

21

21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN DIANZI JISHU GUIHUA JIAOCAI
世纪高职高专电子技术规划教材

EDA实用技术

宋嘉玉 孙丽霞 主编

- 引入工程实践
- 突出基本概念
- 注重技能训练

免费提供
电子教案
习题解答

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21 世纪高职高专电子技术规划教材

EDA 实用技术

宋嘉玉 孙丽霞 主编

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

EDA 实用技术 / 宋嘉玉, 孙丽霞主编. —北京: 人民邮电出版社, 2006.12

21 世纪高职高专电子技术规划教材

ISBN 7-115-15342-6

I. E... II. ①宋...②孙... III. 电子电路—电路设计: 计算机辅助设计—高等学校: 技术学校—教材 IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 118444 号

内 容 提 要

本书是依据高等职业学校电子设计自动化课程的教学基本要求, 并参考部分院校的教学大纲编写而成的。

本书以提高学生的实践能力和技能水平为目的, 介绍 EDA 实用技术。全书内容共分 7 章, 主要包括: EDA 技术简介、可编程逻辑器件技术、硬件描述语言以及相应的开发软件、Multisim 2001 仿真技术及应用、Protel 99SE 软件技术及应用等。

本书通俗易懂, 注重理论联系实际, 突出应用能力的培养, 内容叙述深入浅出, 将知识点和能力点有机结合, 较全面地讲解了 EDA 的实用技术。

本书可作为电类等相关高职专业课程的教材, 也可供相关专业技术人员阅读参考。

21 世纪高职高专电子技术规划教材

EDA 实用技术

-
- ◆ 主 编 宋嘉玉 孙丽霞
责任编辑 赵慧君
 - ◆ 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>
河北涿水华艺印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 13
字数: 310 千字 2006 年 12 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2006 年 12 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-115-15342-6/TN · 2873

定价: 20.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

21 世纪高职高专电子技术规划教材

编 委 会

主 任 王俊鹏

副 主 任 张惠敏 向 伟

编 委 (以姓氏笔画为序)

朱乃立 阮友德 许恒玉 苏本庆 余本海

李存永 肖 琰 邱寄帆 张新成 林训超

胡修池 胡起宙 赵慧君 曾令琴 韩 丽

程 勇 潘春燕

丛书出版前言

遵照教育部提出的以就业为导向,高职高专教育从专业本位向职业岗位和就业为本转变的指导思想,人民邮电出版社协同一些高职高专院校和相关企业共同开发了 21 世纪高职高专电子技术规划教材。

随着职业教育在我国不断深化,各高职高专院校越来越关注人才培养的模式与专业课程设置,越来越关心学生将来的就业岗位,并开始注重培养学生的职业能力。但是我们看到,高职高专院校所培养的人才与市场上需要的技术应用型人才仍存在差距。那么如何在保证知识体系完整性的同时,能在教材中体现正在应用的技术、正在发展的技术和前沿的技术成了本套教材探讨的重点,为此我们在如下几个方面做了努力和尝试。

1. 针对电子类专业基础课程较经典,及知识点又相对统一、固定的特点,采取本科老师与高职高专老师合作编写的方式,借助本科老师在理论方面深厚的功底,在写作质量上进行把关,高职高专老师则发挥其熟悉职业教育教学需求的优势把握教材的广度与深度,力图解决专业基础课程理论与应用相结合的目的。

2. 高职高专教育培养的人才就是面向生产、管理第一线的技术型人才,基础课程的教学应以必需、够用为原则,以掌握概念、强化应用为教学重点,注重岗位能力的培养。本套教材在保证基本知识点讲解的同时,掌握“突出基本概念,注重技能训练,强调理论联系实际,加强实践性教学环节”的原则,在内容安排上避免复杂的数学推导和计算。

