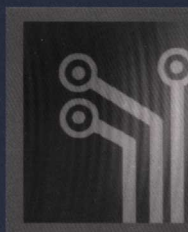


高等学校教材·电子信息

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

# EDA 技术及应用



朱正伟 主编



清华大学出版社

高等学校教材·电子信息

# EDA 技术及应用

朱正伟 主编

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

随着电子技术的发展,可编程逻辑器件和 EDA 技术已广泛应用于通信、工业自动化、智能仪表、图像处理、计算机等领域。EDA 技术是未来电子工程师们必需掌握的技术之一。本书以提高工程设计能力为目的,深入浅出地对 EDA 技术及相关知识做了系统和完整的介绍。

全书共分 7 章,详细介绍了 EDA 的基本知识、常用 EDA 工具的使用方法、大规模可编程器件的结构原理、原理图输入方法、VHDL 设计入门、VHDL 语法结构及编程方法、状态机设计方法和数字系统设计实践等,书中还给出了一定数量的综合性的 EDA 应用设计实例。各章都配有一定数量的习题。

本书取材广泛、内容新颖、重点突出,可作为高等院校电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、自动化、仪器仪表等信息类及相近专业的本科生或研究生使用,也可作为相关专业技术人员的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

### 图书在版编目(CIP)数据

EDA 技术及应用/朱正伟主编. —北京:清华大学出版社,2005. 10

(高等学校教材·电子信息)

ISBN 7-302-11606-7

I. E… II. 朱… 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(2005)第 092535 号

出版者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦  
http://www.tup.com.cn 邮 编: 100084  
社总机: 010-62770175 客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 丁 岭

文稿编辑: 咏 鹏

印刷者: 北京市人民文学印刷厂

装订者: 三河市新茂装订有限公司

发行者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 19.75 字数: 486 千字

版 次: 2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-11606-7/TP·7584

印 数: 1~3000

定 价: 25.00 元

编审委员会成员

- 王志功 (东南大学 教授)  
王成山 (天津大学电气与自动化工程学院 教授)  
王煦法 (中国科学技术大学信息科学技术学院 教授)  
王新龙 (南京大学 教授)  
王成华 (南京航空航天大学 教授)  
方勇 (上海大学 教授)  
方建安 (东华大学信息科学与技术学院 教授)  
邓元庆 (解放军理工大学理学院基础部 教授)  
刘景夏 (解放军理工大学理学院基础部 副教授)  
冯久超 (华南理工大学 教授)  
冯全源 (西南交通大学 教授)  
刘惟一 (云南大学信息学院 教授)  
刘复华 (武汉理工大学 教授)  
朱杰 (上海交通大学 教授)  
朱守正 (东北师范大学 教授)  
张秉权 (沈阳工业学院 教授)  
张丽英 (长春大学电子信息工程学院 教授)  
张德民 (重庆邮电学院通信与信息工程学院 教授)  
迟岩 (集美大学信息工程学院 教授)  
严国萍 (华中科技大学 教授)  
何明一 (西北工业大学 教授)  
何怡刚 (湖南大学电气与信息工程学院 教授)  
何晨 (上海交通大学 教授)  
余成波 (重庆工学院 教授)  
林君 (吉林大学 教授)  
金炜东 (西南交通大学 教授)  
郑永果 (山东科技大学信息学院 教授)  
刘志军 (山东大学 教授)  
赵鹤鸣 (苏州大学电子信息学院 教授)  
徐佩霞 (中国科学技术大学 教授)

- 郭从良** (中国科学技术大学电子科学与技术系 教授)  
**郭维廉** (天津大学电子信息工程学院 教授)  
**曾凡鑫** (重庆通信学院 教授)  
**曾喆昭** (长沙理工大学电气与信息工程学院 教授)  
**曾孝平** (重庆大学通信工程学院 教授)  
**彭启琮** (电子科技大学 教授)  
**谢显中** (重庆邮电学院 教授)  
**樊昌信** (西安电子科技大学通信工程学院 教授)

改革开放以来,特别是党的十五大以来,我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就,高等教育实现了历史性的跨越,已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上,高等教育规模取得如此快速的发展,创造了世界教育发展史上的奇迹。当前,教育工作既面临着千载难逢的良好机遇,同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾,是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月,教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》,提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月,教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件,指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制定的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分,精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间(2003—2007年)建设1500门国家级精品课程,利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放,以实现优质教学资源共享,提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展、顺应并符合新世纪教学发展的规律、代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻

性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括:

(1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。

清华大学出版社经过近 20 年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材经过 20 多年的精雕细刻,形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

**清华大学出版社教材编审委员会**  
**E-mail: dingl@tup.tsinghua.edu.cn**

EDA(Electronic Design Automation, 电子设计自动化)技术是现代电子工程领域的一门新技术,它提供了基于计算机和信息技术的电路系统设计方法。EDA 技术的发展和推广应用极大地推动了电子工业的发展。随着 EDA 技术的发展,硬件电子电路的设计几乎全部可以依靠计算机来完成,这样就大大缩短了硬件电子电路设计的周期,从而使制造商可以快速开发出品种多、批量小的产品,以满足市场的众多需求。EDA 教学和产业界的技术推广是当今世界的一个技术热点,EDA 技术是现代电子工业中不可缺少的一项技术。

本书共分 7 章,第 1 章介绍了 EDA 的基本知识、常用 EDA 工具的使用方法;第 2 章对大规模可编程器件的结构原理作了概括介绍;第 3 章介绍了原理图输入设计方法;第 4 章通过几个典型实例介绍了 VHDL 设计方法;第 5 章进一步描述了 VHDL 语法结构及编程方法;第 6 章介绍了状态机设计方法;第 7 章通过 10 个数字系统设计实践,进一步介绍了用 EDA 技术来设计大型复杂数字逻辑电路的方法。本书的所有实例都经过上机调试,许多实例给出了仿真波形,希望能够对读者的学习有所帮助。

本书由朱正伟主编,并编写第 3 章、第 4 章、第 7 章,副主编胡人杰编写了第 1 章,副主编杨长春编写了第 5 章,张小鸣编写了第 6 章,封红旗编写了第 2 章和第 7 章的部分内容。张敏老师为本书的图表付出了许多辛勤的劳动。

本书在编写过程中,引用了诸多学者和专家的著作和论文中的研究成果,在这里向他们表示衷心的感谢。清华大学出版社的同志也为本书的出版付出了艰辛的劳动,在此一并表示深深的敬意和感谢。

由于 EDA 技术发展迅速,加之作者水平有限,时间仓促,错误和疏漏之处在所难免,敬请各位读者不吝赐教。

编著者

2005 年 10 月



# 目 录

## 高等学校教材·电子信息

第 1 章 绪论	1
1.1 EDA 技术及其发展	1
1.1.1 EDA 技术的涵义	1
1.1.2 EDA 技术的发展历程	2
1.1.3 EDA 技术的基本特征和基本工具	4
1.2 EDA 技术的主要内容	4
1.2.1 “自顶向下”的设计方法	4
1.2.2 ASIC 设计	5
1.2.3 硬件描述语言	6
1.2.4 新工具软件	7
1.3 常用 EDA 工具	10
1.3.1 设计输入编辑器	10
1.3.2 综合器	11
1.3.3 仿真器	11
1.3.4 适配器	12
1.3.5 编程下载	12
1.4 EDA 的工程设计流程	12
1.4.1 设计输入	13
1.4.2 综合	13
1.4.3 适配	13
1.4.4 时序仿真与功能仿真	14
1.4.5 编程下载	14
1.4.6 硬件测试	14
1.5 MAX+PLUS II 简述	14
1.5.1 MAX+PLUS II 简介	14
1.5.2 软件的安装	15
1.5.3 软件组成	16
1.5.4 设计流程	17

