



普通高等教育规划教材

可编程器件 EDA技术与实践

李国洪 沈明山 主 编

胡 辉 副主编



普通高等教育规划教材

可编程器件 EDA 技术与实践

李国洪 沈明山 主编
胡 辉 副主编
李哲英 主审



机械工业出版社

电子设计自动化(EDA)技术是电子设计技术和先进的电子制造技术的核心。本书基于电子系统设计并从教学和实用角度出发,阐述了基于可编程器件 EDA 技术的主要内容。包括 EDA 技术概述、可编程逻辑器件与数字系统的设计、可编程模拟器件及其开发、EDA 软件系统开发工具、硬件描述语言和 EDA 设计综合实例与实验。在内容上力求做到结合新颖而详尽的设计实例,深入浅出,信息量大,注重实践。使未接受过 EDA 实践的电类专业学生、工程技术人员使用本书能迅速进入 EDA 领域,掌握从事电子系统设计工作所必备的基本能力和技能;并通过 EDA 设计综合实例使不同层面的读者提高其 EDA 技术应用水平。

本书可作为高等学校电子电气信息类、仪器仪表类、自动化类及其他相近专业本、专科生电子技术综合实践与 EDA 课程教材和教学参考书,相关专业的工程技术人员学习 EDA 技术的参考书,也可供各种 EDA 技术培训班使用。

图书在版编目(CIP)数据

可编程器件 EDA 技术与实践/李国洪,沈明山主编. —北京:机械工业出版社, 2004.7

普通高等教育规划教材

ISBN 7-111-14624-7

I. 可… II. ①李…②沈… 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(2004)第 054238 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 王保家 闫晓宇

责任编辑: 王保家 版式设计: 张世琴 责任校对: 张晓蓉

封面设计: 张 静 责任印制: 李 妍

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm/16·20.25 印张·498 千字

定价: 29.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

普通高等教育应用型人才培养规划教材 编审委员会

主任：刘国荣 湖南工程学院
副主任：左健民 南京工程学院
陈力华 上海工程技术大学
鲍 泓 北京联合大学
王文斌 机械工业出版社

委员：（按姓氏笔画排序）

刘向东 华北航天工业学院
任淑淳 上海应用技术学院
何一鸣 常州工学院
陈文哲 福建工程学院
陈 峻 扬州大学
苏 群 黑龙江工程学院
娄炳林 湖南工程学院
梁景凯 哈尔滨工业大学（威海）
童幸生 江汉大学

电子与通信类专业分委员会

主 任：鲍 泓 北京联合大学

副主任：张立臣 常州工学院

李国洪 华北航天工业学院

委 员：（按姓氏笔画排序）

邓 琛 上海工程技术大学

叶树江 黑龙江工程学院

李金平 北京联合大学

沈其聪 总参通信指挥学院

杨学敏 成都理工大学

秘书长：何希才 北京联合大学

序

工程科学技术在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。随着知识经济时代的到来,科学技术突飞猛进,国际竞争日趋激烈。特别是随着经济全球化发展和我国加入 WTO,世界制造业将逐步向我国转移。有人认为,我国将成为世界的“制造中心”。有鉴于此,工程教育的发展也因此面临着新的机遇和挑战。

迄今为止,我国高等工程教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大的贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标排名世界第 36 位,与我国科技人员总数排名世界第一形成很大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员特别是工程应用型技术人才市场供给不足。在此形势下,国家教育部近年来批准组建了一批以培养工程应用型本科人才为主的高等院校,并于 2001、2002 年两次举办了“应用型本科人才培养模式研讨会”,对工程应用型本科教育的办学思想和发展定位作了初步探讨。本系列教材就是在这种形势下组织编写的,以适应经济、社会发展对工程教育的新要求,满足高素质、强能力的工程应用型本科人才培养的需要。