3. 专业课程引入工程实例,强化培养职业能力。让学生了解在实际工作中利用单片机和 PLC 做项目的流程,并通过一系列小的实例逐步让学生产生学习兴趣,并了解开发过程,最后通过一个大的完整案例对学生进行综合培训,从而达到对职业能力的培养。

以上这些仅是高职高专教材出版的初步。如何配合学校做好为国家培养人才的工作,出版高质量的教材将是我们不断追求和奋斗的目标。

我们衷心希望,关注高等职业教育的广大读者能对本套教材的不当之处给予批评指正,提出修改意见,同时也热切盼望从事高等职业教育的老师、企业专家和我们联系,共同探讨相关专业的教学方案和教材编写等问题。来信请发至 zhaohuijun@ptpress.com.cn。

21 世纪高职高专电子技术规划教材编委会
2005 年 8 月

编者的话

为了适应电子技术的飞速发展,突出高等职业教育的特色,加强对电类专业学生电子设计自动化应用能力的培养,适应人才市场和岗位群的能力要求,培养生产一线高素质的电子技术人才,本书依据高等职业学校电子设计自动化课程的教学基本要求,并参考部分院校的教学大纲编写而成。

根据电类专业生产一线人才的技术岗位要求,编写中拟贯彻以能力培养为主线,注重理论联系实际,突出应用能力培养,内容叙述深入浅出,力求将知识点和能力点有机结合,引入新知识、新工艺、新技术,较全面地讲解 EDA 的实用技术。

本书着重介绍运用 EDA 技术进行电子电路设计的有关知识和相关的 EDA 工具的应用。第 1 章介绍电子设计自动化的概述;第 2 章到第 4 章介绍如何应用 EDA 工具对可编程逻辑器件进行设计,包括数字电路设计方法、可编程逻辑器件、VHDL、EDA 开发工具的使用等;第 5 章介绍 Multisim 2001 仿真软件及其使用方法,包括系统概述、使用入门、虚拟仪表使用指南、分析功能使用指南和后处理功能等部分,并通过实例进行了具体的仿真应用;第 6 章、第 7 章介绍 Protel 99SE 软件技术及其使用方法,包括电路设计的步骤、原理图的设计、层次原理图的设计、印制电路板的设计步骤、电路板的设计等内容。书中例题由浅入深,简单实用,力求培养学生的综合分析和应用能力。

在编写过程中,作者融入了多年的教学和科研经验,体现出基本性和实用性的原则,为学习者提供一种快速有效的入门工具和一个有效的工作平台,注重培养学生的 EDA 技术应用能力和解决实际问题的能力。本书每章后均附有大量的练习,便于读者复习。

本教材构架完整,选用灵活,建议总学时为 60 学时左右。由于专业不同,对教学内容的选取会有所不同,在教学中可结合具体专业情况对教学内容和教学时数进行适当调整。

本书由宋嘉玉和孙丽霞共同担任主编。其中王蓉编写了第 4 章,马永军编写了第 2 章和第 3 章,孙丽霞编写了第 6 章和第 7 章,宋嘉玉编写了第 1 章和第 5 章。宋嘉玉和孙丽霞共同负责全书的统稿工作。

由于时间仓促,作者水平有限,书中错误和不足之处在所难免,恳请大家批评指正。

编者
2006 年 9 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 EDA 技术及发展	1
1.2 硬件描述语言	2
1.3 EDA 技术的基本设计方法	3
1.4 软体设计工具	4
第 2 章 可编程逻辑器件	6
2.1 可编程逻辑器件概述	6
2.1.1 可编程逻辑器件的发展历程	6
2.1.2 PLD 的分类	7
2.2 复杂可编程逻辑器件	7
2.2.1 Altera 公司 MAX7000 系列	8
2.2.2 MAX7000 系列器件编程	8
2.3 现场可编程门阵列	11
2.3.1 Altera 公司 FLEX10K 系列	11
2.3.2 现场可编程门阵列的配置	12
2.3.3 Altera 公司其他 FPGA 产品简介	14
2.4 可编程逻辑器件的设计流程	14
本章小结	17
思考题与习题	17
第 3 章 MAX+plus II 设计软件的应用	18
3.1 MAX+plus II 简介	18
3.2 MAX+plus II 基本操作	19
3.2.1 设计输入	19
3.2.2 项目编译	19
3.2.3 仿真和定时分析	20
3.2.4 编程下载	20
3.3 MAX+plus II 软件常用设计输入法	20
3.3.1 原理图设计输入法	21
3.3.2 文本设计输入法	24
3.3.3 波形输入法	25
3.3.4 层次化设计输入法	25
3.4 设计项目的编译与仿真	27
3.4.1 项目的编译	27

