



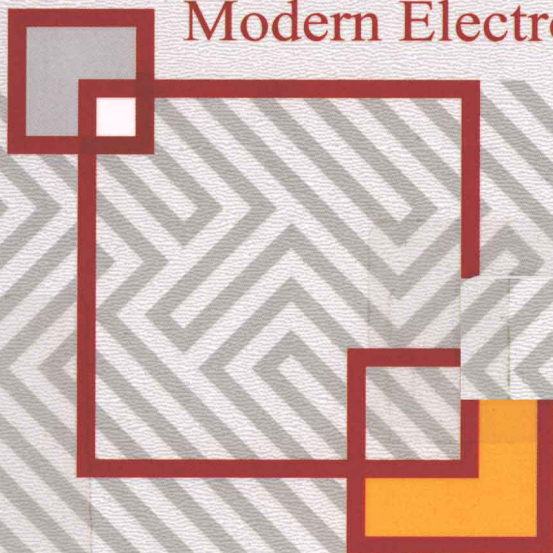
工业和信息化普通高等教育
“十二五”规划教材立项项目

成谢锋 孙科学 张学军 编著

现代电子技术 与综合应用

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

The Technology of
Modern Electronic Design



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



精品系列

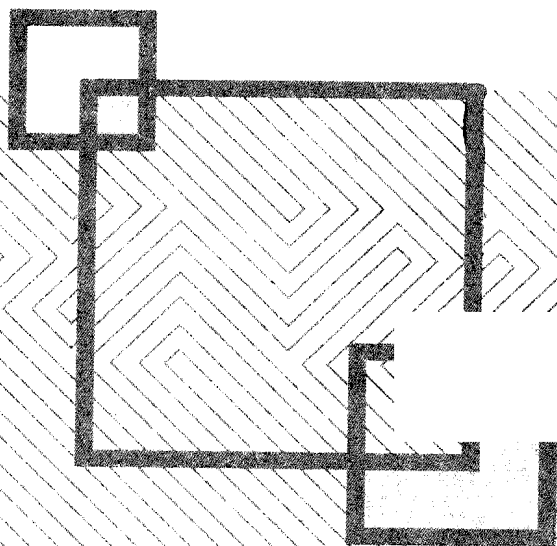


工业和信息化普通高等教育
“十二五”规划教材立项项目

成谢锋 孙科学 张学军 编著

现代电子设计技术 与综合应用

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering



人民邮电出版社
北京



图书在版编目 (C I P) 数据

现代电子设计技术与综合应用 / 成谢锋, 孙科学, 张学军编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2011. 3
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-24662-2

I. ①现… II. ①成… ②孙… ③张… III. ①电子电路—电路设计—高等学校—教材 IV. ①TN702

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第002254号

内 容 提 要

本书从实用的角度出发, 介绍了现代电子设计技术的基本理论和方法。全书共7章, 内容包括现代电子设计技术概述、计算机辅助电路分析和电路仿真技术、印制电路板设计及应用、可编辑逻辑器件应用技术、集成电路制造工艺与专用集成电路设计、虚拟仪器系统及设计和现代电子电路设计范例。

本书在内容上深入浅出, 注重实用性, 兼顾理论教学和自学的需求, 配备了大量的应用实例, 使读者能在较短时间内掌握现代电子设计技术的基本理论和方法。本书既可作为高等学校电子设计技术课程的教材, 也可作为电子系统开发人员的技术参考书。

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材

现代电子设计技术与综合应用

-
- ◆ 编 著 成谢锋 孙科学 张学军
责任编辑 蒋 亮
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京昌平百善印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 14 75 2011年3月第1版
字数: 362千字 2011年3月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-24662-2

定价: 28.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

现代电子设计技术由于计算机技术的快速发展而不断发生着巨大变化。经典的电子设计方法，是用电路图表示设计思想，用实验电路板搭载实验电路，进行模拟、仿真，用电子测试仪器进行功能、性能测试。从 20 世纪 60 年代中期开始，人们不断开发出各种计算机辅助设计工具来帮助设计人员进行集成电路和电子系统的设计，集成电路技术的不断发展对电子设计技术提出新的要求，使得电子设计技术很快由计算机辅助设计（CAD）阶段进入了电子设计自动化（EDA）阶段。这是一个质的飞跃，因为，在 EDA 中，用硬件描述语言表达设计思想，用计算机进行模拟、仿真，并把测试器件设计到芯片系统内部，实现了内建自测试功能。利用先进的计算机工作平台开发出的一整套电子系统设计软件工具，实现电子产品从电路设计、性能分析到设计出 IC 版图或 PCB 版图的整个过程的自动处理以及其他利用计算机平台实现电子产品设计的技术，我们统称之为现代电子设计技术，它是科研、教学领域的一门新兴的工程技术，也是电子信息行业的一项先进的生产技术。

本书是配合江苏省省级精品课程《电工电子实验》的教学改革而编写的。通过本教材展现现代电子设计技术的发展过程，论述南京邮电大学省级电工电子实验中心 EDA 教学改革的一些成果，促进学生掌握电子电路计算机辅助分析与自动化设计的基本知识和基本方法，进一步培养学生的综合应用能力和实践能力，为今后从事本专业有关工程技术工作打下基础。