航天工程先驱、美国加州理工学院的冯·卡门教授有句名言:“科学家研究已有的世界,工程师创造未有的世界。”科学在于探索客观世界中存在的客观规律,所以科学强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学(包括自然科学、技术科学和社会科学)理论和技术手段去改造客观世界的实践活动,所以它强调综合,强调方案优缺点的比较并作出论证和判断。这就是科学与工程的主要不同之处。这也就要求我们对工程应用型人才的培养和对科学研究型人才的培养应实施不同的培养方案,采用不同的培养模式,采用具有不同特点的教材。然而,我国目前的工程教育没有注意到这一点,而是:①过分侧重工程科学(分析)方面,轻视了工程实际训练方面,重理论,轻实践,没有足够的工程实践训练,工程教育的“学术化”倾向形成了“课题训练”的偏软现象,导致学生动手能力差。②人才培养模式、规格比较单一,课程结构不合理,知识面过窄,导致知识结构单一,所学知识中有一些内容已陈旧,交叉学科、信息科学的内容知之甚少,人文社会科学知识薄弱,学生创新能力不强。③教材单一,注重工程的科学分析,轻视工程实践能力的培养;注重理论知识的传授,轻视学生个性特别是创新精神的培养;注重教材的系统性和完整性,造成课程方面的相互重复、脱节等现象;缺乏工程应用背景,存在内容陈旧的现象。④老师缺乏工程实践经验,自身缺乏“工程训练”。⑤工程教育在实践中与经济、产业的联系不密切。要使我国工程教育适应经济、社会的发展,培养更多优秀的工程技术人员,我们必须努力改革。

组织编写本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,建设一套富有特色、有利于应用型人才培养的本科教材,满足工程应用型人才培养的要求。

本套系列教材的建设原则是:

1. 保证基础,确保后劲

科技的发展,要求工程技术人员必须具备终生学习的能力。为此,从内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后具有较强的发展后劲。

2. 突出特色, 强化应用

围绕培养目标, 以工程应用为背景, 通过理论与工程实际相结合, 构建工程应用型本科教育系列教材特色。本套系列教材的内容、结构遵循如下 9 字方针: 知识新、结构新、重应用。教材内容的要求概括为: “精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通教学内容的基础上, 挑选出最基本的内容、方法及典型应用; “新”指将本学科前沿的新进展和有关的技术进步新成果、新应用等纳入教学内容, 以适应科学技术发展的需要。妥善处理好传统内容的继承与现代内容的引进。用现代的思想、观点和方法重新认识基础内容和引入现代科技的新内容, 并将这些内容按新的教学系统重新组织; “广”指在保持本学科基本体系下, 处理好与相邻以及交叉学科的关系; “用”指注重理论与实际融会贯通, 特别是要注入工程意识, 包括经济、质量、环境等诸多因素对工程的影响。

3. 抓住重点, 合理配套

工程应用型本科教育系列教材的重点是专业课(专业基础课、专业课)教材的建设, 并做好与理论课教材建设同步的实践教材的建设, 力争做好与之配套的电子教材的建设。

4. 精选编者, 确保质量

遴选一批既具有丰富的工程实践经验, 又具有丰富的教学实践经验的教师担任编写任务, 以确保教材质量。

我们相信, 本套系列教材的出版, 对我国工程应用型人才培养质量的提高, 必将产生积极作用, 会为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

机械工业出版社颇具魄力和眼光, 高瞻远瞩, 及时提出并组织编写这套系列教材, 他们为编好这套系列教材做了认真细致的工作, 并为该套系列教材的出版提供了许多有利的条件, 在此深表衷心感谢!

编 委 会 主 任 刘国荣教授
湖南工程学院院长

前 言

人类社会已进入到高度发达的信息化社会。信息化社会的发展离不开电子信息产品开发技术、产品品质的提高和进步。电子信息产品随着科学技术的进步,其电子器件和设计方法更新换代的速度日新月异。实现这种进步的主要原因就是电子设计技术和电子制造技术的发展,其核心就是电子设计自动化(EDA, Electronics Design Automation)技术,EDA技术的发展和推广应用又极大地推动了电子信息产业的发展。为保证电子系统设计的速度和质量,适应“第一时间推出产品”的设计要求,EDA技术正逐渐成为不可缺少的一项先进技术和重要工具。目前,在国内电子技术教学和产业界的技术推广中已形成“EDA热”,完全可以说,掌握EDA技术是电子信息类专业学生、工程技术人员所必备的基本能力和技能。