3.4.2 项目的功能仿真与时序分析	28
3.5 管脚的重新分配与定位	36
3.6 器件的下载编程	37
3.7 参数可设置模块库	39
本章小结	40
思考题与习题	41
第4章 VHDL	42
4.1 概述	42
4.2 VHDL 的基本结构	43
4.2.1 库	43
4.2.2 实体	44
4.2.3 结构体	45
4.3 VHDL 的基本知识	46
4.3.1 标识符	46
4.3.2 关键字	46
4.3.3 数据对象	47
4.3.4 数据类型	47
4.3.5 运算符	48
4.3.6 属性	49
4.4 VHDL 的基本语句	50
4.4.1 顺序语句	50
4.4.2 并行语句	56
4.5 VHDL 设计举例	62
4.5.1 组合逻辑电路的设计	62
4.5.2 时序逻辑电路的设计	66
4.6 VHDL 程序设计进阶	70
4.6.1 子程序、程序包及配置	70
4.6.2 VHDL 的结构描述方法	71
4.7 设计实例	73
4.7.1 出租车计费器	74
4.7.2 数字秒表	81
4.7.3 智能函数发生器	89
4.8 其他硬件描述语言简介	96
4.8.1 Verilog HDL	96
4.8.2 ABEL-HDL	96
本章小结	96
思考题与习题	97
第5章 Multisim2001 设计软件的应用	99
5.1 概述	99

5.2	原理图的创建	99
5.2.1	定制用户界面	100
5.2.2	原理图的绘制	100
5.3	元件库	104
5.3.1	电源库	104
5.3.2	基本元件库	106
5.3.3	二极管库	106
5.3.4	晶体管库	107
5.3.5	模拟元件库	107
5.3.6	TTL 元件库	108
5.3.7	CMOS 元件库	108
5.3.8	其他数字元件库	108
5.3.9	混合器件库	109
5.3.10	指示器件库	109
5.3.11	其他器件库	109
5.3.12	控制器件库	110
5.3.13	射频器件库	110
5.3.14	机电类元件库	111
5.4	元件编辑	111
5.4.1	进入元件编辑器	111
5.4.2	编辑元件	111
5.5	虚拟仪器	114
5.5.1	数字万用表	115
5.5.2	函数信号发生器	116
5.5.3	示波器	116
5.5.4	波特图仪	118
5.5.5	逻辑分析仪	119
5.5.6	失真分析仪	120
5.6	Multisim 的常用分析方法	121
5.6.1	直流工作点分析	121
5.6.2	交流分析	122
5.6.3	瞬态分析	122
5.6.4	傅里叶分析	123
5.6.5	噪声分析	124
5.6.6	失真分析	125
5.6.7	直流扫描分析	125
5.6.8	参数扫描分析	126
5.6.9	灵敏度分析	127
5.6.10	分析示例	127