本书从实用的角度出发，介绍现代电子设计技术的基本理论和方法。全书共分 7 章。第 1 章讲述现代电子设计技术概述；第 2 章讲述计算机辅助电路分析和电路仿真技术；第 3 章讲述印制电路板设计及应用；第 4 章讲述可编程逻辑器件应用技术；第 5 章讲述集成电路制造工艺与专用集成电路设计；第 6 章讲述虚拟仪器系统及设计；第 7 章讲述现代电子电路设计范例。本书在内容上深入浅出，注重实用性，兼顾理论教学和自学的需求，配备了大量的应用实例，使读者能在较短的时间内掌握现代电子设计技术的基本理论和方法。

操作显能力，设计见智慧。在电子产品设计过程中不仅需要较多的知识，还需要有丰富的设计实践经验和先进的设计理念，否则在设计过程中很难找到切实可行又有竞争力的方案。所以本书中既有一般的应用实例，又加入了一些我们团队自己设计的方案。这些实例都是在相应的软件平台上调试运行通过的，读者可以参照书中所讲述的步骤操作，顺利完成学习任务，全面提高综合应用能力和设计技能。作为教材，本书每章后还附有习题。

参加本书编写有关工作的老师和同学还有南京邮电大学赵青、朱冬梅、何海琴、曹刚、

吴健、王路飞和蚌埠学院孙长伟（第6章）等。本书的顺利出版，要感谢南京邮电大学的领导、电工电子实验中心的教师和人民邮电出版社给予的大力支持和帮助。

由于时间仓促，书中难免存在不妥之处，恳请读者多提宝贵意见。

作者电子信箱：chengxf@njupt.edu.cn

作 者

2010年12月于南京邮电大学

目 录

第 1 章 现代电子设计技术概述	1
1.1 电子设计技术的发展历程	1
1.2 电子电路设计的一般方法	2
1.2.1 模拟电路的设计方法	2
1.2.2 数字电路的设计方法	4
1.3 体验 EDA	6
1.3.1 EDA 基本技术特征	6
1.3.2 EDA 的应用范围	7
1.3.3 EDA 的必要性	7
1.4 本书选用的 EDA 软件	7
习题一	9
第 2 章 计算机辅助电路分析和电路仿真	10
2.1 模拟电路仿真原理	10
2.1.1 输入方式	10
2.1.2 元器件模型	11
2.1.3 电路方程的建立与求解	11
2.1.4 图形的后处理	12
2.2 数字电路的模拟	12
2.2.1 数字电路模拟的过程	12
2.2.2 逻辑模拟的模型	13
2.2.3 逻辑模拟的算法	16
2.3 数模混合仿真技术	17
2.3.1 顺序模拟	17
2.3.2 混合模拟	18
2.4 常用的电路仿真工具	19
2.5 Multisim 10 的基本操作	19
2.5.1 电原理图的创建	20
2.5.2 虚拟仪器的使用	27
2.5.3 基本分析方法	30
2.6 综合设计与仿真	35
2.6.1 反相比拟运算电路分析	35
2.6.2 三路智力竞赛抢答器仿真设计	37
2.6.3 24 小时制多功能数字钟设计	39
习题二	46
第 3 章 印制电路板设计及应用	47
3.1 印制电路板基本知识	47
3.2 布局布线技术	48
3.2.1 PCB 自动布线技术的步骤	49
3.2.2 元件的布局技术	49
3.2.3 元件的布线技术	49
3.3 Protel 99SE 概述	50
3.3.1 Protel 99SE 的发展与演变	50
3.3.2 Protel 99SE 的设计组件	50
3.4 用 Protel 99SE 设计原理图	51
3.4.1 原理图设计过程	51
3.4.2 新建一个设计库	52
3.4.3 设置图纸大小和添加元件库	53
3.4.4 放置元件	54
3.4.5 连接线路与放置接点	54
3.4.6 电气规则检查	55
3.4.7 建立网络表	55
3.4.8 保存文件	56
3.5 用 Protel 99SE 设计印制电路板	56
3.5.1 印制电路板的设计步骤	56
3.5.2 创建 PCB 图文件	56
3.5.3 装载元件库	57
3.5.4 设置电路板工作层面	58
3.5.5 规划电路板	60
3.5.6 装入网络表与元件	61
3.5.7 元件布局	62
3.5.8 自动布线	64
3.5.9 给电路板添加标注	68
3.5.10 PCB 图的打印输出	68
3.5.11 生成元件报表	69
3.6 综合应用举例	69
习题三	74
第 4 章 可编程逻辑器件应用技术	75
4.1 可编程逻辑器件概述	75
4.2 VHDL 要素	77
4.2.1 VHDL 文字	77
4.2.2 VHDL 中的数据类型	79
4.2.3 VHDL 数据对象	81
4.2.4 VHDL 的运算操作符	83
4.2.5 VHDL 的属性描述	85
4.3 数字电路设计基本组件及其 VHDL 模型	86
4.3.1 多路选择器和译码器的 VHDL	