随着EDA技术的不断发展,EDA技术在不同的时期有不同的内容,其含义已经不止局限在当初的电路版图的设计自动化概念上,而当今的EDA技术更多的是指芯片内的电子系统设计自动化,即“片上系统”(SOC, System On Chip)设计。也就是说,开发人员完全可以通过自己的电子系统设计来定制其芯片内部的电路功能,使之成为设计者自己的专用集成电路(ASIC, Application Specific IC)芯片。在过去令人难以置信的事,今天已成为平常之事,一台计算机、一套EDA软件和一片或几片大规模可编程芯片(CPLD/FPGA或ispPAC),就能完成电子系统的设计。EDA技术涉及面广,内容丰富,但在教学和技术推广层面上,应用较为广泛是基于可编程器件的EDA技术,它主要包括如下四大要素:①大规模可编程器件,它是利用EDA技术进行电子系统设计的载体;②硬件描述语言,它是利用EDA技术进行电子系统设计的主要表达手段;③软件开发工具,它是利用EDA技术进行电子系统设计的智能化的自动化设计工具;④实验开发系统,它是利用EDA技术进行电子系统设计的下载工具及硬件验证工具。

本书是一本应用性很强的技术教科书。全书涉及了有关可编程器件EDA技术的所有应用技术,并通过例题和设计实验向读者提供了技术学习的指导。在内容的组织和编写风格上力求做到结合新颖而详尽的设计实例,深入浅出,信息量大,注重实践,使电类专业学生、工程技术人员使用本书能迅速进入EDA领域,掌握从事电子系统设计工作所必备的基本能力和技能,并通过EDA设计综合实例使不同层面的读者提高其EDA技术应用水平。本书共分六章,包括EDA技术概述、可编程逻辑器件与数字系统的设计、数字系统开发软件、硬件描述语言VHDL编程基础、可编程模拟器件及其开发软件和EDA设计综合实例与实验。附录部分介绍了相关EDA实验开发系统的硬件资源,供读者参考。

本书由李国洪、沈明山主编,胡辉副主编。第一章、第二章(除第二节)由李国洪编写;第三章(除第六节)、第四章、第六章第二节由胡辉编写;第三章第六节、第五章、第六章(除第二节)及部分附录由沈明山编写;第二章第二节及部分附录由刘静编写;另外,孙路遥、杨路、刘岩顺参加了书中部分图表的绘制工作;全书由李国洪统稿。由于EDA技术涉及面广,实用性强,加之编者时间仓促,水平有限,书中难免有疏漏甚至错误之处,敬请广大读者批评指正。

在编写过程中,机械工业出版社高教分社、应用型本科电子与通信类专业规划教材编审委员会组织了教材编写大纲审定会和审稿会;教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员李哲英教授担任本书主审;北京理工达盛科技有限公司提供了 EDA 实验开发系统相关资料;在此对他们所付出的辛勤劳动一并表示衷心的感谢。书中参考和引用了许多学者和专家的著作及研究成果,在此也向他们表示敬意和感谢。

编者 (Email: ligh@nciae. edu. cn)

目 录

序

前言

第一章 EDA 技术概述	1
第一节 EDA 技术的发展及其未来	1
一、EDA 技术的发展进程	1
二、未来的 EDA 技术	3
第二节 EDA 技术的构成要素	3
第三节 EDA 软件系统的构成	6
第四节 基于可编程器件的 EDA 技术 设计流程	7
第二章 可编程逻辑器件与数字系统的 设计	11
第一节 可编程逻辑器件概述	11
一、可编程逻辑器件的发展与应用	11
二、复杂可编程逻辑器件 (CPLD) 的 基本原理	14
三、现场可编程门阵列 (FPGA) 的 基本原理	16
四、在系统可编程 (ISP) 技术与 ispLSI 逻辑器件	19
五、CPLD 和 FPGA 的选用	23
第二节 Altera 系列可编程逻辑器件	25
一、Altera 系列器件的性能特点与分类	25
二、Altera 系列器件的结构和原理	26
三、边界扫描测试技术	44
第三节 基于 FPGA/CPLD 的数字系统 设计基础	46
一、数字系统的基本模型与设计过程	46
二、数字系统的设计方法	48
三、基于 FPGA/CPLD 数字系统的设计 规则	50
思考与练习	52
第三章 EDA 数字系统开发 软件	54
第一节 MAX + PLUS II 概述	54
一、MAX + PLUS II 简介	54
二、工具按钮的使用	55