本章小结	129
思考题与习题	129
第 6 章 Protel 99SE 电路原理图设计	131
6.1 Protel 99SE 概述	131
6.1.1 Protel 99SE 的主要功能	131
6.1.2 Protel 99SE 的基础知识	132
6.2 Protel 99SE 的使用基础	133
6.2.1 进入 Protel 99SE 原理图设计环境	133
6.2.2 设计管理器的基本操作	135
6.2.3 设计环境设置	137
6.2.4 创建新元件	141
6.3 原理图设计	147
6.3.1 原理图设计的工具	147
6.3.2 层次原理图的设计	148
6.3.3 原理图设计实例	151
本章小结	159
思考题与习题	160
第 7 章 Protel 99SE 电路板图设计	163
7.1 概述	163
7.2 印制电路板设计知识基础	164
7.2.1 印制电路板设计基础	164
7.2.2 印制电路板设计环境设置	165
7.2.3 印制电路板库操作	171
7.2.4 PCB 库文件中的库操作	176
7.2.5 PCB 设计管理器	183
7.3 电路板设计步骤	183
7.3.1 网络表的调入与编辑	184
7.3.2 设计规则设置	185
7.3.3 元件的自动布局	187
7.3.4 自动布线	188
7.3.5 报表的生成与 PCB 文件的打印	190
本章小结	194
思考题与习题	194
参考文献	198

第 1 章

绪 论

本章要点

- EDA 技术的基本方法。
- EDA 技术的基本内容。

本章难点

- ASIC (Application Specific Integrated Circuits) 芯片设计内容。

1.1 EDA 技术及发展

人类社会已进入信息化社会，信息社会的发展离不开电子产品的进步。现代电子产品在性能提高、复杂度增大的同时，价格却一直呈下降趋势，而且产品更新换代的步伐也越来越快，实现这种进步的主要原因就是生产制造技术和电子设计技术的发展。前者以微细加工技术为代表，目前已进展到深亚微米阶段，可以在几平方厘米的芯片上集成数万个晶体管；后者的核心就是 EDA 技术。EDA 是指以计算机为工作平台，融合了应用电子技术、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：IC 设计、电子电路设计和 PCB 设计。没有 EDA 技术的支持，想要完成超大规模集成电路的设计制造是不可想像的，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。EDA 代表了当今电子设计技术的最新发展方向，它的基本特征是：设计人员按照“自顶向下”的设计方法，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) 实现，然后采用硬件描述语言 (VHDL) 完成系统行为级设计，最后通过综合器和适配器生成最终的目标器件。这样的设计方法被称为高层次的电子设计方法。10 年前，电子设计的基本思路还是选择标准集成电路“自底向上” (Bottom-Up) 地构造出一个新的系统，这样的设计方法就如同一砖一瓦地建造金字塔，不仅效率低、成本高，而且还容易出错。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制电路板或专用

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，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。

现代电子产品的复杂度日益加深，一个电子系统可能由数万个中小规模集成电路构成，这就带来了体积大、功耗大、可靠性差的问题，解决这一问题的有效方法就是采用 ASIC (Application Specific Integrated Circuits) 芯片进行设计。ASIC 按照设计方法的不同可分为全定制 ASIC、半定制 ASIC 和可编程 ASIC (也称为可编程逻辑器件)。设计全定制 ASIC 芯片时，设计师要定义芯片上所有晶体管的几何图形和工艺规则，最后将设计结果交由 IC 厂家掩膜制造完成。优点是：芯片可以获得最优的性能，即面积利用率高、速度快、功耗低。缺点是：开发周期长，费用高，只适合大批量产品开发。半定制 ASIC 芯片的版图设计方法有所不同，分为门阵列设计法和标准单元设计法，这两种方法都是约束性的设计方法，其主要目的就是简化设计，以牺牲芯片性能为代价来缩短开发时间。可编程 ASIC 与上述掩膜 ASIC 的不同之处在于：设计人员完成版图设计后，在实验室内就可以烧制出自己的芯片，无须 IC 厂家的参与，大大缩短了开发周期。可编程逻辑器件自 20 世纪 70 年代以来，经历了 PAL、GAL、CPLD、FPGA 几个发展阶段，其中 CPLD、FPGA 属高密度可编程逻辑器件，目前集成度已高达 200 万门/片，它将掩膜 ASIC 集成度高的优点和可编程逻辑器件设计生产方便的特点结合在一起，特别适合于样品研制或小批量产品开发，使产品能以最快的速度上市，而当市场扩大时，它可以很容易地转由掩膜 ASIC 实现，因此开发风险也大为降低。上述 ASIC 芯片，尤其是 CPLD/FPGA 器件，已成为现代高层次电子设计方法的实现载体。