模型及相关语法·····	86	6.3.3 利用 LabVIEW 创建 VI 的 示例·····	149
4.3.2 锁存器/触发器/寄存器的 VHDL 模型及相关语法·····	92	6.3.4 利用 LabVIEW 创建 VI 的 总结·····	158
4.3.3 串并/并串转换电路的 VHDL 模型及相关语法·····	97	6.4 虚拟仪器的综合应用举例·····	160
4.3.4 计数器的 VHDL 模型及相关 语法·····	99	6.4.1 智能心音检测仪·····	160
4.3.5 有限状态机的 VHDL 描述及 相关语法·····	101	6.4.2 基于 LabVIEW 的二阶系统 虚拟实验平台·····	171
4.4 CPLD/FPGA 的设计流程·····	104	习题六·····	172
4.5 用 Quartus II 完成 CPLD/FPGA 设计的实例·····	108	第 7 章 现代电子电路设计范例 ·····	173
4.5.1 原理图、文本输入设计方法··	108	7.1 信号获取电路·····	173
4.5.2 原理图、文本混合输入方法··	121	7.1.1 常用的物理传感器及其特性··	174
习题四·····	126	7.1.2 心音传感器及放大电路·····	176
第 5 章 集成电路制造工艺与专用集成 电路设计 ·····	128	7.1.3 测量放大器·····	178
5.1 集成电路制造工艺简介·····	128	7.1.4 多路数据采集系统·····	180
5.2 CMOS 基本单元电路·····	130	7.2 信号输入电路·····	186
5.3 专用集成电路设计·····	133	7.2.1 键盘输入电路·····	186
5.3.1 集成电路的设计路线·····	133	7.2.2 手写字符输入电路·····	189
5.3.2 全定制设计方法·····	134	7.3 信号显示电路·····	190
5.3.3 半定制设计方法·····	135	7.3.1 数码显示电路·····	190
5.4 专用集成电路设计的 EDA 技术··	136	7.3.2 液晶显示电路·····	191
5.4.1 输入的设计·····	137	7.4 信号转换电路·····	193
5.4.2 设计验证·····	137	7.4.1 数模 D/A 转换电路·····	193
5.4.3 设计综合·····	139	7.4.2 模数 A/D 转换电路·····	194
5.5 设计实例分析·····	140	7.5 信号合成电路·····	196
5.5.1 可编程分频器原理·····	140	7.5.1 直接数字合成器·····	196
5.5.2 可编程分频器的后端设计··	140	7.5.2 人工语音合成电路·····	196
5.5.3 芯片验证与测试·····	142	7.5.3 功率放大器·····	197
习题五·····	143	7.6 信号分解电路·····	198
第 6 章 虚拟仪器系统及设计 ·····	144	7.6.1 同步数字信号复用分解电路··	198
6.1 虚拟仪器的发展状况·····	144	7.6.2 FPGA 分频器电路·····	198
6.1.1 虚拟仪器在国外的状况··	144	7.6.3 FPGA 滤波器电路·····	200
6.1.2 虚拟仪器在国内的状况··	145	7.7 信号控制电路·····	201
6.2 虚拟仪器技术简介·····	145	7.7.1 可编程的交通信号灯控制 电路·····	201
6.2.1 虚拟仪器概念·····	145	7.7.2 十六路循环彩灯控制电路··	204
6.2.2 虚拟仪器系统组成·····	146	7.8 电源电路·····	205
6.2.3 虚拟仪器与传统仪器的比较··	147	7.8.1 直流可调稳压电源的设计··	206
6.3 虚拟仪器的开发环境介绍·····	148	7.8.2 串联型开关稳压电源·····	206
6.3.1 LabVIEW 简介·····	148	7.9 设计范例·····	208
6.3.2 LabVIEW 创建 VI 的基本 过程·····	149	7.9.1 数字式电缆对线器·····	208
		7.9.2 温度测量仪·····	213
		7.9.3 宽带直流放大器设计·····	220
		习题七·····	228
		参考文献 ·····	229

本章要点

- 电子设计自动化 (EDA) 的基本概念
- EDA 技术的发展历程
- 电子电路设计的一般方法
- EDA 技术的基本特征
- 本书所选用的 EDA 软件的简介

1.1 电子设计技术的发展历程

EDA 技术是一种实现电子系统或电子产品设计自动化的技术,与电子技术、微电子技术的发展密切相关,它是以计算机为基本工作平台,利用计算机图形学、图论与拓扑逻辑、计算数学、优化理论等多学科最新成果研制出的计算机辅助设计通用软件工具。EDA 技术是一种帮助电子设计工程师从事电子组件产品和系统设计的综合技术。EDA 是在 20 世纪 90 年代从计算机辅助设计 (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) 的概念发展而来的。一般把 EDA 技术的发展分为 CAD、CAE、EDA 3 个阶段。

20 世纪 70 年代的 CAD 是 EDA 技术发展的早期阶段。在这个阶段,人们开始利用计算机取代手工劳动,但当时的计算机硬件功能有限,软件功能较弱,人们主要借助计算机对所设计的电路进行一些模拟和预测,辅助进行集成电路版图编辑和印刷电路板 (PCB) 布局、布线等简单的版图绘制等工作。这个时期受到计算机工作平台的限制,能支持的设计工作有限且性能比较差,效率较低。