思考题与习题 .....	17
<b>第 2 章 可编程逻辑器件</b> .....	<b>18</b>
2.1. 可编程逻辑器件概述 .....	18
2.1.1 PLD 发展历程 .....	18
2.1.2 目前流行可编程器件的特点 .....	19
2.1.3 可编程逻辑器件的基本结构和分类 .....	20
2.1.4 PLD 相对于 MCU 的优势所在 .....	23
2.2 CPLD 的结构与工作原理 .....	25
2.2.1 CPLD 的基本结构 .....	25
2.2.2 Altera 公司 MAX7000 系列 CPLD 简介 .....	25
2.3 FPGA 的结构与工作原理 .....	30
2.3.1 FPGA 的基本结构 .....	30
2.3.2 Xilinx 公司 XC4000 系列 FPGA 简介 .....	33
2.4 CPLD/FPGA 开发应用选择 .....	34
思考题与习题 .....	35
<b>第 3 章 原理图输入设计方法</b> .....	<b>36</b>
3.1 原理图设计方法 .....	36
3.1.1 内附逻辑函数 .....	36
3.1.2 编辑规则 .....	37
3.1.3 原理图编辑工具 .....	37
3.1.4 原理图编辑流程 .....	38
3.1.5 设计项目的处理 .....	41
3.1.6 设计项目的校验 .....	46
3.1.7 器件编程 .....	51
3.2 1 位全加器设计 .....	53
3.2.1 建立文件夹 .....	53
3.2.2 输入设计项目和存盘 .....	53
3.2.3 将设计项目设置成工程文件 .....	54
3.2.4 选择目标器件并编译 .....	54
3.2.5 时序仿真 .....	54
3.2.6 引脚锁定 .....	56
3.2.7 编程下载 .....	56
3.2.8 设计顶层文件 .....	57
3.3 数字电子钟设计 .....	57
3.3.1 六十进制计数器设计 .....	58
3.3.2 十二进制计数器设计 .....	61
3.3.3 数字电子钟顶层电路设计 .....	63

3.4	利用 LPM 兆功能块的电路设计	64
3.4.1	常用 LPM 兆功能块	64
3.4.2	基于 LPM_COUNTER 的数据分频器设计	65
3.4.3	制作一个兆功能模块	66
3.5	波形输入设计	68
3.5.1	创建波形设计新文件并指定工程名称	69
3.5.2	创建输入、输出和隐埋节点	69
3.5.3	编辑隐埋状态机节点波形	70
3.5.4	编辑输入和输出节点波形	71
3.5.5	查看波形情况	72
3.5.6	保存文件并检查错误	72
3.5.7	创建默认的功能模块	72
	思考题与习题	73
<b>第 4 章</b>	<b>VHDL 设计初步</b>	<b>74</b>
4.1	概述	74
4.1.1	常用硬件描述语言简介	74
4.1.2	VHDL 的特点	75
4.1.3	VHDL 程序设计约定	76
4.2	VHDL 语言的基本单元及其构成	76
4.2.1	2 选 1 多路选择器的 VHDL 描述	76
4.2.2	VHDL 程序的基本结构	77
4.2.3	实体(ENTITY)	78
4.2.4	结构体	80
4.3	VHDL 文本输入设计方法初步	83
4.3.1	项目建立与 VHDL 源文件输入	83
4.3.2	将当前设计设定为工程	84
4.3.3	选择 VHDL 文本编译版本号和排错	84
4.3.4	时序仿真	85
4.4	VHDL 程序设计举例	86
4.4.1	D 触发器的 VHDL 描述	86
4.4.2	1 位二进制全加器的 VHDL 描述	90
4.4.3	4 位加法计数器的 VHDL 描述	94
	思考题与习题	97
<b>第 5 章</b>	<b>VHDL 设计进阶</b>	<b>99</b>
5.1	VHDL 语言要素	99
5.1.1	VHDL 文字规则	99
5.1.2	VHDL 数据对象	101

5.1.3	VHDL 数据类型 .....	105
5.1.4	VHDL 操作符 .....	116
5.2	VHDL 顺序语句 .....	121
5.2.1	赋值语句 .....	121
5.2.2	转向控制语句 .....	123
5.2.3	WAIT 语句 .....	130
5.2.4	子程序调用语句 .....	132
5.2.5	返回语句 .....	133
5.2.6	NULL 语句 .....	134
5.2.7	其他语句 .....	135
5.3	VHDL 并行语句 .....	139
5.3.1	进程语句 .....	139
5.3.2	并行信号赋值语句 .....	141
5.3.3	块语句结构(BLOCK) .....	144
5.3.4	并行过程调用语句 .....	146
5.3.5	元件例化语句 .....	147
5.3.6	生成语句 .....	148
5.4	子程序 .....	152
5.4.1	函数(FUNCTION) .....	153
5.4.2	重载函数(OVERLOADED FUNCTION) .....	154
5.4.3	过程(PROCEDURE) .....	156
5.4.4	重载过程 .....	158
5.5	库、程序包及其配置 .....	159
5.5.1	库(LIBRARY) .....	159
5.5.2	程序包(PACKAGE) .....	161
5.5.3	配置(CONFIGURATION) .....	163
5.6	VHDL 描述风格 .....	166
5.6.1	行为描述 .....	166
5.6.2	数据流描述 .....	167
5.6.3	结构描述 .....	167
5.7	常用单元的设计举例 .....	168
5.7.1	组合逻辑电路设计 .....	169
5.7.2	时序逻辑电路设计 .....	177
5.8	VHDL 与原理图混合设计方式 .....	183
5.8.1	4 位二进制计数器的 VHDL 设计 .....	184
5.8.2	7 段显示译码器的 VHDL 设计 .....	184
5.8.3	顶层文件原理图设计 .....	185
5.8.4	查看工程的层次结构 .....	186
	思考题与习题 .....	187

