.3 实验内容 /172

8.4.4 思考题 /172

实验 8.5 A/D、D/A 转换器 /172

8.5.1 实验目的 /172

8.5.2 实验原理 /172

8.5.3 实验内容 /176

实验 8.6 8 路彩灯控制器 /177

8.6.1 实验目的 /177

8.6.2 实验原理 /178

8.6.3 实验内容 /180

8.6.4 思考题 /180

实验 8.7 数字频率计 /180

8.7.1 实验目的 /180

8.7.2 实验原理 /181

8.7.3 实验内容 /181

附录 1 EDA 开发系统使用说明 /183**附录 2 GW48 结构图信号名与芯片引脚对照表 /197****附录 3 使用 VHDL 语言编程中常见错误 /201****参考网址 /202****参考文献 /203**

第 1 章 数字系统设计与 EDA 工具发展

1.1 引 言

随着数字化时代的到来,数字技术的应用已经渗透到了人类生活的各个方面。从计算机到家用电器,从手机到数字电话,以及绝大部分新研制的医用设备、军用设备等,无不尽可能地采用数字技术。

从概念上讲,凡是利用数字技术对信息进行处理、传输的电子系统皆可称之为数字系统。数字系统的发展在很大程度上得益于器件和集成技术的发展。著名的摩尔定律(Moore'law)曾经预言:大约每 18 个月,芯片的集成度提高 1 倍,而功耗下降一半。几十年来,半导体集成电路的发展过程印证了摩尔预言的准确性。数字器件经历了从小规模(SSI)、中规模(MSI)、大规模(LSI)到超大规模(VLSI)和特大规模(ULSI),直到现在的系统芯片(SOC, System-On-a-Chip),即整个集成电路产品的发展经历了从传统的板上系统(System-On-Board)到片上系统(System-On-a-Chip)的过程。

IC 技术的发展日新月异,而最具有代表性的 IC 芯片主要包括以下几类:

微控制芯片(MCU, Micro Control Unit);

可编程逻辑器件(PLD, Programmable Logic Device);

数字信号处理器(DSP, Digital Signal Processor);

大规模存储芯片(RAM/ROM, Random Access Memory/Read Only Memory)。

以上几类器件在最近 20 年均取得了长足的发展,无论是芯片的规模还是性能都有了巨大的提高,构成了现代数字系统的基石。

近几年,一种集光电子与微电子技术于一身的光电集成芯片的发展又引起了人们的注意。光电集成芯片(OEIC, Optical Electronic IC)是将光电子器件与超高速电子器件制作在同一块晶体上,它代表了信息技术(IT, Information Technology)发展的最新潮流。在今天以光通信技术构成的网络与系统以每 9 个月性能翻一番的速度在发展,使得网络与通信用光电子器件呈现出惊人的发展速度和广阔的发展前景。而器件和工艺的进步,也使得数字系统设计的思想与方式发生了相应的改变。

1.2 数字系统的设计

半导体技术和计算机技术的发展,使数字系统的设计理念和设计方法都发生了深刻的变化。从电子 CAD(Computer Aided Design)、电子 CAE(Computer Aided Engineering)到电子设计自动化(EDA, Electronic Design Automation),设计的自动化程度越来越高,设计的复杂性也

越来越高。

以前,数字系统大多是采用搭积木的方式进行设计的,即由一些固定功能的器件加上一定的外围电路构成模块,再由这些模块进一步形成各种功能的电路。构成系统“积木块”的是各种标准芯片,如 74/54 系列(TTL)、4000/5000 系列(CMOS)芯片等。这些芯片的功能是固定的,用户只能根据需要从这些标准器件中选出最适合的,并按照推荐的电路搭成系统。设计时,几乎没有灵活性可言,设计一个系统所需的芯片种类多,数目大。

PLD 器件和 EDA 技术的出现改变了传统的设计思想,使人们可以通过设计芯片来实现各种不同的功能。新的设计方法能够由设计者自己定义器件的内部逻辑和管脚,将原来由电路板完成的大部分工作放在芯片的设计中进行。这样不仅可以通过芯片设计实现多种数字逻辑功能,而且由于管脚定义的灵活性,减轻了原理图和印刷电路板设计的工作量和难度,增加了设计的自由度和灵活性,提高了设计的效率。同时基于芯片的设计还大大减少了所用芯片的种类和数量,缩小了体积,降低了功耗,提高了系统的整体性能。PLD 器件和 EDA 技术的广泛应用给今天的硬件设计者提供了强有力的支持,同时也使得数字系统的设计思想和设计方式发生了根本性的变化。一般来说数字系统的设计有两种方法:一种是自上而下(Top-Down)的设计方法,另一种是自下而上(Bottom-Up)的设计方法。

