

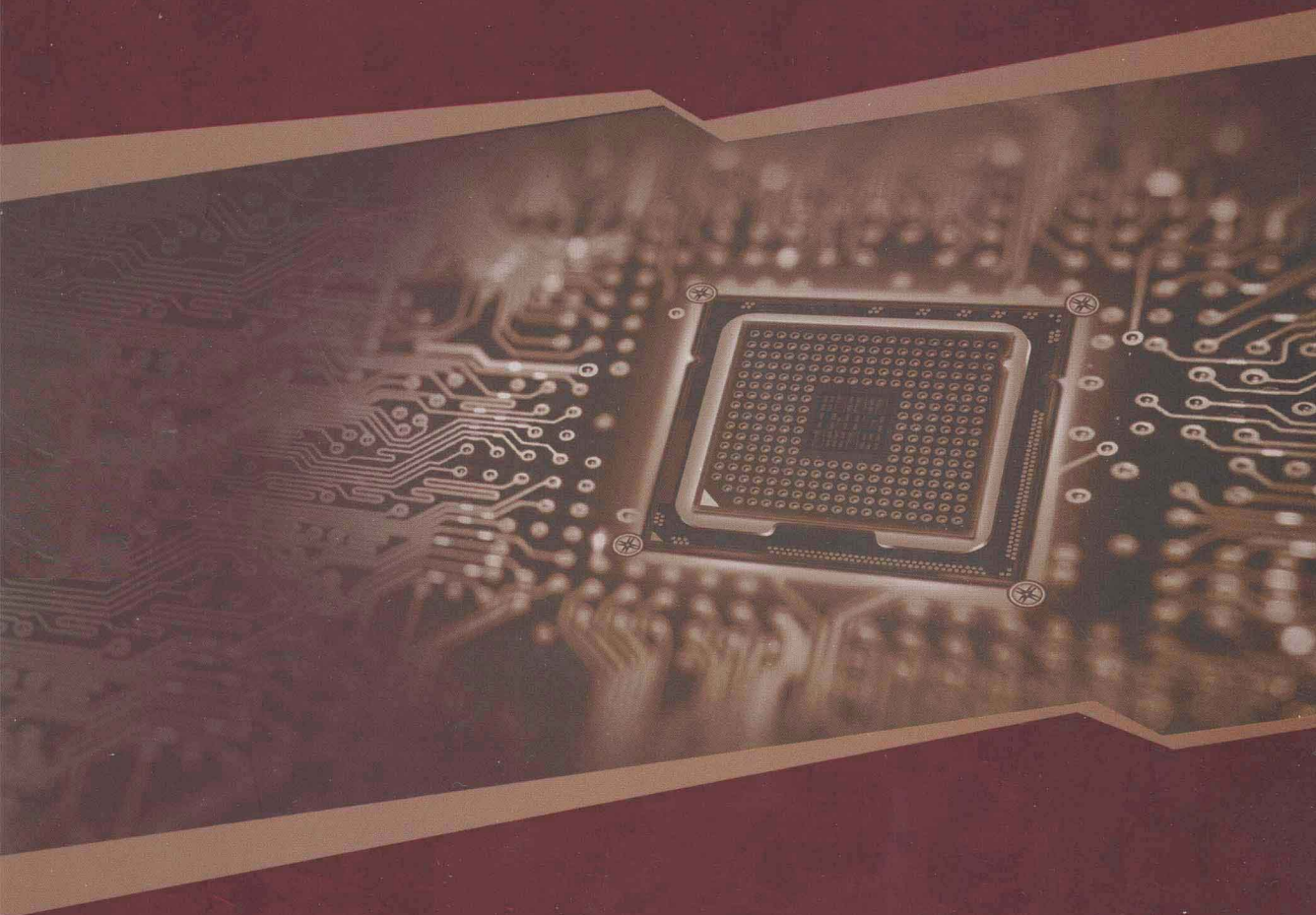
21世纪

高等院校电子信息类本科规划教材

EDA技术与实验

第2版

花汉兵 付文红 编著



机械工业出版社
China Machine Press

21
世纪

高等院校电子信息类本科规划教材

EDA技术与实验

第2版

花汉兵 付文红 编著

常州大学图书馆
藏书章



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

EDA 技术与实验 / 花汉兵, 付文红编著. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2013. 8

(21 世纪高等院校电子信息类本科规划教材)