第二节 MAX + PLUS II 的基本操作	57
一、MAX + PLUS II 的安装	57
二、MAX + PLUS II 的第一次运行	58
三、MAX + PLUS II 的设计流程	59
第三节 MAX + PLUS II 的设计输入 方法	60
一、图形输入	61
二、文本输入	64
三、波形输入	65
四、MAX + PLUS II 的层次化设计	68
第四节 MAX + PLUS II 的设计处理 过程	72
一、设计项目的建立与设计输入	72
二、设计项目的编译	73
三、设计项目的仿真	80
四、定时分析	86
五、器件编程	88
六、MAX + PLUS II 的提高	89
第五节 FPGA 开发软件 Xilinx Foundation	100
一、Xilinx Foundation 的安装	100
二、Xilinx Foundation 的设计输入及 处理	101
三、Xilinx Foundation 的设计过程举例	103
第六节 ispLSI 开发软件 Lattice ispEXPERT	107
一、Lattice ispEXPERT 的安装	107
二、Lattice ispEXPERT 的原理图输入 设计法	108
三、Lattice ispEXPERT 下 VHDL 和电路图 混合输入	117
四、调用组员设计部件的并行设计法 举例	122
五、在 VHDL 文本中锁定引脚设计法 举例	129
六、在 ispEXPERT 7.2 平台下的宏调用 设计法举例	130

思考与练习	133	第二节 Lattice 的 ispPAC 系列的结构	193
第四章 硬件描述语言 VHDL 编程		一、ispPAC10 的结构与性能	193
基础	135	二、ispPAC20 的结构与性能	195
第一节 概述	135	三、ispPAC80 的结构与性能	203
一、常用硬件描述语言简介	135	第三节 ispPAC 的接口电路	203
二、VHDL 的优点	136	第四节 ispPAC 增益调整方法	204
三、VHDL 与高级语言的区别	136	一、通用增益设置	205
第二节 VHDL 程序结构	137	二、非 10 倍数的整数增益的设置	206
一、VHDL 程序的基本结构与程序		三、分数增益的设置法	206
设计举例	137	四、整数比增益设置法	206
二、实体说明	138	第五节 有源滤波器设计	207
三、结构体与结构体的描述	139	一、用在系统可编程模拟器件实现有源	
第三节 VHDL 的基本数据类型	141	滤波器	207
一、数据对象	141	二、用 ispPAC 器件设计滤波器的选型	
二、数据类型	142	规则	209
三、标识符	144	第六节 PAC-Designer 软件使用方法	210
四、运算符	145	一、PAC-Designer 软件概述	210
五、VHDL 属性	146	二、PAC-Designer 软件的使用方法	211
第四节 VHDL 的基本描述语句	146	三、PAC-Designer 软件的几个重要的	
一、顺序语句	147	功能	214
二、并行语句	150	四、ispPAC80 器件的软件设计方法	217
第五节 子程序	156	思考与练习	219
一、函数的定义与引用	156	第六章 EDA 设计综合实例与实验	220
二、过程的定义与引用	158	第一节 数字电路综合设计实例	220
三、子程序重载	159	一、时序电路及计数器设计	220
第六节 程序包和库	159	二、矩阵键盘控制器的设计	229
一、程序包	159	三、16×16 点阵字符发生器	243
二、设计库	161	四、用 ASM 图法设计交通灯控制器	246
第七节 基本逻辑电路设计	162	五、电子密码锁的设计	250
一、组合逻辑电路的设计	162	六、乐曲自动演奏器及简易电子琴的	
二、时序逻辑电路的设计	168	设计	251
第八节 状态机的 VHDL 设计	182	七、利用 VHDL 进行数字钟设计	257
一、状态机的基本结构和功能	182	第二节 计算机接口设计实例	269
二、摩尔 (MOORE) 状态机的 VHDL		一、数字系统设计与单片机接口实验	269
设计	183	二、CPLD 与计算机双工通信实验	270
三、米立 (MEALX) 状态机的 VHDL		三、CPLD 与计算机并行口通信	
设计	184	实验	276
四、状态机的 VHDL 设计实例	186	第三节 数模混合电路设计实例	280
思考与练习	191	一、A/D 转换器的设计	280
第五章 可编程模拟器件及其开发软件		二、应用 ispPAC20 设计电压监控	
PAC-Designer	192	电路	282
第一节 可编程模拟器件概述	192	三、函数信号发生器的设计	289
		四、数字电压表的设计	292