1.2 硬件描述语言

硬件描述语言 (Hardware Description Language, HDL) 是一种用于设计硬件电子系统的计算机语言，它用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，与传统的门级描述方式相比，它更适合大规模系统的设计。例如一个 32 位的加法器，利用图形输入软件需要输入 500~1 000 个门，而利用 HDL 只需要书写一行 $A=B+C$ 即可，而且 HDL 可读性强，易于修改和发现错误。早期的硬件描述语言，如 ABEL-HDL、AHDL，是由不同的 EDA 厂商开发的，互相不兼容，而且不支持多层次设计，层次间翻译工作要由人工完成。为了克服以上缺陷，1985 年美国国防部正式推出了 VHDL (Very High Speed IC Hardware Description Language)，1987 年 IEEE 采纳 VHDL 为硬件描述语言标准 (IEEE STD-1076)。VHDL 是一种全方位的硬件描述语言，包括系统行为级、寄存器传输级和逻辑门级多个设计层次，支持结构、数据流和行为 3 种描述形式的混合描述，因此 VHDL 几乎覆盖了以往各种硬件描述语言的功能，整个自顶向下或自底向上的电路设计过程都可以用 VHDL 来完成。另外，VHDL 还具有以下优点：VHDL 的宽范围描述能力使它成为高层次设计的核心，将设计人员的工作重心提高到了系统功能的实现与调试上，只需花较少的精力用于物理实现；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，而且也便于设计结果的交流、保存和重用；VHDL 的设计不依赖于特定的器件，方便了工艺的转换。VHDL 是一个标准语言，为众多的 EDA 厂商支持，因此移植性好。

1.3 EDA 技术的基本设计方法

数字系统设计有多种方法,如模块设计法、自顶向下设计法和自底向上设计法等。

数字系统的设计一般采用自顶向下、由粗到细、逐步求精的方法。自顶向下是指将数字系统的整体逐步分解为各个子系统和模块,若子系统规模较大,则还需将子系统进一步分解为更小的子系统和模块,层层分解,直至整个系统中各子系统关系合理,并便于逻辑电路级的设计和实现为止。采用该方法设计时,高层设计进行功能和接口描述,说明模块的功能和接口,模块功能的更详细的描述在下一设计层次说明,最底层的设计才涉及具体的寄存器和逻辑门电路等实现方式的描述。EDA 技术的每一次进步,都引起了设计层次上的一个飞跃。

1. 电路级设计

电子工程师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。系统在进行仿真时,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印制电路板的自动布局布线。在制作印制电路板之前还可以进行分析,包括热分析、噪声及窜扰分析、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反标回电路图,进行第二次仿真,也称为后仿真,这一次仿真主要是检验印制电路板在实际工作环境中的可行性。由此可见,电路级的 EDA 技术使电子工程师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,也降低了开发成本。

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。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后,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地成为产品,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。

高层次设计步骤如下:

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),这种输入方式具有直观、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，在综合前对源代码仿真，就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。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 软体设计工具

1. Protel

Protel 是 Protel Technology 公司开发的、功能强大的电路 EDA 软件，主要包括电路原理图的设计、网络表的生成及印制电路板的设计方法、设计工艺及操作等内容。

在 20 世纪 80 年代末期，美国 ACCEL Technologies INC 推出了第一个应用于电子设计的软件包 TANGO，这个软件包开创了电子设计自动化（EDA）的先河。随着电子业的飞速发展，TANGO 日益显示出不适应发展的需求，这时 Protel Technology 公司以其强大的研发能力推出了 Protel For Dos 作为 TANGO 的升级版本，从此 Protel 开始日益发展。20 世纪 90 年代出现基于 Windows 的 Protel 版本以及后来的 Protel98/99/99SE 等。