ISBN 978-7-111-42654-7

I. E… II. ①花… ②付… III. 电子电路—电路设计—计算机辅助设计—高等学校—教材 IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 111476 号

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书主要介绍了模拟电路和数字电路中的典型电路。第 1 章介绍了 Multisim 7 仿真软件的使用方法, 第 2 章介绍了半导体器件——二极管、三极管和场效应管特性的仿真测试方法, 第 3 章给出了分立元件放大电路 (包括单级放大电路、多级放大电路、差动放大电路、功率放大电路等) 的仿真分析和设计方法, 第 4 章介绍集成运算放大电路及其应用电路的仿真设计, 第 5 章介绍了 QUARTUS II 软件的使用方法, 第 6 章介绍了 VHDL 硬件描述语言在数字电路设计中的应用, 第 7 章给出了数字系统的 EDA 设计方法与实践应用。

本书将理论和实践紧密结合, 注重提高学生分析问题和解决问题的能力, 可作为高等院校电子信息类专业高年级本科生和研究生的教材和学习参考资料。

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 余洁

北京瑞德印刷有限公司印刷

2013 年 8 月第 2 版第 1 次印刷

185mm×260mm·15.25 印张

标准书号: ISBN 978-7-111-42654-7

定 价: 35.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

前 言

EDA 技术是将计算机技术应用于电子电路设计过程的一门新技术,在通信、自动控制以及计算机应用等领域的重要性日益突出。为了适应 EDA 技术的发展和 EDA 技术教学实验的要求,本书在第 1 版的基本框架体系下,对一些章节的内容进行了更新和修订。

本书的内容按照模拟电子技术和数字逻辑电路课程的内容进行合理编排,前 4 章是模拟电路的仿真实验,后 3 章是数字逻辑电路仿真和系统设计。第 1 章介绍了 Multisim 7 仿真软件的使用方法;第 2 章介绍了半导体器件——二极管、三极管和场效应管特性的仿真测试方法;第 3 章给出了分立元件放大电路(包括单级放大电路、多级放大电路、差动放大电路和功率放大电路等)的仿真分析和设计方法;第 4 章介绍集成运算放大电路及其应用电路的仿真设计;第 5 章介绍了 QUARTUS II 软件的使用方法,更新了第 1 版中的 MAX+PLUS II 软件的使用方法,并对章节中的一些内容进行了调整;第 6 章介绍了 VHDL 硬件描述语言在数字电路设计中的应用,并修改和增加了一些例子,如分频电路的 VHDL 描述;第 7 章给出了数字系统的 EDA 设计方法与实践应用,修改了部分内容并增加了循环冗余校验码的 EDA 设计等例子。

附录 A 介绍了 SmartSOPC+_3C25 实验平台的硬件接口与核心板芯片 I/O 接口之间的匹配关系,以供查阅,本书第 5 章到第 7 章的相关设计内容均可基于该平台完成,在此感谢 SmartSOPC+_3C25 实验平台的研发人员。当然读者也可参考第 5 章到第 7 章的基本内容,无须局限于本实验平台,只要选择合适的可编程逻辑器件,就可进行引脚配置和下载。附录 B 还给出了 SmartSOPC、SmartEDA 多功能教学实验开发平台核心板 FPGA 引脚分配表,其标配核心板兼容两种 FPGA:EP1C6Q240 和 EP1C12Q240。

本书第 1 章到第 4 章由付文红编写,第 5 章到第 7 章由花汉兵编写,第 2 版由花汉兵主编并负责全书的组织和定稿等工作。在本书的编写过程中王建新教授给予了极大的支持和帮助,在此表示最衷心的感谢;同时对蒋立平教授和所有给予我们帮助的老师表示感谢。

由于时间仓促,作者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正!

作 者

2013 年 4 月于南京

教学建议

一、教学目的

1. 了解 EDA 技术在现代电子系统设计中的地位和重要作用,使学生认识到学习本课程的理论与实践意义,激发学习兴趣。
2. 掌握 Multisim 软件对电路原理图进行编辑、分析的基本功能,会用 Multisim 进行模拟电路仿真和初步设计。
3. 掌握 QUARTUS II 软件的使用方法,熟悉硬件描述语言(VHDL 语言)的基本结构和语法,掌握组合逻辑电路和时序逻辑电路的 VHDL 描述。
4. 掌握数字系统 EDA 的自顶向下的模块化设计方法,实现系统电路综合设计。