思考与练习.....	294	二、配套开发软件资源.....	298
附录 EDA 实验开发系统资源	297	三、部分硬件接口板原理.....	299
一、EDA 实验开发系统的基本硬件		四、设计指导与注意事项.....	308
配置.....	297	参考文献	310

第一章 EDA 技术概述

电子设计自动化 (EDA, Electronics Design Automation) 技术是电子设计技术和电子制造技术的核心, EDA 技术的发展和推广应用极大的推动了电子信息行业的发展。本章简述了 EDA 技术的发展及其所涉及的内容, 使读者对 EDA 技术的全貌、构成要素及其工程设计过程有一个全面的了解。

第一节 EDA 技术的发展及其未来

EDA 技术是现代电子信息工程领域的一门新技术, 它是在先进的计算机工作平台上开发出来的一整套电子系统设计的软硬件工具, 并提供了先进的电子系统设计方法。随着 EDA 技术的不断发展, EDA 技术在不同的时期有不同的内容, 其含义已经不仅局限在当初的电路版图的设计自动化概念上, 而当今的 EDA 技术更多的是指芯片内的电子系统设计自动化, 即片上系统 (SOC, System On Chip) 设计。也就是说, 开发人员完全可以通过自己的电子系统设计来定制其芯片内部的电路功能, 使之成为设计者自己的专用集成电路 (ASIC, Application Specific IC) 芯片。在以上 SOC 设计过程中, 除系统级设计、行为级描述及对功能的描述以外均可由计算机自动完成, 同时设计人员借助开发软件的帮助, 可以将设计过程中的许多细节问题抛开, 而将注意力集中在电子系统的总体开发上。这样大大减轻了工作人员的工作量, 提高了设计效率, 减少了以往复杂的工序, 缩短了开发周期, 实现了真正意义上的电子设计自动化。

一、EDA 技术的发展进程

从 20 世纪 70 年代人们就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, 集成电路技术的发展不断对 EDA 技术提出新的要求, 并促进了 EDA 技术的发展。近 30 年来, EDA 技术大致经历了三个发展阶段。

1. CAD 阶段 (20 世纪 70 年代 ~ 80 年代中期)

早期的电子系统硬件设计采用的是分立元件, 随着集成电路的出现和应用, 硬件设计进入到发展的初级阶段。初级阶段的硬件设计大量选用中小规模标准集成电路, 人们将这些器件焊接在电路板上, 做成初级电子系统, 对电子系统的调试是在组装好的印制电路板 (PCB, Printed Circuit Board) 上进行的。

这个阶段分别研制了一些单独的软件工具, 主要有 PCB 布线设计、电路模拟、逻辑模拟及版图的绘制等, 从而可以利用计算机将设计人员从大量繁琐、重复的计算和绘图工作中解脱出来。例如, 各种 PCB 布线软件以及用于电路模拟的 SPICE 软件和后来产品化的 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 年代初期, 由于集成电路规模越来越大, 制作也越来越复杂, EDA 技术有了较快的发展, 许多软件公司如 Mentor、Daisy System 及 Logic System 等进入市场, 软件工具的产品开始增多。这个时期的软件主

要还是针对产品开发,分为设计、分析、生产、测试等多个独立的软件包。每个软件只能完成其中的一项工作,但如果通过顺序循环使用这些软件,完成设计的全程,还存在两个方面的问题:首先,由于各个软件工具是由不同的公司和专家开发的,只解决一个领域的问题,若将一个软件工具的输出作为另一个软件工具的输入,就需要人工处理,这往往很繁琐,影响了设计速度;第二,对于复杂电子系统的设计,当时的 EDA 工具不能提供系统级的仿真与综合。由于缺乏系统级的设计考虑,常常在产品开发后期才发现设计有错误,此时再要进行修改十分困难。