<b>第 6 章 有限状态机设计</b> .....	189
6.1 概述 .....	189
6.1.1 关于状态机 .....	189
6.1.2 状态机的特点 .....	189
6.1.3 状态机的基本结构和功能 .....	190
6.2 一般有限状态机的设计 .....	191
6.2.1 一般有限状态机的组成 .....	191
6.2.2 设计实例 .....	192
6.3 Moore 型状态机的设计 .....	194
6.3.1 多进程 Moore 型有限状态机 .....	194
6.3.2 用时钟同步输出的 Moore 型有限状态机 .....	198
6.4 Mealy 型有限状态机的设计 .....	200
6.4.1 多进程 Mealy 型有限状态机 .....	200
6.4.2 用时钟同步输出信号的 Mealy 型状态机 .....	203
6.5 状态编码 .....	205
6.5.1 状态位直接输出型编码 .....	205
6.5.2 顺序编码 .....	207
6.5.3 一位热码编码 .....	208
6.6 状态机剩余状态处理 .....	208
思考题与习题 .....	210
<b>第 7 章 数字电子系统设计实践</b> .....	212
7.1 移位相加 8 位硬件乘法器电路设计 .....	212
7.1.1 硬件乘法器的功能 .....	212
7.1.2 硬件乘法器的设计思路 .....	212
7.1.3 硬件乘法器的设计 .....	213
7.1.4 波形仿真 .....	215
7.2 十字路口交通管理器设计 .....	215
7.2.1 交通管理器的功能 .....	215
7.2.2 交通管理器设计思路 .....	216
7.2.3 交通管理器的设计 .....	217
7.2.4 波形仿真 .....	220
7.3 可编程定时/计数器设计 .....	221
7.3.1 可编程定时/计数器的功能 .....	221
7.3.2 可编程定时/计数器设计思路 .....	221
7.3.3 可编程定时/计数器设计 .....	222
7.3.4 波形仿真 .....	226
7.4 智能函数发生器设计 .....	227

7.4.1	智能函数发生器的功能 .....	227
7.4.2	智能函数发生器的设计思路 .....	227
7.4.3	各模块设计 .....	228
7.4.4	波形仿真 .....	233
7.5	数据采集系统设计 .....	235
7.5.1	数据采集系统的功能 .....	235
7.5.2	数据采集系统的设计思路 .....	235
7.5.3	各模块设计 .....	237
7.5.4	波形仿真 .....	239
7.6	乒乓球游戏机设计 .....	241
7.6.1	乒乓球游戏机的功能 .....	241
7.6.2	乒乓球游戏机设计思路 .....	242
7.6.3	各模块设计 .....	242
7.6.4	波形仿真 .....	247
7.7	数字频率计设计 .....	248
7.7.1	数字频率计的功能 .....	248
7.7.2	数字频率计的设计思路 .....	249
7.7.3	数字频率计各模块的设计和实现 .....	250
7.7.4	数字频率计综合设计 .....	253
7.7.5	数字频率计波形仿真 .....	257
7.8	三层电梯控制器设计 .....	260
7.8.1	三层电梯控制器的功能 .....	260
7.8.2	三层电梯控制器的设计思路 .....	261
7.8.3	三层电梯控制器的综合设计 .....	261
7.8.4	三层电梯控制器波形仿真 .....	266
7.9	计算器设计 .....	269
7.9.1	计算器的功能 .....	269
7.9.2	计算器的设计思路 .....	269
7.9.3	计算器各模块的设计和实现 .....	270
7.9.4	计算器的综合设计 .....	277
7.9.5	计算器的波形仿真 .....	284
7.10	健身游戏机设计 .....	287
7.10.1	健身游戏机的功能 .....	287
7.10.2	健身游戏机的设计思路 .....	287
7.10.3	健身游戏机的综合设计 .....	289
7.10.4	健身游戏机的波形仿真 .....	298
	数字系统设计课题 .....	299
	参考文献 .....	300