二、教学实施

教学内容	学习要点	课时安排
第 1 章 Multisim 7 仿真软件	• Multisim 7 仿真软件的使用方法 • 元件库、仪表工具库应用 • 仿真分析方法	4
第 2 章 半导体器件	• 半导体二极管的参数测试、伏安特性曲线测试以及应用电路仿真与分析 • 半导体三极管的特性曲线以及三个工作区的仿真测试与分析 • 半导体场效应三极管输出特性和转移特性曲线的仿真测试与分析	6
第 3 章 分立元件放大电路	• 分压偏置共射、射极输出器、共源场效应管等单级放大电路的仿真测试与分析 • 长尾差动放大电路和带有恒流源差动放大电路的仿真测试与分析 • 直接耦合和阻容耦合多级放大电路的仿真测试与分析 • OTL、OCL 两种功率放大电路的仿真测试与分析	15
第 4 章 集成运算放大电路 及其应用电路	• 比例放大、加法运算、减法运算、积分运算等信号运算电路的仿真测试方法与分析 • 单限比较器、滞回比较器、窗口比较器等信号处理电路的仿真测试方法与分析 • 应用集成运算放大器设计电路	15
第 5 章 QUARTUS II 软件应用	• QUARTUS II 软件概述与设计流程 • QUARTUS II 软件的使用方法 • 可参数化宏功能模块的使用	8

(续)

教学内容	学习要点	课时安排
第 6 章 VHDL 硬件描述语言	• VHDL 语言的基本组成、基本要素和基本描述语句 • 编码器、译码器、数据选择器等组合逻辑电路的 VHDL 语言描述 • 触发器、计数器、移位寄存器等时序逻辑电路的 VHDL 语言描述	8
第 7 章 数字系统 EDA 设计与实践	• 多功能数字钟的 EDA 设计 • 直接数字频率合成器的 EDA 设计 • 循环冗余校验码的 EDA 设计	24

三、教学方法

EDA 技术是将计算机技术应用于电子电路设计过程的一门新技术,宜以课堂教学与实践教学相结合。基于模拟电路和数字电路的课程内容,通过计算机仿真并分析讨论电路的工作原理、性能特点、技术指标、影响电路的主要参数等方面的问题,有条件的地区院校可结合相应的实验平台完成设计电路下载,以达到实践应用的效果。

四、说明

本书总学时为 80 学时,对于不同的专业和课程设置,教师可根据实际情况对内容进行适当的调整,以利于学生学习理解。

目 录

前言

教学建议

绪论	1
第 1 章 Multisim 7 仿真软件	8
1.1 Multisim 7 的软件特点	8
1.2 Multisim 7 的基本界面	8
1.2.1 菜单栏	9
1.2.2 标准工具栏	14
1.2.3 元件工具栏	14
1.2.4 仪表工具栏	14
1.3 元件库介绍	15
1.4 仪表工具库	26
1.4.1 数字万用表	27
1.4.2 函数信号发生器	33
1.4.3 瓦特表	34
1.4.4 示波器	34
1.4.5 波特图仪	37
1.4.6 频率计数器	39
1.4.7 字信号发生器	40
1.4.8 逻辑分析仪	41
1.4.9 逻辑转换仪	42
1.4.10 IV 分析仪	43
1.4.11 失真分析仪	45
1.4.12 频谱分析仪	45
1.4.13 网络分析仪	45
1.5 仿真分析方法	46
1.5.1 直流工作点分析 (DC Operating Point Analysis)	46
1.5.2 交流分析 (AC Analysis)	49
1.5.3 瞬态分析 (Transient Analysis)	50
1.5.4 傅里叶分析 (Fourier Analysis)	51
1.5.5 噪声分析 (Noise Analysis)	52
1.5.6 失真分析 (Distortion Analysis)	53
1.5.7 直流扫描分析 (DC Sweep Analysis)	54