2. CAE 阶段 (20 世纪 80 年代中期 ~ 90 年代初期)

这个阶段在集成电路与电子系统设计方法学以及设计工具集成化方面取得了许多成果。各种设计工具,如原理图输入、编译与连接、逻辑模拟、测试码生成、版图自动布局和布线以及各种单元库均已齐全。由于采用了统一数据管理技术,因而能够将各个工具集成为一个计算机辅助工程设计 (CAE, Computer Aided Engineering) 系统。运用这种系统,按照设计方法学制定的某种设计流程,可以实现由 RT (寄存器) 级开始,从设计输入到版图输出的全程设计自动化。此时,设计者能在产品制作之前预知产品的功能与性能,能生成产品制造文件,在设计阶段对产品性能的分析前进了一大步。多数 CAE 系统中还集成了 PCB 自动布局布线软件以及热特性、噪声、可靠性等分析软件,进而可以实现电子系统设计自动化。

随着微电子工艺的发展,相继出现了集成上万只晶体管的微处理器、集成几十万直到上百万储存单元的随机存储器和只读存储器、支持定制单元电路设计的门阵列和可编程逻辑器件 (PAL 和 GAL) 等。这个阶段中主要采用基于单元库的半定制设计方法,采用门阵列和标准单元法设计的各种 ASIC 得到了极大的发展,将集成电路工业推入了 ASIC 时代。

如果说 20 世纪 70 年代的自动布局布线的 CAD 工具代替了设计工作中绘图的重复劳动,那么,到了 20 世纪 80 年代出现的具有自动综合能力的 CAE 工具则代替了设计者的部分工作,对保证电子系统的设计,制造出最佳的电子产品起着关键的作用。到了 20 世纪 80 年代后期,EDA 工具已经可以进行设计描述、综合与优化和设计结果验证,CAE 阶段的 EDA 工具不仅为成功开发电子产品创造了有利条件,而且为高级设计人员的创造性劳动提供了方便。但是,大部分从原理图出发的 EDA 工具仍然不能适应复杂电子系统的设计要求,而具体化的元件图形又制约着优化设计。

3. EDA 阶段 (20 世纪 90 年代以来)

20 世纪 90 年代以来,微电子技术以惊人的速度发展,其工艺水平已达到深亚微米级,在一个芯片上可集成数百万乃至上千万只晶体管,工作速度可达到 Gbit/s,这为制造出规模更大、速度和信息容量更高的芯片系统提供了基础条件。同时也对 EDA 系统提出了更高的要求,并大大促进了 EDA 技术的发展。20 世纪 90 年代以后,主要出现了高级语言描述、系统仿真和综合技术为特征的第三代 EDA 技术,它不仅极大地提高了系统的设计效率,而且使设计者摆脱了大量的辅助性工作,将精力集中于创造性的方案与概念的构思上。这个阶段的 EDA 技术主要有以下特征:

- 1) 电子厂家可以为用户提供系列化、各种规模的可编程逻辑器件,使设计者通过设计芯片实现电子系统功能。

- 2) 高层综合 (HLS, High Level Synthesis) 的理论与方法取得进展,从而将 EDA 设计层次由寄存器级提高到了系统级 (又称行为级)。设计者逐步从使用硬件转向设计硬件,从单

个电子产品开发转向系统级电子产品开发,即 SOC 设计。因此,EDA 工具是以系统机设计为核心,包括系统行为级描述与结构综合,系统仿真与测试验证,系统划分与指标分配,系统决策与文件生成等一整套的电子系统设计自动化工具。因此大大缩短了复杂 ASIC 的设计周期,同时改进了设计质量。

3) 提供独立于工艺和厂家的系统级设计能力,具有高级抽象的设计构思手段。例如,提供框图、状态图和流程图的编辑能力,具有适合层次描述和混合信号描述的硬件描述语言(VHDL、AHDL 或 Verilog-HDL),同时含有各种工艺的标准元器件库。使得复杂 IC 的描述规范化,便于传递、交流、保存与修改,并可建立独立工艺的设计文档,便于设计重用。

4) 采用平面规划(Floor Planing)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,设计者能进行更进一步的综合与优化,并保证所做的修改,只会提高性能而不会对版图设计带来负面影响。在 Synopsys 和 Cadence 等公司的 EDA 系统中均采用了这项技术。