1.2.1 自上而下的设计

自上而下的设计,也可称为自顶向下的设计。在自上而下的设计中,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,或者是用逻辑器件(例如 CPLD 和 FPGA)现场编程实现。图 1-1 给出了自上而下的设计方式示意图。

在自上而下的设计中,首先需要进行行为设计,确定该电子系统或 VLSI 芯片的功能、性能及允许的芯片面积和成本等。接着进行结构设计,根据该电子系统或芯片的特点,将其分解为接口清晰、相互关系明确、尽可能简单的子系统,得到一个总体结构。这个结构可能包括算术运算单元、控制单元、数据通道、各种算法等。下一步是把结构转换成逻辑图,即进行逻辑设计。在这一步中,希望尽可能采用规则的逻辑结构或采用自己设计的经过考验的逻辑单元或模块。接着进行电路设计,将逻辑图进一步转换成电路图,在很多情况下,这时需进行硬件仿真,以最终确定逻辑设计的正确性。最后是进行版图设计,即将电路转换成版图。在这之后还要进行时序仿真,以检查布局布线的线延时和门延时对设计带来的影响。

自上而下的设计须经过“设计-验证-修改设计-再验证”的过程,不断反复,直到得到的结果能够完全实现所要求的逻辑功能,并且在速度、功耗、价格和可靠性实现方面达到较为合理的平衡为止。

自上而下的设计也并非绝对的,在设计过程中,有时也需要用到自下而上的方法。这种方法是在系统划分和分解的基础上,先进行底层单元设计,然后再逐步向上进行功能块和子系统的设计,直至构成整个的系统。

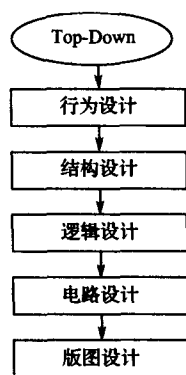


图 1-1 自上而下的设计

1.2.2 自下而上的设计

自下而上的设计是一种传统的设计思想。这种设计思想一般是在系统划分和分解的基础上先进行单元设计,在单元的精心设计后逐步向上进行功能块设计,然后再进行子系统的设计,最后完成系统的总体设计。图 1-2 为自下而上的设计方式示意图。

目前,自上而下的设计已经占据了电子系统设计的主流地位,这是由于这种设计思想更符合人们逻辑思维的习惯,也容易使设计者对复杂的系统进行合理地划分与不断地优化。而自下而上的设计却往往使设计者关注了细节,对整个的系统缺乏规划。当设计出现问题要修改时就非常麻烦,甚至会前功尽弃,不得不从头再来。因此,设计者在设计数字电路与系统的时候,应该有意识地培养自上而下的设计思维习惯。现代的设计工具越来越多地支持自上而下的设计,许多设计软件都支持高层的设计和仿真。

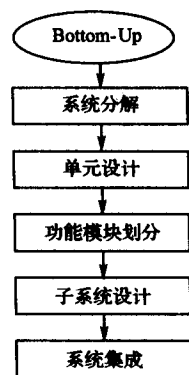


图 1-2 自下而上的设计

1.2.3 正向设计和逆向设计

1. 正向设计

复杂数字系统设计一般采用自上而下的设计方法。所谓正向设计,也是一种自上而下的设计方式,它包括从芯片设计到芯片封装的一系列过程。其设计流程如下:

(1) 系统描述(System Specification)

系统描述是在最高层对芯片进行划分,包括芯片的功能、性能、物理尺寸、设计模式、制造工艺、设计周期、设计费用等指标。

(2) 功能设计(Function Design)

功能设计是将系统功能的实现方案设计出来,通常是给出系统的时序图及各子模块之间的关系图和状态机等。

(3) 逻辑设计(Logic Design)

逻辑设计是将系统功能结构化,通常以文本、原理图、逻辑图来完成设计,有时也采用布尔表达式来表示设计。

(4) 电路设计(Circuit Design)

电路设计是将逻辑设计表达式转换成电路实现(晶体管级),在这一步要注意各种元件的电性能,通常用详细的电路图来表示电路设计。

(5) 物理设计(Physical Design or Layout Design)