20 世纪 80 年代的 CAE 是在 CAD 工具逐步完善的基础上发展起来的,即所谓的 EDA 技术中级阶段。其主要特征是具备了自动布局布线和电路的计算机仿真、分析和验证功能。其作用已不仅仅是辅助设计,而且可以代替人进行某种思维。CAE 这种以原理图为基础的 EDA 系统,虽然直观,且易于理解,但对复杂的电子设计很难达到要求,也不宜于设计的优化。

20 世纪 90 年代以来,微电子工艺有了快速的发展,工艺水平达到了深亚微米级,甚至达到超深亚微米级。在一个芯片上已经可以集成上百万乃至上亿只晶体管,芯片速度达到了 Gbit/s 量级,百万门以上的可编程逻辑器件面世。在这种形势下,EDA 技术的发展得到了极

大的推动。EDA 技术理论更加成熟, EDA 工具软件具备了更多的功能、更高的速度及更高的自动化程度。这都极大地提高了系统设计的效率, 缩短了产品的研制周期, 推动了全新的电子设计自动化技术的发展。

现代电子设计技术由于计算机技术的快速发展而不断发生着巨大变化。今天, EDA 技术已经成为现代电子设计的重要工具, 无论是芯片设计还是系统设计, 如果没有 EDA 工具的支持, 都将是难以完成的。

这些利用先进的计算机工作平台所开发出的一整套电子系统设计软件工具, 实现了电子产品从电路设计、性能分析到设计出 IC 版图或 PCB 版图的整个过程的自动处理以及其他利用计算机平台所实现电子产品设计自动化的技术, 我们统称之为现代电子设计技术, 它是科研、教学领域的一门新兴的工程技术, 是电子信息行业的一项先进设计生产技术。

1.2 电子电路设计的一般方法

1.2.1 模拟电路的设计方法

模拟电子系统种类繁多、千差万别, 设计一个模拟电子系统的方法和步骤也不尽相同。但对于要设计的实际电子系统, 一般首先根据电子系统的设计任务, 进行总体方案选择; 然后对组成系统的单元电路进行设计、参数计算、元器件的确定和实验调试; 最后绘出用于指导工程的电路图。

1. 总体方案确定

在全面分析电子系统任务书所下达的系统功能、技术指标后, 根据已掌握的知识和资料, 将总体系统按功能合理地分解成若干个子系统(单元电路), 并画出由各个单元电路框图相互连接而形成的系统原理框图。电子系统总体方案的选择, 将直接决定电子系统设计的质量, 因此, 在进行总体方案设计时, 要多思考、多分析、多比较。要从性能稳定性、工作可靠性、电路结构、成本、功耗、调试、维修等方面, 选出最佳方案。

2. 单元电路设计

在进行单元电路设计时, 必须明确对各单元电路的具体要求, 详细拟定出单元电路的性能指标, 认真考虑各单元之间的相互联系, 注意前后级单元之间信号的传递方式和匹配, 尽量少用或不用电平转换之类的接口电路, 并应使各单元电路的供电电源尽可能的统一, 以使整个电子系统简单可靠。另外, 应尽量选择现有的、成熟的电路来实现单元电路的功能。如果找不到完全满足要求的现成电路, 则可以在与设计要求比较接近的电路基础上作适当改进, 或自己进行创造性设计。为使电子系统的体积小、可靠性高, 单元电路尽可能用集成电路组成。

3. 参数计算

在进行电子电路设计时, 应根据电路的性能指标要求决定电路元器件的参数。例如, 根据电压放大倍数的大小, 可决定反馈电阻的取值; 根据振荡器要求的振荡频率, 利用公式可算出决定振荡频率的电阻和电容值等。但一般满足电路性能指标要求的理论参数值不是唯一

的,设计者应根据元器件的性能、价格、体积、通用性和货源等方面灵活选择。计算电路参数时应注意以下几点:

(1) 在计算元器件工作电流、电压和功率等参数时,应考虑工作条件最不利的情况,并留有适当的余量。对于元器件的极限参数必须保留足够的余量,一般取 1.5~2 倍的额定值。

(2) 对于电阻、电容参数的取值,应选计数值附近的标称值。

(3) 在保证电路达到性能指标要求的前提下,尽量减少元器件的品种、价格及体积等。

4. 元器件选择

在确定电子元器件时,应全面考虑电路处理信号的频率范围、环境温度、空间大小、成本高低等诸多因素。

(1) 一般优先选择集成电路。由于集成电路体积小、功能强,能使电子电路可靠性增强,调试方便,并可大大简化电子电路的设计。随着模拟集成技术的不断发展,适用于各种场合下的集成运算放大器不断涌现,只要外加少量的元器件,利用运算放大器就可构成性能良好的放大器。同样,目前在进行直流稳压电源设计时,已很少采用分立元器件进行设计了,取而代之的是性能更稳定、工作更可靠、成本更低廉的集成稳压器。

(2) 正确选择电阻器和电容器。这是两种最常见的元器件,种类很多,性能相差很大,应用场合也不同。因此,对于设计者来说,应熟悉各种电阻器和电容器的主要性能指标和特点,以便根据电路要求,对元件做出正确的选择。

(3) 选择分立半导体元件。首先要熟悉这些元件的性能,掌握它们的应用范围;再根据电路的功能要求和元器件在电路中的工作条件,如通过的最大电流、最大反向工作电压、最大工作频率、最大消耗功率等,确定元器件的型号。