5) 可测性综合设计。随着 ASIC 的规模与复杂性的增加,测试的难度与费用急剧上升,由此而产生了将可测性电路结构做在 ASIC 芯片上的思想,于是开发内建自测试(BIST)、边界扫描等可测性设计(DFT)工具,并已集成到 EDA 系统中。

6) 为带有嵌入 IP 核的 ASIC 设计提供软、硬件协同设计工具。

二、未来的 EDA 技术

目前,电子系统的 EDA 设计正从主要着眼于数字逻辑向模拟电路和数模混合电路的方向发展。在硅集成电路制造工艺方面已进入超深亚微米(VDSM, Very Deep Sub-Micron)阶段,正在向 $0.05\mu\text{m}$ 发展。可编程逻辑器件在其等效逻辑门数、工作电压及时钟频率等性能指标上将有突破性的发展,特别适用于高密度、高速度的系统级应用场合。据预测,到 2005 年,密度将达到 1×10^4 万门。可编程模拟器件已开始应用于实际工程。随着芯片集成度的增大,单个芯片内集成了通用微控制器/微处理器核心(MCU/MPUCore)、专用数字信号处理器核心(DSPCore)、存储器核心(MemoryCore)、嵌入式软件/硬件、数字和模拟混合器件、RF 处理器等,并且 EDA 与上述器件间的物理与功能界限已日益模糊。

综上所述,EDA 技术将向广度和深度两个方向发展,EDA 将会超越电子设计的范畴进入其他领域,随着基于 EDA 的 SOC 设计技术的发展,软硬核功能库的建立,IP 核复用(IP Reuse),以及基于 VHDL 所谓自顶向下设计理念的确立,未来的电子系统的设计与规划将不再是电子工程师们的专利。有专家认为,21 世纪将是 EDA 技术快速发展的时期,并且 EDA 技术将是对 21 世纪产生重大影响的十大技术之一。当前,EDA 的主要应用方向为微控制器(Microcontroller)、ASIC 和 DSP 等方面。

第二节 EDA 技术的构成要素

EDA 技术涉及面广,内容丰富,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。但在教学和实用的层面上,应用较为广泛是基于可编程器件的 EDA 技术的教学和技术推广。在过去令人难以置信的事,今天已成为平常之事,一台计算机、一套 EDA 软件和一片或几片大规模可编程芯片(CPLD/FPGA 或 ispPAC),就能完成电子

系统的设计。基于可编程器件 EDA 技术主要包括如下四大要素：①大规模可编程器件，它是利用 EDA 技术进行电子系统设计的载体；②硬件描述语言，它是利用 EDA 技术进行电子系统设计的主要表达手段；③软件开发工具，它是利用 EDA 技术进行电子系统设计的智能化的自动化设计工具；④实验开发系统，它是利用 EDA 技术进行电子系统设计的下载与硬件验证工具。

1. 大规模可编程器件

可编程器件是一种由用户编程以实现某种电子电路功能的新型器件，它可分为可编程逻辑器件（PLD, Programmable Logic Device）和可编程模拟器件（PAC, Programmable Analog Circuit）。前者的技术发展已经相当成熟，在大量的电子产品中早已得到了实际应用；后者相对来说发展要晚一些，其现有的芯片功能也比较单一。

目前，PLD 可分为低密度 PLD 和高密度 PLD 两种，低密度 PLD 器件如早期的 PAL、GAL 等，它们的编程都需要专用的编程器，属半定制 ASIC（专用集成电路）器件；高密度 PLD 就是当人们提到 EDA 技术时，首先想到的复杂可编程逻辑器件（CPLD, Complex PLD）、现场可编程门阵列（FPGA, Field Programmable Gate Array）以及在系统可编程逻辑器件（ISP-PLD, In System Programmability PLD）等，它们属于全定制 ASIC 芯片，编程时仅需以 JTAG 方式与计算机并口相连即可。CPLD/FPGA 不仅受到系统设计者的青睐，而且在半导体领域中呈现出一枝独秀的增长态势，成为系统级平台设计的首选。随着 PLD 向更高速、更高集成度、更强功能和更灵活的方向发展，使 CPLD/FPGA 器件既适用于短研制周期、小批量产品开发，也可用于大批量产品的样品研制，且项目开发前期费用低，开发时间短，有利于新产品占领市场，是目前 ASIC 设计所使用的最主要的器件。国际上生产 FPGA/CPLD 的主流公司，并且在国内占有市场份额较大的主要是 Xilinx, Altera, Lattice 三家公司，并且从一般意义上讲，它们决定了 PLD 技术的发展方向。本书第二章将介绍可编程逻辑器件与数字系统的设计。