## 绪 论

在现代电子设计领域,随着微电子技术的迅猛发展,无论是电路设计、系统设计还是芯片设计,其设计的复杂程度都在不断地增加,而且电子产品更新换代的步伐也越来越快。此时,仅仅依靠传统的手工设计方法已经不再能够满足要求,而电子设计自动化技术的发展给电子系统设计带来了革命性的变化,大部分设计工作都可以在计算机上借助 EDA 工具来完成。

### 1.1 EDA 技术及其发展

#### 1.1.1 EDA 技术的涵义

EDA (Electronic Design Automation)即电子设计自动化,它是近几年来迅速发展起来的将计算机软件、硬件、微电子技术交叉运用的现代电子学科,是 20 世纪 90 年代初从 CAD (计算机辅助设计)、CAM(计算机辅助制造)、CAT(计算机辅助测试)和 CAE(计算机辅助工程)的概念发展而来的。EDA 技术就是以计算机为工作平台、以 EDA 软件工具为开发环境、以硬件描述语言为设计语言、以 ASIC(Application Specific Integrated Circuits)为实现载体的电子产品自动化设计过程。在 EDA 软件平台上,根据原理图或硬件描述语言 HDL 完成的设计文件,自动地完成逻辑编译、化简、分割、综合及优化、布局布线、仿真、目标芯片的适配编译、逻辑映射和编程下载等工作。设计者的工作仅限于利用软件的方式来完成对系统硬件功能的描述,在 EDA 工具的帮助下,应用相应的 CPLD/FPGA (Complex Programmable Logic Devices/Field Programmable Gate Array)器件,就可以得到最后的设计结果。尽管目标系统是硬件,但整个设计和修改过程如同完成软件设计一样方便和高效。当然,这里的所谓 EDA 是狭义的 EDA,主要是指数字系统的自动化设计,因为这一领域软硬件方面的技术已比较成熟,应用的普及程度也比较高。而模拟电子系统的 EDA 正在进入实用阶段,其初期的 EDA 工具不一定需要硬件描述语言。此外,从应用的广度和深度来说,由于电子信息领域的全面数字化,基于 EDA 的数字系统的设计技术具有更大的应用市场和更紧迫的需求性。

### 1.1.2 EDA 技术的发展历程

集成电路技术的发展不断给 EDA 技术提出新的要求,对 EDA 技术的发展起了巨大的推动作用。从 20 世纪 60 年代中期开始,人们就不断地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。一般认为 EDA 技术大致经历了计算机辅助设计 CAD (Computer Aided Design)、计算机辅助工程 CAE (Computer Aided Engineering)和电子系统设计自动化 ESDA(Electronic System Design Automation)三个发展阶段。

#### 1. CAD 阶段

20 世纪 70 年代,随着中、小规模集成电路的开发和应用,传统的手工制图设计印刷电路板和集成电路的方法已无法满足设计精度和效率的要求,于是工程师们开始进行二维平面图形的计算机辅助设计,这样就产生了第一代 EDA 工具,设计者也从繁杂、机械的计算、布局和布线工作中解放了出来。但在 EDA 发展的初始阶段,一方面计算机的功能还比较有限,个人计算机还没有普及;另一方面电子设计软件的功能也较弱,人们主要是借助于计算机对所设计电路的性能进行一些模拟和预测。此外就是完成印刷电路板的布局布线、简单版图的绘制等工作。例如,目前常用的 PCB 布线软件 Protel 的早期版本 Tango、用于电路模拟的 SPICE 软件以及后来产品化的 IC 版图编辑与设计规则检查系统等软件,都是这个时期的产品。

20 世纪 80 年代初,随着集成电路规模的快速增大,EDA 技术有了较快的发展。更多的软件公司,如当时的 Mentor 公司、Daisy Systems 及 Logic System 公司等相继进入 EDA 领域,开始提供带电路图编辑工具和逻辑模拟工具的 EDA 软件,主要解决了设计之前的功能检验问题。