物理设计(或称版图设计)是 VLSI 设计中最费时的一步,它将电路设计中的每一个元器件(包括晶体管、电阻、电容、电感)以及它们之间的连线转换成集成电路制造所需要的版图信息。

(6) 设计验证(Design Verification)

设计验证是在版图设计完成后非常重要的一步工作。它主要包括物理设计规则检查(DRC, Design Rule Checking)、版图网表提取(NE, Netlist Extraction)、电学规则检查(ERC, Electrical Rule Checking)、版图网表结构与电路原理图对比(LVS, Layout Versus Schematic)和寄生

参数提取(PE)等一系列检查,以确保版图设计的正确性。

(7) 芯片制造(Fabrication)

在复杂数字系统设计中,制造和设计是分离的,即所谓 Fabless 模式,一般先做好前端设计,再由第三方公司针对某一特定工艺线(设计时已确定)进行整合,制造出掩膜版送到工艺线上流片。芯片制造一般要经过硅片准备、注入、扩散和光刻等工艺。

(8) 封装和测试(Package and Test)

在完成芯片制造后,要进行封装和测试。安置在印刷电路板(PCB)上的芯片可封装成双列直插式(DIP)或引脚阵列式(PGA)。用于多芯片模块(MCM)上的芯片可不封装。

在上面的设计过程中,要不断进行仿真和验证,依次为功能模拟、时序模拟和版图验证等。只有这样,才能保证设计的正确。另外在设计过程的每一步,均有各种 EDA 工具提供强有力的支持,假如仅用手工完成上述工作,在今天是不可想像的。

2. 逆向设计

逆向设计主要用于分析、仿制别人芯片内的设计,其流程如下:

(1) 提取横向尺寸

打开芯片封装,进行分块照相,一般需放大几百倍以上,提取出芯片的复合版图;把每张照片拼成整个芯片的复合版图;由产品的复合版图提取电路图、器件尺寸和设计规则;进行电路模拟,验证所提取的电路是否正确;如果模拟正确,再进行局部改造和创新,画出更先进的芯片版图。

(2) 提取纵向尺寸

用扫描电镜、扩展电阻仪等提取氧化层厚度、金属膜厚度、多晶硅厚度、结深、基区宽度等纵向尺寸和纵向杂质分布等参数。

(3) 测试产品的电学参数

电学参数包括开启电压、薄膜电阻、放大倍数、特征频率等。

(4) 确定工艺

有了纵向尺寸和电学参数后,可以确定芯片制造所需要的工艺参数、工艺条件和工艺流程等。

由此可知,逆向设计是以剖析别人已有的设计为基础,在得到实际芯片的版图、逻辑图、功能和工作原理后再转入正向设计,以便实现或者改进该芯片的功能。

现代 IC 的设计一般是采用正向设计。当然,有时也可以以逆向设计作为辅助的设计手段。

1.3 EDA 技术的基本特征和工具

在现代电子设计中,EDA 技术已经成为一种普遍的工具。对设计者而言,熟练地掌握 EDA 技术,可以大大提高工作效率,达到事半功倍的效果。

1.3.1 EDA 技术的发展

EDA 是指以计算机为工作平台,融合应用电子技术、计算机技术、智能化技术最新成果而研制成的电子 CAD 通用软件包,主要能辅助进行三方面的设计工作,即 IC 设计、电子电

路设计和 PCB 设计。EDA 技术已有 30 年的发展历程,大致可分为三个阶段。

1. CAD 阶段

20 世纪 70 年代为计算机辅助设计(CAD)阶段,人们开始用计算机辅助进行 IC 版图编辑、PCB 布局布线,取代了手工操作。

2. CAE 阶段

20 世纪 80 年代为计算机辅助工程(CAE)阶段。与 CAD 相比,CAE 除了有纯粹的图形绘制功能外,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。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,PCB 后分析。

3. EDA 阶段

20 世纪 90 年代以来,微电子工艺有了惊人的发展,工艺水平已经达到了深亚微米级,在一个芯片上已经可以集成上百万、上千万乃至上亿个晶体管,这样就对电子设计的工具提出了更高的要求,同时也促进了设计工具的发展。

今天,EDA 技术已经成为电子设计的重要工具。无论是设计芯片还是设计系统,如果没有 EDA 工具的支持,都将是难以完成的。

1.3.2 EDA 技术的范畴

EDA 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 EDA 通用支撑软件和应用软件包,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 的自动设计等。