1.5.8	灵敏度分析 (Sensitivity Analyses)	55
1.5.9	参数扫描分析 (Parameter Sweep Analysis)	56
1.5.10	温度扫描分析 (Temperature Sweep Analysis)	58
1.5.11	极-零点分析 (Pole Zero Analysis)	60
1.5.12	传递函数分析 (Transfer Function Analysis)	61
1.5.13	最坏情况分析 (Worst Case Analysis)	62
1.5.14	蒙特卡罗分析 (Mont Carlo Analysis)	63
1.5.15	批处理分析 (Batched Analysis)	64
第2章	半导体器件	65
2.1	半导体二极管	65
2.1.1	半导体二极管的参数测试仿真实验	65
2.1.2	半导体二极管的伏安特性曲线测试仿真实验	71
2.1.3	半导体二极管的应用电路仿真实验	73
2.2	半导体三极管	80
2.2.1	半导体三极管的特性曲线仿真测试实验	80
2.2.2	半导体三极管三个工作区的测试实验	83
2.3	场效应三极管输出特性曲线和转移特性曲线的测试实验	87
第3章	分立元件放大电路	92
3.1	单级放大电路	92
3.1.1	分压偏置共射放大电路的仿真实验	92
3.1.2	射极输出器放大电路的仿真实验	102
3.1.3	共源场效应管放大电路的仿真实验	106
3.2	差动放大电路的仿真实验	110
3.3	多级放大电路的仿真实验	115
3.4	功率放大电路的仿真实验	119
第4章	集成运算放大电路及其应用电路	122
4.1	集成运算放大电路的信号运算电路	122
4.1.1	比例放大电路、加法运算电路、减法运算电路的仿真实验	122
4.1.2	积分运算电路的仿真实验	125
4.2	集成运算放大电路的信号处理电路	129
4.3	集成运算放大电路的信号发生电路	139
4.3.1	正弦信号发生电路	139
4.3.2	方波发生电路	141
4.3.3	阶梯波发生电路	143
第5章	QUARTUS II 软件应用	150
5.1	QUARTUS II 软件概述与设计流程	150
5.1.1	QUARTUS II 软件概述	150
5.1.2	QUARTUS II 软件设计流程	150
5.2	设计输入	151
5.2.1	工程项目建立	151

5.2.2	设计输入	156
5.3	项目编译	162
5.4	设计仿真	163
5.5	引脚分配	170
5.6	编程下载	173
5.7	可参数化宏功能模块	175
第 6 章	VHDL 硬件描述语言	180
6.1	VHDL 语言的基本组成	180
6.1.1	库	181
6.1.2	程序包	182
6.1.3	实体	183
6.1.4	结构体	184
6.1.5	配置	185
6.2	VHDL 语言的基本要素	186
6.2.1	标识符	186
6.2.2	数据对象	186
6.2.3	VHDL 语言运算符	187
6.2.4	属性描述与定义	188
6.3	VHDL 语言基本描述语句	189
6.3.1	顺序语句	189
6.3.2	并行语句	191
6.4	组合逻辑电路的 VHDL 描述	194
6.4.1	编码器	194
6.4.2	译码器	195
6.4.3	数据选择器	197
6.4.4	加法器	198
6.4.5	数值比较器	198
6.5	时序逻辑电路的 VHDL 描述	199
6.5.1	触发器	199
6.5.2	计数器	201
6.5.3	移位寄存器	203
6.5.4	分频器	204
第 7 章	数字系统 EDA 设计与实践	206
7.1	多功能数字钟的 EDA 设计	206
7.2	直接数字频率合成器的 EDA 设计	210
7.3	循环冗余校验码的 EDA 设计	216
附录 A	SmartSOPC+_3C25 核心板 FPGA 引脚分配	219
附录 B	SmartSOPC、SmartEDA 核心板 FPGA 引脚分配	226
参考文献		233

绪 论

EDA (Electronic Design Automation) 是指电子技术设计自动化, 是在电子 CAD 技术基础上发展起来的, 利用计算机作为设计平台, 运用电子技术、计算机技术、信息处理及智能化技术的最新成果, 来进行电子产品的自动设计。电子设计人员可以使用 EDA 工具设计电子系统, 设计过程中的大量工作可以通过计算机完成, 电子产品从电路设计、性能分析到设计出 IC 版图或 PCB 版图的整个过程也可以在计算机上自动完成。

EDA 应用领域很广泛, 包括机械、电子、通信、航空航天、化工、矿产、生物、医学、军事等诸多领域。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, 都会涉及 EDA 技术。本书所指的 EDA 技术, 主要针对电子电路设计。

1. EDA 技术的发展历程

EDA 技术从出现至今已有 30 余年的发展历程, 大致可分为三个阶段: ①20 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, 使得电子设计师从传统的重复繁杂的手工绘图劳动中解脱出来。②20 世纪 80 年代被称为计算机辅助工程 (CAE) 阶段, 这个时期的主要特征是以逻辑模拟、定时分析、故障仿真、自动布局布线为核心, 重点解决电路设计中功能检测等问题, 使设计能在产品制作之前预知产品的功能与性能。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。③20 世纪 90 年代是 EDA (电子设计自动化) 阶段: 这一阶段的主要特征是以高级描述语言、系统级仿真和综合技术为特点, 采用“自顶向下”的设计理念, 将设计前期的许多高层次设计由 EDA 工具来完成。EDA 软件工具能够帮助人们设计电子电路或系统。该工具可以在电子产品的各个设计阶段发挥作用, 使设计更复杂的电路和系统成为可能。在原理图设计阶段, 可以使用 EDA 中的仿真工具来论证设计的正确性; 在芯片设计阶段, 可以使用 EDA 中的芯片设计工具设计制作芯片的版图; 在电路板设计阶段, 可以使用 EDA 中电路板设计工具设计多层电路板。特别是支持硬件描述语言的 EDA 工具的出现, 使复杂数字系统设计自动化成为可能, 只要用硬件描述语言将数字系统的行为描述正确, 就可以进行该数字系统的芯片设计与制造。21 世纪 EDA 技术将得到更大的发展。