5. 计算机模拟仿真

随着计算机技术的飞速发展,电子系统的设计方法发生了很大的变化。目前,EDA 技术已成为现代电子系统设计的必要手段。在计算机平台上,利用 EDA 软件可对各种电子电路进行调试、测量、修改,大大提高电子设计的效率和精确度,同时节约了设计费用。

6. 实验

电子设计要考虑的因素和问题相当多,由于电路在计算机上进行模拟时所采用的元器件参数和模型与实际器件有差别,所以对经计算机仿真过的电路,还要进行实际实验。通过实验可以发现问题、解决问题。若性能指标达不到要求,应深入分析问题出在哪些单元电路或电子器件上,再对它们重新设计和选择,直到性能指标完全满足要求为止。

7. 总体电路图绘制

总体电路图是在总框图、单元电路设计、参数计算和元器件选择的基础上绘制的,它是组装、调试、印刷电路板设计和维修的依据。目前一般是利用绘图软件绘制电路图。绘制电路图时要注意以下几点。

(1) 总体电路图要尽可能画在同一张图上,同时注意信号的流向,一般从输入端画起,由左至右或由上至下按信号的流向依次画出各单元电路图。对于电路图比较复杂的,应将主

电路图画在一张或数张图纸上，并在各子图所有端口的两端标注上标号，依次说明各图纸之间的连线关系。

(2) 注意总体电路图的紧凑，要求布局合理、排列均匀。图中元器件的符号应标准化，元件符号旁边应标出型号和参数。集成电路通常用方框表示，在方框内标出它的型号，在方框的两侧标出每根连线的功能和管脚号。

(3) 连线一般画成水平线或垂直线，并尽可能减少交叉和拐弯。对于相互交叉的线，应在交叉处用圆点标出。对于连接电源负极的连线，一般用接地符号表示；对于连接电源正极的连线，仅需标出电压值。

1.2.2 数字电路的设计方法

数字系统由组合逻辑和时序逻辑功能器件组成，而这些功能器件又可以由各种各样的 SSI（小规模集成电路）、MSI（中规模集成电路）、LSI（大规模集成电路）和 VLSI（超大规模集成电路）器件组成。数字系统的设计方法分为传统的“自下而上”和现代的“自上而下”两种设计方法。

1. 数字系统“自下而上”的设计方法（积木方式）

数字系统“自下而上”的设计方法的基本思想是先把系统的总体方案分成若干个相互独立的功能电路，然后用组合逻辑电路和时序逻辑电路的设计方法分别设计并构成这些功能电路，或者直接选择合适的 SSI、MSI、LSI 器件实现上述功能，最后把这些已经确定的功能器件按要求拼接组合起来，便构成完整的数字系统。这种方法适用于规模不大、功能不复杂的数字系统。设计方法的基本步骤如下。

(1) 分析任务要求，确定总体方案。根据设计任务书，明确系统的逻辑功能，数据的输入输出方式，系统需要完成的任务等，选定实现系统功能所要遵循的原理和方法。

(2) 划分逻辑单元，画出其原理框图。根据数字系统的总体功能，把一个较复杂的逻辑电路分解为若干个较简单的单元电路，明确各个单元的功能及作用，画出其原理框图。逻辑单元大小要适当，以功能单一（便于调测）、易于实现且便于进行方案比较为原则。

(3) 选择集成器件类型、确定单元电路的组成。按照每个单元电路的逻辑功能，选择合适的集成器件代替。器件的选择应尽量选用 MSI 和 LSI，由于器件类型和性能的不同，需要器件的数量和连接方式不一样，所以需将不同方案进行比较。一般情况下，选择性能可靠、使用器件少、成本低、器件易于获得的方案。

(4) 考虑单元电路的连接。各单元电路选定之后，还要认真解决它们之间的连接问题，如前级对后级是否能驱动，要保证各单元电路之间在时序上一致，并能稳定工作，避免出现竞争冒险或相互之间的干扰。

(5) 画出系统框图和逻辑电路图。框图要求能简明扼要地反映系统的工作过程和工作原理，要求能清晰地表示出控制信号和数字信号的流动方向。

逻辑电路图除采用手工绘图外，也可以采用 Protel 99SE 电子电路绘图软件绘图，图形应当清晰、工整，符合电路制作原则。数字电路绘图原则如下。

① 要标明输入端、输出端以及信号流动方向。

② 通路尽量用线连接，不便连接时，应在端口两端标出，互相连通的交叉线要用小黑点

标出。

③ 同一电路分成两张以上绘制时,应在同一坐标系统,并应标明信号的连接关系。

④ 所有的元器件逻辑符号应符合国家标准。

国内一些电子系统设计工程师实现系统设计的模式是“积木方式”,根据功能框图选择采用合适的通用器件搭建系统。在采购到所需元器件速度、功能完全适用的前提下,“积木方式”不失为一种快捷的设计方法。

复杂的电子系统设计“积木方式”是难以完成的;只有使用顶层设计手段“TOP-DOWN”才能完成;移动电话是“TOP-DOWN”电子系统设计的典型产物。

2. 数字系统“自上而下”(Top-Down)的设计方法

数字系统“自上而下”的设计方法的基本思想是:先从顶层进行功能方框图划分和结果分析,实现设计、仿真、测试一体化。具体步骤如下:

(1) 系统任务分析与描述手段的确定。描述手段是基础,系统设计师的最初设计思想是从功能描述开始。从系统设计入手,首先要考虑规划出能完成某一具体功能、满足自己产品系统设计要求的某一功能模块,利用某种方式把功能描述出来,通过功能仿真以验证设计思路的正确性。当所设计的功能满足需要时,再考虑以何种方式完成所需要的设计,并能直接使用功能定义的描述。通过系统分析进一步明确待设计系统的逻辑功能。

(2) 确定逻辑算法。实现系统算法的方法称为逻辑算法。一个数字系统的逻辑算法往往有多种,设计者的任务不单是找出各种算法,还要确定最合理的一种。

(3) 系统划分。当算法明确后,应根据算法构造系统的硬件框架(系统框图),把系统划分成若干个部分。划分后的各部分应逻辑功能清楚,规模大小合适,便于进行电路级设计。

(4) 系统(或模块)逻辑描述。当系统中各个子系统和模块的逻辑功能及结构确定后,则需要用较规范的形式来描述系统的逻辑功能。

(5) 逻辑电路级设计。选择合理的器件和连接关系以实现系统的逻辑要求。通常采用电路图方式和硬件描述语言(HDL)方式来进行表述。

(6) 仿真。现代数字系统设计的 EDA 软件都具有仿真的功能,先通过电路仿真,当验证结果正确后再进行实际电路的测试。

(7) 物理实现及其检验。物理实现及检验是指用实际的器件实现数字系统的设计,用电子仪器、仪表测量所设计的电路是否达到设计的要求。

“自上而下”的设计过程并非是一个线性过程,整个设计过程是一个反复修改和补充的过程,是一种由高层次到低层次转换,逐步求精的设计方法。

Top-Down 与传统电原理图设计方法相比有以下优点。

(1) 完全符合设计人员的设计思路,从功能描述开始到物理实现的完成。

(2) 功能设计可完全独立于物理实现。在采用传统的电原理图输入方法时,不同厂商产品的结构不同,在设计一开始,工程师的设计思路就受到最终所采用器件的约束,大大限制了设计师的思路和器件选择的灵活性。而采用 Top-Down 设计方法可不含有任何器件的物理信息,因此工程师可以有更多的空间去集中精力进行功能描述,设计师可以在设计过程的最后阶段任意选择或更改物理器件。

(3) 设计可再利用。设计结果完全可以以一种知识产权(IP, Intellectual Property)的方

式作为设计师或设计单位的设计成果，应用于不同的产品设计中，做到成果的再利用。

(4) 易于设计的更改。使用 FPGA 验证算法，设计工程师可在极短的时间内修改设计，对各种 FPGA 结构进行设计结果规模（门消耗）和速度（时序）的比较，选择最优方案。

(5) 设计、处理大规模或复杂电路。器件正向高集成度、深亚微米工艺发展。小规模的系统设计，Top-Down 设计方法具有很大的帮助，而大规模的系统设计，Top-Down 设计方法则是必不可少的手段。

(6) 设计周期缩短，生产率大大提高，产品上市时间提前，性能明显提高，产品竞争力加强。

对专用集成电路的设计和实现常见有 3 种途径，如图 1-1 所示。

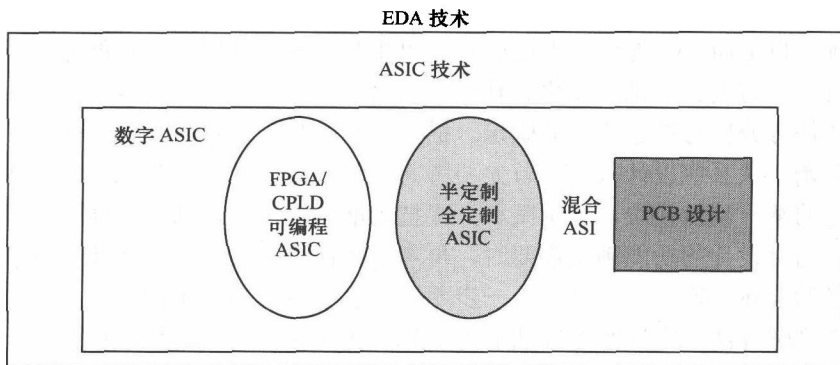


图 1-1 专用集成电路设计和实现的 3 个途径

途径一：使用可编程逻辑器件（FPGA/CPLD）。特点：灵活性，通用性好，上市周期快，对于小批量产品成本低。

途径二：半定制或者全定制 ASIC，包括门阵列 ASIC，标准单元 ASIC 和全定制 ASIC。特点：价格低，性能好，具有知识产权，保密性好。

途径三：混合 ASIC 设计，既具有 FPGA 可编程逻辑资源，又含有可调用的硬件标准单元模块（CPU，RAM，ROM，硬件加法器，乘法器，锁相环）。例如：ALTERA 公司的 Virtex-4 系列，StratixII 系列等。

1.3 体验 EDA

1.3.1 EDA 基本技术特征

总的来说，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。它主要采用并行工程和“自顶向下”的设计方法，使开发者从一开始就要考虑到产品生产周期的诸多方面，包括质量、成本、开发时间及用户的需求等，然后从系统设计入手，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 VHDL、Verilog-HDL 等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，最后再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。近几年来，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平台上,从而使 EDA 框架日趋标准化。