总的来说,这一阶段的 EDA 水平还很低,对设计工作的支持十分有限,主要存在两个方面的问题需要解决。

(1) EDA 软件的功能单一、相互独立。这个时期的 EDA 工具软件都是分别针对设计流程中的某个阶段开发的,一个软件只能完成其中一部分工作,所以设计者不得不在设计流程的不同阶段分别使用不同的 EDA 软件包。然而,由于不同的公司开发的 EDA 工具之间的兼容性较差,为了使设计流程前一级软件的输出结果能够被后一级软件接受,就需要人工处理或再运行另外的转换软件,这往往很复杂,势必影响设计的速度。

(2) 对于复杂电子系统的设计,不能提供系统级的仿真和综合,所以设计中的错误往往只能在产品开发的后期才能被发现,这时再进行修改十分困难。

#### 2. CAE 阶段

进入 20 世纪 80 年代以后,随着集成电路规模的扩大及电子系统设计的逐步复杂,使得电子设计自动化的工具逐步完善和发展,尤其是人们在设计方法学、设计工具集成化方面取得了长足的进步。各种设计工具,如原理图输入、编译与连接、逻辑模拟、逻辑综合、测试码生成、版图自动布局以及各种单元库均已齐全。不同功能的设计工具之间的兼容性得到了



很大改善,那些不走兼容道路、想独树一帜的 CAD 工具受到了用户的抵制,逐渐被淘汰。EDA 软件设计者采用统一数据管理技术,把多个不同功能的设计软件结合成一个集成设计环境。按照设计方法学制定的设计流程,在一个集成的设计环境中就能实现由寄存器传输级(Register Transfer Level,RTL)开始,从设计输入到版图输出的全程设计自动化。在这个阶段,基于门阵列和标准单元库设计的半定制 ASIC 得到了极大的发展,将电子系统设计推入了 ASIC 时代。但是,大部分从原理图出发的 CAE 工具仍然不能适应复杂电子系统的要求,而且具体化的元件图形也制约着优化设计。

### 3. ESDA 阶段

20 世纪 90 年代以来,集成电路技术以惊人的速度发展,其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,芯片的工作频率达到了 GHz 级。这不仅为片上系统(System On Chip,SOC)的实现提供了可能,同时对电子设计的工具提出了更高的要求,促进了 EDA 技术的发展。

在这一阶段,出现了以硬件描述语言、系统级仿真和综合技术为基本特征的第三代 EDA 技术,它使设计师们摆脱了大量的具体设计工作,而把精力集中于创造性的方案与概念构思上,从而极大地提高了系统设计的效率,缩短了产品的研制周期。EDA 技术在这一阶段的发展主要有以下几个方面:

#### (1) 用硬件描述语言来描述数字电路与系统

这是现代 EDA 技术的基本特征之一,并且已经形成了 VHDL 和 Verilog-HDL 两种硬件描述语言,它们都符合 IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers,电气和电子工程师协会)标准,均能支持系统级、算法级、RTL 级(又称数据流级)和门级各个层次的描述或多个不同层次的混合描述,涉及的领域有行为描述和结构描述两种形式。硬件描述与实现工艺无关,而且还支持不同层次上的综合与仿真。硬件描述语言的使用,规范了设计文档,便于设计的传递、交流、保存、修改及重复使用。

#### (2) 高层次的仿真与综合

所谓综合,就是由较高层次描述到低层次描述,由行为描述到结构描述的转换过程。仿真是在电子系统设计过程中对设计者的硬件描述或设计结果进行查错、验证的一种方法。对应于不同层次的硬件描述,有不同级别的综合与仿真工具。高层次的综合与仿真将自动化设计的层次提高到了算法行为级,使设计者无需面对低层电路,而把精力集中到系统行为建模和算法设计上,而且可以帮助设计者在最早的时间发现设计中的错误,从而大大缩短了设计周期。

#### (3) 平面规划技术

平面规划技术对逻辑综合和物理版图设计进行联合管理,做到在逻辑综合早期设计阶段就考虑到物理设计信息的影响。通过这些信息,可以再进一步对设计进行综合和优化,并保证不会对版图设计带来负面影响。这在深亚微米级时代,布线时延已经成为主要时延的情况下,对加速设计过程的收敛与成功是有所帮助的。在 Synopsys 和 Cadence 等著名公司的 EDA 系统中都采用了这项技术。

#### (4) 可测试性综合设计

随着 ASIC 规模和复杂性的增加,测试的难度和费用急剧上升,由此产生了将可测试性