2. EDA 技术的基本特征

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: 首先对整个系统进行方案设计和功能划分, 设计人员按照“自顶向下”的设计方法, 把系统的关键电路用一片或几片专用集成电路 (ASIC) 进行实现, 然后采用硬件描述语言 (HDL) 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。

传统的电路设计是选用标准集成电路“自底向上”地构造出一个新的系统，这样的设计方法，不仅效率低、成本高而且容易出错。而利用 EDA 工具对电子系统进行设计则采用“自顶向下”的全新设计方法，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，在系统级进行验证，其对应的物理实现级可以是印刷电路板或专用集成电路 (ASIC)。设计者的工作仅限于利用软件的方式，即利用硬件描述语言和 EDA 软件来完成对系统硬件功能的实现。由于设计的主要仿真和调试过程是在高层次上完成的，所以早期便能发现结构设计上的错误，避免设计工作中的浪费，又减少了仿真的工作量，从而提高了设计的成功率。

现代电子产品的结构和功能愈加复杂，电子系统规模逐渐扩大，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 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，设计者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 厂家去进行掩模制造，做出产品。这种设计方法的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，而缺点是开发周期长，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。可编程逻辑芯片与上述掩模 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，它将掩模 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模 ASIC 实现，因此开发风险也大为降低。硬件描述语言 (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。早期的硬件描述语言，如 ABEL、HDL、AHDL，由不同的 EDA 厂商开发，互不兼容，而且不支持多层次设计，层次间翻译工作要由人工完成。为了克服以上不足，1985 年美国国防部正式推出了高速集成电路硬件描述语言 VHDL，1987 年 IEEE 采纳 VHDL 为硬件描述语言标准。

3. EDA 常用软件

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：EWB、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设计与仿真，同时也可以进行 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，EDA 工具分为电子电路设计与仿真工具、PCB 设计软件、IC 设计软件、PLD 设计工具及其他 EDA 软件，下面进行简单介绍。

(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、EWB、Matlab、SystemView、MMI-CAD 等。下面简单介绍前三种软件。

1) SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) 是由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泛的电路设计软件, 1998 年被定为美国国家标准。1984 年, 美国 MicroSim 公司推出了基于 SPICE 的微机版 PSPICE (PersonalSPICE)。现在用得较多的是 PSPICE6.2, 在同类产品中, 它是功能最为强大的模拟和数字电路混合仿真 EDA 软件, 在国内普遍使用。目前的最新版本为 PSPICE9.1, 它可以进行各种电路仿真、激励建立、温度与噪声分析、模拟控制、波形输出、数据输出、在同一窗口内同时显示模拟与数字的仿真结果, 无论对哪种器件、哪些电路进行仿真, 都可以得到精确的仿真结果, 并可以自行建立元器件及元器件库。

2) EWB (Electronic Workbench) 软件是 IIT 公司在 20 世纪 90 年代初推出的电路仿真软件。目前普遍使用的是 EWB5.2, 相对于其他 EDA 软件, 它是较小巧的软件 (只有 16MB)。从 6.0 版本开始, EWB 进行了大规模的改动, 仿真设计的模块改名为 Multisim, Electronics Workbench Layout 模块更名为 Ultiboard。是一种新的 PCB 软件。为了加强 Ultiboard 的布线能力, IIT 公司还开发了一个 Ultiroute 布线引擎。Multisim、Ultiboard、Ultiroute 是 EWB 的基本组成部分, 能完成从电路的仿真设计到电路版图生成的全过程。但它们又彼此互相独立, 可以分别使用。EWB 模块中最具特色的首推仿真模块 Multisim, Multisim 对模数电路的混合仿真功能十分强大, 几乎可以 100% 地仿真出真实电路的结果, 并且它在桌面上提供了万用表、示波器、信号发生器、扫频仪、逻辑分析仪、数字信号发生器、逻辑转换器和电压表、电流表等仪器仪表。它的界面直观、易学易用。在后续章节中将重点介绍 Multisim 在模拟电路设计中的应用。