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、从分立元件电路到集成电路的全部设计过程。EDA 技术的范畴和功能如图 1-3 所示。

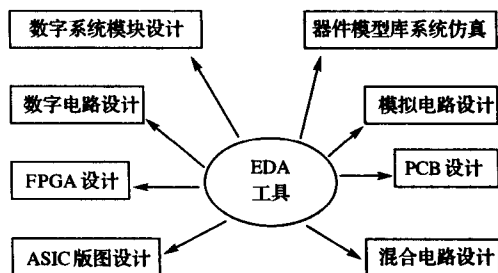


图 1-3 EDA 技术的范畴

1.3.3 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. 并行工程和自上向下设计方法

根据美国防卫分析研究所 R-338 报告中的定义,所谓并行工程是指“一种系统化的、集成化的、并行的产品及相关过程的开发模式(相关过程主要指制造和维护)。这一模式使开发者从一开始就要考虑到产品生存周期的诸多方面,包括质量、成本、开发时间及用户的需求等等。”

自上而下的设计方法在前面已做了简单的介绍。这种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。自上而下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)

硬件描述语言(Hardware Description Language)是硬件设计人员和电子设计自动化(EDA)工具之间的界面。其主要目的是用来编写设计文件,建立电子系统行为级的仿真模型。即利用计算机的巨大能力对用 Verilog HDL 或 VHDL 建模的复杂数字逻辑进行仿真,然后再自动综合以生成符合要求且在电路结构上可以实现的数字逻辑网表(Netlist),根据网表和某种工艺的器件自动生成具体电路,然后生成该工艺条件下这种具体电路的延时模型。仿真验证无误后,用于制造 ASIC 芯片或写入 EPLD 和 FPGA 器件中。

在 EDA 技术领域把用 HDL 语言建立的数字模型称为软核(Soft Core),把用 HDL 建模和综合后生成的网表称为固核(Hard Core),对这些模块的重复利用缩短了开发时间,提高了产品开发率,提高了设计效率。

3. 逻辑综合与优化

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,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。

1.3.4 EDA 的基本工具

集成电路技术的发展不断对 EDA 技术提出新的要求,促进了 EDA 技术的发展。但是,总的来说,EDA 系统的设计能力一直难以赶上集成电路技术发展的要求。EDA 工具的发展经历了两大阶段:物理工具阶段和逻辑工具阶段。现在 EDA 和系统设计工具正逐渐被理解成一个整体的概念——电子系统设计自动化。

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。

在过去 30 多年中,人们开发了大量的计算机辅助设计工具来帮助集成电路的设计,这些设计工具的分类如图 1-4 所示。

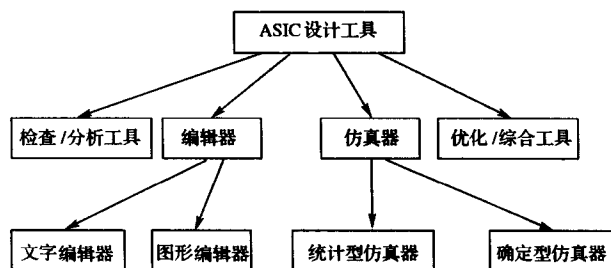


图 1-4 设计工具分类

1. 编辑器

编辑器包括文字编辑器和图形编辑器。在系统级设计中,文字编辑器用来编辑硬件系统的自然描述语言,在其他层次用来编辑电路的硬件描述语言文本。在数字系统中的门级、寄存器级以及芯片级,所用的描述语言通常为 VHDL 和 Verilog HDL;在模拟电路级,硬件描述语言通常为 (SPICE, Simulation Program With Integrated Circuit Emphasis) 的文本输入。

图形编辑器可用于硬件设计的各个层次。在版图级,图形编辑器用来编辑表示硅工艺加工过程的几何图形。在高于版图层次的其他级,图形编辑器用来编辑硬件系统的方框图、原理图等。典型的原理图输入工具至少应包括以下 3 个组成部分:

(1) 基本单元符号库,主要包括基本单元的图形符号和仿真模型。

在实际应用时,硬件设计者除了采用基本单元和标准单元之外,还应该能够使用原理图编辑器建立自己专用的图形符号以及相应的仿真模型,并加到基本单元符号库中,供下次设计时使用。