2. Multisim2001

本书介绍的 Multisim2001 是一个用于电路设计和仿真的 EDA 工具，它是加拿大 Interactive Image Technologies 公司于 1988 年推出的电子线路仿真与设计 EDA 软件 EWB 的升级版。EWB 以其强大的功能在我国得到广泛的推广应用。Multisim 2001 与 EWB 相比在功能上有了较大的改进，提供了标准的实际元件库、RF 库、功能强大品种齐全的仿真仪器和各种分析方法。

3. MAX+plus II

MAX+plus II的全称是 Multiple Array Matrix and Programming Logic User System II (多阵列矩阵及可编程逻辑用户系统 II), 它是美国 Altera 公司推出的一种 EDA 开发工具, 它将数字电路设计集成在一个环境中, MAX+plus II 支持 Altera 公司的各种可编程器件, 允许多种输入方式输入逻辑设计文件。经过系统编辑器的编译、综合等操作, 它可对设计进行功能模拟分析、延时时间分析, 最后将编译好的电路分配到可编程逻辑器件中。

EDA 工具繁多, 为便于读者选用合适的 EDA 软件, 现将部分软件功能介绍列入表 1.1 中。

表 1.1 部分 EDA 软件

EDA 工具	功 能
Protel	画电路图、印刷电路板图
Multisim 2001	模拟、数字及混合电路仿真、分析
Pspice	模拟、数字及混合电路仿真分析
MaxplusII	CPLD 设计、仿真、下载
MATLAB	矩阵运算、高级绘图、控制系统分析
DSCH	数字电路仿真、分析
Micowind	电子集成电路版图设计及模拟

EDA 技术涉及面广, 内容丰富, 从教学和实用的角度看, 主要应掌握如下 4 个方面的内容:

- ① 大规模可编程逻辑器件;
- ② 硬件描述语言;
- ③ 软件开发工具;
- ④ 实验开发系统。

其中, 大规模可编程逻辑器件是利用 EDA 技术进行电子系统设计的载体, 硬件描述语言是利用 EDA 技术进行电子系统设计的主要表达手段, 软件开发工具是利用 EDA 技术进行电子系统设计的智能化的自动化设计工具, 实验开发系统则是利用 EDA 技术进行电子系统设计的下载工具及硬件验证工具。

EDA 技术是电子设计领域的一场革命, 目前正处于高速发展阶段, 每年都有新的 EDA 工具问世, 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。

第 2 章

可编程逻辑器件

本章要点

- 可编程逻辑器件的基本结构、分类和特点。
- CPLD、FPGA 器件的基本原理和编程方式。
- 可编程逻辑器件设计流程。

本章难点

- CPLD、FPGA 器件各自的特点、区别。
- 编程实现的方式。

本章主要介绍可编程器件的基本原理、结构、分类以及可编程逻辑器件设计的一般流程，重点介绍复杂可编程逻辑器件、现场可编程门阵列的编程和配置方法，介绍 Altera 公司的相应典型器件，以及各器件的基本结构和工作原理。

2.1 可编程逻辑器件概述

可编程逻辑器件 (Programmable Logic Device, PLD) 是 20 世纪 70 年代发展起来的一种新的集成器件。它可由用户根据自己的要求来构造逻辑功能的数字集成电路，用户利用计算机辅助设计，即用原理图或硬件描述语言 (HDL) 等方法来表示设计思想，经过编译和仿真，生成相应的目标文件，再由编程器或下载电缆将设计文件配置到目标器件中，PLD 变成能满足用户要求的专用集成电路，同时还可以利用 PLD 的可重复编程能力，随时修改器件的逻辑，通过软件来实现电路的逻辑功能，而无须改变硬件电路。与中小规模通用型集成电路相比，用 PLD 实现数字系统，有集成度高、保密性好、速度快、功耗小、可靠性高等优点，与大规模专用集成电路相比，用 PLD 实现数字系统，具有研制周期短、先期投资少、无风险、修改逻辑设计方便的优势。PLD 的这些优点使得 PLD 技术在 20 世纪 90 年代得到了飞速的发展，已成为电子设计领域中最具活力和发展前途的一项技术。