Multisim 在功能和操作方法上有较大改进, 主要特点如下:

①增加了射频电路仿真功能。

②极大地扩充了元件数据库, 特别新增了与现实元件对应的元件模型, 增强了实用性。新增了元件编辑器, 使用户能自行创建或修改所需元件模型。

③新增了瓦特仪、失真仪、频率分析仪、网络分析仪等测试仪表, 扩充了对电路的测试功能。

④专业版支持 VHDL 和 Verilog 语言的电路设计和仿真。

3) 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、数据流和行为三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。VHDL 还具有以下优点: ①VHDL 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, 而花较少的精力在物理实现上。②VHDL 可以用简洁明确的代码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。③VHDL 的设计不依赖于特定的器件, 方便了工艺的转换。④VHDL 是一个标准语言, 为众多的 EDA 厂商支持, 因此移植性好。

4) MATLAB 产品族的一大特性是有众多的面向具体应用的工具箱和仿真块, 包含了完整的函数集, 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。它具有数据采集、报告生成和 MATLAB 语言编程产生独立 C/C++ 代码等功能。MATLAB 产品族具有下列功能：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；图形用户界面设计等。MATLAB 产品族被广泛地应用于信号与图像处理、控制系统设计、通信系统仿真等诸多领域。开放式的结构使 MATLAB 产品族很容易针对特定的需求进行扩充，从而在不断深化对问题的认识同时，提高自身的竞争力。

(2) PCB (Printed Circuit Board) 设计软件

PCB 设计软件种类很多，如 Protel、OrCAD、Viewlogic、PowerPCB、Cadence PSD、MentorGraphics 的 Expedition PCB、Zuken CadStart、Winboard/Windraft/Ivex-SPICE、PCB Studio、TANGO 等。目前在我国用得最多应属 Protel，Protel 是 PROTEL 公司在 20 世纪 80 年代末推出的 CAD 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，几乎所有的电路公司都要用到它。早期的 Protel 主要作为印刷板自动布线工具使用，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/服务器体系）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。使用多层印制线路板的自动布线，可实现高密度 PCB 的 100% 布通率。Protel 软件功能强大、界面友好、使用方便，最具代表性的功能是电路设计和 PCB 设计。

(3) IC 设计软件

IC 设计工具很多，其中 Cadence、Mentor Graphics 和 Synopsys 占市场份额最大。这三家都是 ASIC 设计领域相当有名的软件供应商。其他公司的软件相对来说使用者较少。中国华大公司也提供 ASIC 设计软件（熊猫 2000）；另外近来 Avanti 公司开发的设计工具可以全面和 Cadence 公司的工具相抗衡，它开发的工具非常适用于深亚微米的 IC 设计。下面按功能简要介绍 IC 设计软件。

1) 设计输入工具。这是任何一种 EDA 软件必须具备的基本功能。像 Cadence 的 composer、viewlogic 的 viewdraw、硬件描述语言 VHDL、Verilog HDL 是主要设计语言，许多设计输入工具都支持 HDL。另外像 Active HDL 和其他的设计输入方法，包括原理和状态机输入方法，设计 FPGA/CPLD 的工具大都可作为 IC 设计的输入手段，如 Xilinx、Altera 等公司提供的开发工具，如 Modelsim FPGA 等。

2) 设计仿真工具。使用 EDA 工具的一个最大好处是可以验证设计是否正确，几乎每个公司的 EDA 产品都有仿真工具。Verilog XL、NC verilog 可用于 Verilog 仿真，Leapfrog 用于 VHDL 仿真，Analog Artist 用于模拟电路仿真。Viewlogic 的仿真器有 viewsim 门级电路仿真器、speedwaveVHDL 仿真器、VCS verilog 仿真器。Mentor Graphics 有其子公司 Model Tech 出品的 VHDL 和 Verilog 双仿真器——Model Sim。Cadence、Synopsys 用的是 VSS (VHDL 仿真器)。现在的趋势是各大 EDA 公司都逐渐用 HDL 仿真器作为电路验证的工具。

3) 综合工具。综合工具可以把 HDL 变成门级网表。这方面 Synopsys 工具占有较大的

优势, 它的 Design Compile 是综合的工业标准, 它还有另外一个产品 Behavior Compiler, 可以提供更高级的综合。另外美国最新开发的 Ambit 软件可以综合 50 万门的电路, 速度更快。今年初 Ambit 被 Cadence 公司收购, 为此 Cadence 放弃了它原来的综合软件 Synergy。随着 FPGA 设计的规模越来越大, 各 EDA 公司又开发了用于 FPGA 设计的综合软件, 比较有名的有 Synopsys 的 FPGA Express、Cadence 的 Synplity、Mentor 的 Leonardo。