1.3.2 EDA 的应用范围

EDA 技术发展迅猛,应用范围很广,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 技术已在产品设计与制造、教学与科研部门广泛使用,并发挥巨大作用。

在教学方面,几乎所有的理工科类(特别是电子信息类)高校都开设了 EDA 课程。主要是让学生了解 EDA 的基本概念和基本原理,掌握描述系统逻辑的方法,利用电子器件进行电子电路的模拟仿真实验,并在做毕业设计时选择现代电子电路设计方面的课题。同时,通过学习电路仿真工具,提高学生的实际操作能力,创新能力和计算机应用能力,为从事电子设计方面的工作打下基础。比如参加每两年举办一次的全国大学生电子设计竞赛活动。

在科研方面,主要利用电路仿真工具进行电路设计与仿真;利用虚拟仪器进行产品测试;将 CPLD/FPGA 器件应用到实际仪器设备中,缩小产品体积,提高产品的性能,技术含量和附加值;进行 PCB 设计和 ASIC 设计等。

在产品设计与制造方面,从高性能的微处理器、数字信号处理器,一直到彩电、音响和电子玩具电路等,EDA 技术不但用于实现前期的计算机模拟仿真、系统级模拟及测试环境的仿真、产品调试,而且也在电子设备的研制与生产、电路板的设计等方面起着重要作用。

另外,EDA 软件的功能日益强大,原来功能比较单一的软件增加了很多新用途,可用于机械和建筑设计,也可扩展到建筑装潢效果图、汽车和飞机的模型、电影特技等领域。

综上所述,EDA 技术及其应用软件的广泛使用,极大地方便了设计人员的研发工作,从而为高质量高性能电子产品的开发和生产奠定了基础,可以说 EDA 技术已经成为电子工业领域不可缺少的技术支持。

1.3.3 EDA 的必要性

21 世纪是 EDA 技术的高速发展阶段,EDA 技术是电子设计领域的一场革命,随着科技的进步,电子产品的更新日新月异,EDA 技术作为电子产品开发研制的源动力,已成为现代电子设计的核心,每年都有新的 EDA 工具问世。然而,我国 EDA 技术的应用水平落后于发达国家,因此,作为高等院校相关专业的学生和广大电子工程人员应该尽早掌握这一先进技术,这不仅是提高设计效率的需要,更是我国电子工业在世界市场上生存、竞争与发展的需要。掌握和普及这一全新的技术,将对我国电子技术的发展具有深远的意义。

1.4 本书选用的 EDA 软件

1. 传统电子设计 EDA 软件

典型传统电子设计的 EDA 软件主要实现三项任务:电路原理图的创建、混合信号的仿真和 PCB 的设计。一般流程是先创建电路原理图,然后进行电路图的仿真,最后在电路原理图基础上设计 PCB 板。本书选择最具代表性的 EDA 软件 Multisim 和 Protel,介绍了 Multisim

10 和 Protel 99 SE 在电子电路仿真与设计方面的应用。Multisim 软件主要侧重电路的仿真分析, Protel 软件主要侧重电路原理图和 PCB 板的设计。

Multisim10.0 是美国国家仪器(NI)有限公司于 2007 年推出的新版本, 它可以实现原理图的捕获、电路分析、交互式仿真、电路板设计、仿真仪器测试、集成测试、射频分析等高级应用。它提供了一个非常大的元器件数据库和齐全的虚拟仪器, 具有强大的仿真能力和完美的兼容能力。通过 Multisim10 和虚拟仪器技术可以完成从理论到原理图捕获与仿真, 再到原型设计和测试这样一个完整的综合设计流程。

Protel 99SE 是由澳大利亚 Protel Technology 公司推出的基于 Windows 平台下的 EDA 电子辅助设计软件, 该软件集成了一系列电路设计工具, 如原理图设计工具、PCB 设计工具及自动布线工具等, 同时引入了全新的文件管理方式和网络设计机制, 可以真正实现电路的高效并行设计。

2. 现代电子设计 EDA 软件

(1) 现代电子系统。

数字化是现代电子系统设计的根本标志, 集成电路(Integrated Circuit, IC)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit, ASIC)、片上系统(System on a Chip, SOC)、封装内的系统(System In Package, SIP)是现代电子系统设计发展的历程标志。

“IC”是集成电路的最早定义, 出现于 20 世纪 70 年代, 80 年代出现了“ASIC”, 90 年代“SOC”呈爆炸性发展, 至本世纪初, “SIP”、“MCP”(Multi Chip Package)出现在越来越多的场合。

“IC”阶段设计功能级电路, 使用分离部件“拼凑”系统各部分功能; “ASIC”阶段设计专业级电路, 使用专用芯片设计系统; “SOC”阶段设计系统级电路, 直接使用系统芯片开发产品; “SIP”阶段设计产品级电路, 针对产品开发产品芯片。

(2) 现代电子系统设计 EDA 软件。

本书介绍了 Altera 公司的可编程逻辑器件开发平台 QuartusII8.0 在数字电路仿真与设计方面的应用, 同时简单介绍了集成电路制造工艺与专用集成电路设计用到的 EDA 开发软件, 如 VCS、Apollo II、Cadence 以及 Hspice 等 EDA 软件。