2.1.1 可编程逻辑器件的发展历程

可编程逻辑器件的发展过程大致如下：

- (1) 20世纪70年代, 熔丝编程的 PROM 和 PLA 是最早的可编程逻辑器件;
- (2) 70年代末, 对 PLA 进行了改进, AMD 公司推出了 PAL 器件;
- (3) 80年代初, Lattice 公司发明电可擦写的、比 PAL 使用更灵活的 GAL 器件;
- (4) 80年代中期, Xilinx 公司提出现场可编程概念, 同时生产出了世界上第一片 FPGA;
- (5) 80年代末, Lattice 公司又推出在系统可编程技术, 并且推出了一系列具备在系统可编程能力的 CPLD 器件;
- (6) 进入 90 年代后, 可编程逻辑集成电路技术进入飞速发展时期, 器件的可用逻辑门数超过了百万门, 并出现了内嵌复杂功能模块(如加法器、乘法器、RAM、CPU 核、DSP 核、PLL 等)的 SoPC (System on Programmable Chip)。

2.1.2 PLD 的分类

PLD 的分类没有一个统一的标准。目前生产 PLD 的厂家主要有 Altera、Lattice、Xilinx、Actel 等公司。按其结构的复杂程度及性能的不同, PLD 一般可分为 SPLD、CPLD、FPGA 及 ISP 器件 4 种。

1. 简单可编程逻辑器件 (SPLD)

SPLD (Simple Programmable Logic Device) 是可编程逻辑器件的早期产品。最早出现在 20 世纪 70 年代, 主要是可编程只读存储器 (PROM)、可编程逻辑阵列 (PLA)、可编程阵列逻辑 (PAL) 及通用阵列逻辑 (GAL) 器件等。这些器件目前使用不多, 这里不再介绍, 读者可查阅有关资料。

2. 复杂可编程逻辑器件 (CPLD)

CPLD (Complex Programmable Logic Device) 出现在 20 世纪 80 年代末期。其结构上不同于早期 SPLD 的逻辑门编程, 而是采用基于乘积项技术和 E^2 PROM (或 Flash) 工艺的逻辑块编程, 不但能实现各种时序逻辑控制, 更适合做复杂的组合逻辑电路。如 Altera 公司的 MAX 系列, Lattice 公司的大部分产品, Xilinx 公司的 XC9500 系列等。

3. 现场可编程门阵列 (FPGA)

FPGA (Field Programmable Gate Array) 是由美国 Xilinx 公司率先开发的一种通用型用户可编程器件。FPGA 与 SPLD 和 CPLD 的结构完全不同, 它不包括与门和或门, 目前应用最多的 FPGA 是采用对基于查找表技术和 SRAM 工艺的逻辑块编程来实现所需的逻辑功能的。同 CPLD 相比, 它的逻辑块的密度更高、触发器更多、设计更灵活, 多用于大规模电路的设计, 尤其更适合做复杂的时序逻辑。但由于 FPGA 采用的是 SRAM 工艺, 掉电后数据会丢失, 因此实际应用时还须外挂一个 E^2 PROM 或 Flash Memory 来存储编程数据。典型的器件如 Altera 公司的所有 FLEX、ACEX、APEX、Cyclone (飓风)、Stratix 系列, Xilinx 公司的 Spartan、Virtex 系列等。

2.2 复杂可编程逻辑器件

复杂可编程器件 (CPLD) 基本结构与 PAL/GAL 相仿, 是基于与或阵列的乘积项结构,