4) 布局和布线工具。在 IC 设计的布局布线工具中, Cadence 软件的功能是比较强大的, 其中最有名的是 Cadence spectra, 它原来是用于 PCB 布线的, 后来 Cadence 公司用它来作 IC 的布线。其主要工具有 Cell3、Silicon Ensemble——标准单元布线器、Gate Ensemble——门阵列布线器、Design Planner——布局工具。其他各 EDA 软件开发公司也提供各自的布局布线工具。

5) 物理验证工具。物理验证工具包括版图设计工具、版图验证工具、版图提取工具等。这方面 Cadence 的功能也是很强大的, 其 Dracula、Virtuso、Vampire 等物理工具也被广泛应用。

6) 模拟电路仿真器。前面讲述的仿真器主要是针对数字电路的, 对于模拟电路的仿真工具, 普遍使用 SPICE, 这是唯一的选择。只不过可以选择不同公司的 SPICE, 如 Micro-Sim 的 PSPICE、Meta Soft 的 HSPICE 等。HSPICE 现在已被 Avanti 公司收购。在众多的 SPICE 中, 功能最强大的是 HSPICE, 作为 IC 设计, 它的模型最多, 仿真的精度也最高。

(4) 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于 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, 最后用编程器或下载电缆, 由目标器件实现。生产 PLD 的厂家很多, 但最有代表性的 PLD 厂家为 Altera、Xilinx 和 Lattice 公司。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合作, 推出功能强大的设计软件。下面介绍主要器件生产厂家和开发工具。

1) Altera 公司在 20 世纪 90 年代以后发展很快。主要产品有: MAX3000/7000、FELX6K/10K、APEX20K、ACEX1K、Stratix 等。其开发工具 MAX+PLUS II 是较成功的 PLD 开发平台, 最新又推出了 Quartus II 开发软件。Altera 公司提供较多形式的设计输入手段, 绑定第三方 VHDL 综合工具, 如: 综合软件 FPGA Express、Leonard Spectrum, 仿真软件 ModelSim。

2) Xilinx 公司是 FPGA 的发明者。产品种类较全, 主要有: XC9500/4000、Coolrunner (XPLA3)、Spartan、Vertex 等系列, 其最大的 Vertex-II Pro 器件已达到 800 万门。开发软件为 Foundation 和 ISE。通常来说, 在欧洲用 Xilinx 公司产品的人较多, 在亚太地区用 Altera 公司产品的人较多, 在美国则是平分秋色。全球 PLD/FPGA 产品 60% 以上是由 Altera 公司和 Xilinx 公司提供的。从某种程度上说, Altera 和 Xilinx 公司共同决定了 PLD 技术的发展方向。

3) Vantis Lattice 是 ISP (In System Programmability) 技术的发明者, ISP 技术极大地

促进了 PLD 产品的发展,与 Altera 和 Xilinx 公司相比,其开发工具比 Altera 和 Xilinx 公司的略逊一筹。但其中小规模 PLD 比较有特色,大规模 PLD 的竞争力还不够强 (Lattice 公司没有基于查找表技术的大规模 FPGA),1999 年推出可编程模拟器件,1999 年收购 Vantis (原 AMD 子公司),成为第三大可编程逻辑器件供应商。2001 年 12 月收购 Agere 公司 (原 Lucent 微电子部) 的 FPGA 部门。主要产品有 ispLSI2000/5000/8000、MACH4/5。

4) ACTEL 为反熔丝 (一次性烧写) PLD 的领导者,由于反熔丝 PLD 抗辐射、耐高低温、功耗低、速度快,所以在军品和宇航级上有较大优势。Altera 和 Xilinx 公司则一般不涉足军品和宇航级市场。