Quartus II: Quartus II 是 Altera 公司的综合性 PLD 开发软件, 支持原理图、VHDL、Verilog HDL 以及 AHDL (Altera Hardware Description Language) 等多种设计输入形式, 内嵌综合器以及仿真器, 可以完成从设计输入到硬件配置的完整可编程逻辑器件(PLD)设计流程。

Quartus II 支持 Altera 的 IP 核, 包含了 LPM/Mega Function 宏功能模块库, 使用户可以充分利用成熟的模块, 简化了设计的复杂性、加快了设计速度。对第三方 EDA 工具的良好支持也使用户可以在设计流程的各个阶段使用熟悉的第三方 EDA 工具。

此外, Quartus II 通过和 DSP Builder 工具与 Matlab/Simulink 相结合, 可以方便地实现各种 DSP 应用系统; 支持 Altera 的片上可编程系统(SoPC)开发, 集系统级设计、嵌入式软件开发、可编程逻辑设计于一体, 是一种综合性的开发平台。

VCS: VCS 是编译型 Verilog 模拟器, 它完全支持 OVI 标准的 Verilog HDL 语言、PLI 和 SDF。VCS 具有目前行业中最高的模拟性能, 其出色的内存管理能力足以支持千万门级的 ASIC 设计, 而其模拟精度也完全满足深亚微米 ASIC Sign-Off 的要求。

Apollo II: Apollo II 是世界领先的 VDSM 布局布线工具。它能对芯片集成系统的 VDSM 设计进行时序、面积、噪声和功耗的优化。

Cadence: Cadence Allegro 系统互连平台能够跨集成电路、封装和 PCB 协同设计高性能互连。应用平台的协同设计方法, 工程师可以迅速优化 I/O 缓冲器之间和跨集成电路、封装和 PCB 的系统互联。该方法能避免硬件返工并降低硬件成本和缩短设计周期。约束驱动的 Allegro 流程包括高级功能用于设计捕捉、信号完整性和物理实现。由于它还得到 Cadence Encounter 与 Virtuoso 平台的支持, Allegro 协同设计方法使得高效的设计链协同成为现实。

Hspice: Hspice 是 Meta-Software 公司为集成电路设计中的稳态分析, 瞬态分析和频域分析等电路性能的模拟分析而开发的一个商业化通用电路模拟程序, 目前已被许多公司、大学和研究开发机构广泛应用。Hspice 可与许多主要的 EDA 设计工具, 诸如 Cadence, Workview 等兼容, 能提供许多重要的针对集成电路性能的电路仿真和设计结果。采用 Hspice 软件可以在直流到高于 100MHz 的微波频率范围内对电路作精确的仿真、分析和优化。在实际应用中, Hspice 能提供关键性的电路模拟和设计方案, 并且应用 Hspice 进行电路模拟时, 其电路规模仅取决于用户计算机的实际存储器容量。

习 题 一

1. 简述 EDA 技术的概念。
2. EDA 技术的发展经过了哪几个阶段?
3. 简述 EDA 技术的基本特征及其应用范围。
4. 简述 Multisim10 和 Protel 99 SE 两款 EDA 软件。
5. 简述 EDA 技术的发展趋势。

第 2 章

计算机辅助电路分析和电路仿真

本章要点

- Multisim10 电路原理图的创建
- Multisim10 虚拟仪表的使用
- Multisim10 的分析方法

电子系统分为模拟电路和数字电路两种。由模拟器件所组成的模拟电路，一般研究的是电路中各处电流、电压等模拟变化量之间的关系，其输入输出大多数是波形或数值；而由各式各样的逻辑门和功能块组成的数字电路，则主要研究的是信号彼此之间的逻辑关系，其输入输出是 0、1 和 x（不确定）等电平。因此，用计算机仿真分析这两种电路的方法有些不同。

2.1 模拟电路仿真原理

模拟电路的仿真分析是以电路理论、数值计算方法和计算机技术为基础实现的。它借助于计算机的计算、存储和图形处理的高速和高效率，采用特定的数学模型和仿真算法，用预先设计出的各种仿真分析的应用程序对电路进行各种分析、计算和验证。模拟电路的仿真过程如图 2-1 表示。

从图 2-1 中可以看出，模拟电路的仿真过程由以下几部分组成：输入部分（输入电路结构参数及仿真要求）、元器件模型库（创建和存放元器件数学模型）、通用仿真程序（自动建立相关电路方程并进行数值求解）和输出部分（处理和输出仿真结果）。

2.1.1 输入方式

模拟电路的输入方式有两种：电路网表文件输入和电原理图输入。用电路网表输入是一件既繁琐又容易出错的工作，对规模较大的电路，这一问题尤其突出。随着计算机图形处理技术的发展，现在的电路仿真工具基本上都采用方便直观的电原理图输入方式。

采用电原理图输入方式的仿真工具要建立一个电路符号库。建立电路符号库的方法很多，如源文件编译法、交互式图形编辑法等。不管用哪种方法建库，库中任一个电路图形符号一般都可以通过 6 个方面的信息来描述：图形符号名、子电路路径、项目种类代号、符号尺寸