5) Quicklogic 公司是专业 PLD/FPGA 公司,以一次性反熔丝工艺为主,在中国地区销售量不大。

6) Lucent 公司的主要特点是有不少用于通信领域的专用 IP 核,但 PLD/FPGA 不是 Lucent 公司的主要业务,在中国地区使用的人很少。

7) ATMEL 公司的中小规模 PLD 做得不错。在高可靠性产品中使用较少,多用在低端产品上。

8) Clear Logic 公司生产与一些著名 PLD/FPGA 大公司兼容的芯片,这种芯片可将用户的设计一次性固化,不可编程,批量生产时的成本较低。

9) WSI 生产 PSD (单片机可编程外围芯片) 产品。这是一种特殊的 PLD,如最新的 PSD8xx、PSD9xx 集成了 PLD、EPROM、Flash,并支持 ISP (在线编程),其集成度高,主要用于配合单片机工作。PLD (可编程逻辑器件) 是一种可以完全替代 74 系列及 GAL、PLA 的新型电路,只要有数字电路基础,会使用计算机,就可以进行 PLD 的开发。PLD 的在线编程能力和强大的开发软件,使工程师可以在几天,甚至几分钟内就可完成以往几周才能完成的工作,并可将数百万门的复杂设计集成在一颗芯片内。PLD 技术在发达国家已成为电子工程师必备的技术。

(5) Verilog HDL 是 Verilog 公司推出的硬件描述语言,在 ASIC 设计方面与 VHDL 语言平分秋色。

(6) 其他专用 EDA 软件

如专门用于微波电路设计和电力载波工具、PCB 制作和工艺流程控制等领域的工具。在此不再一一介绍。

4. EDA 设计过程

EDA 设计主要可分为两步:系统级设计和电路级设计。

(1) 系统级设计

系统级设计是设计人员针对设计目标进行功能描述,而无须通过门级原理图描述电路。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方案与概念的构思上,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,新的概念就能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,因此还可以在厂家综合库的支持下,利用综合优化工具将高层次描述转换成针对某种工艺优化的网络表,使工艺转化变得轻而易举。

(2) 电路级设计

电路级设计是在电子工程师接受系统设计任务后，确定设计方案，选择合适的元器件，根据具体的元器件设计电路原理图。进行第一次仿真，其中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。主要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 PCB 后分析，其中包括热分析、噪声及串扰分析、电磁兼容分析、可靠性分析等，根据结果参数修改电路图，进行第二次仿真，主要是检验 PCB 板在实际工作环境中的可行性。

总之，设计人员借助计算机开发软件的帮助，可以将设计过程的许多细节问题抛开，将注意力集中在产品的总体开发上，从而大大减轻设计人员的工作量，提高了设计效率，缩短了设计周期。

第 1 章 Multisim 7 仿真软件

知识要点

本章介绍了 Multisim 7 仿真软件的特点, 给出了电路原理图的创建、元件库的使用、虚拟仪器的调用、电路的基本分析方法及各种分析手段, 通过列举若干应用实例, 进一步介绍了 Multisim 7 仿真软件在实际应用过程中的一些技术问题。

教学重点

通过本章学习, 学生可掌握 Multisim 7 仿真软件的使用, 能利用 Multisim 7 仿真软件进行简单电路的分析和设计。教学安排 4 学时。

1.1 Multisim 7 的软件特点

1. 系统高度集成、界面直观、操作方便

Multisim 7 将电路原理图的创建、电路的测试分析和结果显示等全部集成在一个窗口中, 整个界面就像一个实验工作台, 有存放仿真元件的元件箱, 有存放测试仪表的仪器库, 有实现各种仿真分析的操作指令。部分测试仪器和仿真元件与实物外形相似, 便于学习掌握。

2. 具有数字、模拟、射频及数模混合电路的仿真设计功能

在仿真窗口中既可分别对模拟电路和数字电路进行分析, 又能将模拟元件和数字元件混合使用来进行仿真设计, 另外射频电路仿真功能是许多仿真软件所不具备的。

3. 电路仿真手段完备

除了 7 种常用的测试仪表外, Multisim 7 还增加了瓦特计、失真仪、频谱分析仪和网络分析仪等测试仪表, 而且所有仪表都可以多台同时使用, 同时 Multisim 7 还提供了对电路的直流工作点分析、瞬态分析、傅里叶分析、噪声和失真分析等 14 种常用的电路仿真分析方法, 能满足一般电子电路的分析设计要求。

4. 极大地扩充了元件库

新增了大量与实际元件对应的元件模型, 极大增强了仿真电路的实用性及设计的准确性。

5. 新增元件编辑器

为用户提供了可自行创建或修改所需元件模型的工具, 极大扩展了仿真软件应用灵活性。

6. 允许把子电路当做一个元件使用, 从而增大了电路的仿真规模

1.2 Multisim 7 的基本界面

Multisim 7 的基本界面 (见图 1-1) 由菜单栏、系统工具栏、设计工具栏、使用中的元件列表、连接按钮、仪器工具栏、电路窗口和状态栏等部分组成。