在 21 世纪来临之前，Lattice 公司又推出了在系统可编程模拟电路（ispPAC），翻开了模拟电路设计方法的新篇章。ispPAC 器件它首先属于模拟集成电路，即电路的输入、输出甚至内部状态均为随时间连续变化的模拟信号；同时，该类器件又是现场可编程的，即在出厂后，可由用户通过改变器件的配置来获得所需的电路功能。利用 ispPAC 器件配合相应的开发软件，便可以像设计数字电路一样方便、快捷地完成模拟电路的设计，进行电路特性模拟，最后通过编程电缆将模拟电路设计方案下载至 ispPAC 芯片中。目前 ispPAC 器件已在信号调理、模拟计算、工业控制、通信、仪器仪表、人工神经网络等方面得到了初步的应用。第五章将介绍可编程模拟器件及其开发软件。

2. 硬件描述语言（HDL）

所谓硬件描述语言（HDL, Hardware Description Language），就是可以描述硬件电路的功能、信号连接关系及定时关系的语言。它可以使电子系统设计者利用这种语言来描述自己的设计思想和电子系统的行为，并建立模型，然后利用 EDA 工具进行仿真，自动综合到门级电路，再用 ASIC 或 CPLD/FPGA 实现其功能。利用硬件描述语言，可以方便地设计大型的电子系统。目前，其中最具有代表性的是美国国防部开发的 VHDL（Very-High-Speed Integrated Circuit HDL）、Verilog 公司开发的 Verilog HDL 和早期的 ABEL 语言。目前，VHDL（IEEE1164）和 Verilog HDL（IEEE1364）被 IEEE 列为工业标准，被众多的 EDA 工具所支持，在电子工程

领域,已成为事实上的通用 HDL,将承担几乎全部的数字系统设计任务。二者的区别在于 Verilog HDL 的综合过程较 VHDL 稍简单,但其在高级描述方面不如 VHDL。本书将在第四章以 VHDL 为例,介绍其编程方法与应用。

用 HDL 描述设计的优点是:它们更接近用自然语言描述系统的行为,在设计过程中文字载体更适于传递和修改设计信息,并可以建立独立于工艺的设计,此外还便于保存和重用设计。不便之处是设计者必须学会编程。它比电气原理图更能有效的表示硬件,若以计算机软件设计与电路设计做一类比,机器码好比晶体管、MOS 管;汇编语言好比电路网表;则 HDL 就如同高级语言,HDL 在语法和风格上类似于现代高级编程语言(如 C 语言)。但要注意,HDL 毕竟描述的是硬件,它包含许多硬件特有的结构。

3. 软件开发工具

目前比较流行的数字系统 EDA 软件工具有 Altera 公司的 MAX + PLUS II 和 QuartusII, Lattice 公司的 ispEXPERT, Xilinx 公司的 Foundation 和 ISE。本书将在第三章介绍上述三种数字系统 EDA 软件的具体使用方法与应用。可编程模拟器件的开发软件 PAC-Designer 将在第五章介绍。

MAX + PLUS II: 支持原理图、VHDL 和 Verilog HDL 文本文件,以及以波形与 EDIF 等格式的文件作为设计输入,并支持这些文件的任意混合设计。它具有门级仿真器,可以进行功能仿真和时序仿真,能够产生精确的仿真结果。在适配之后,MAX + PLUS II 生成供时序仿真用的 EDIF、VHDL 和 Verilog 这三种不同格式的网表文件,它界面友好,使用便捷,被誉为业界最易学易用的 EDA 的软件,并支持主流的第三方 EDA 工具,支持除 APEX20K 系列之外的所有 Altera 公司的 FPGA/CPLD 大规模逻辑器件。业界普遍认为 MAX + PLUS II 是最成功的 PLD 开发平台之一,配合使用 Altera 公司提供的免费 OEM HDL 综合工具可以达到较高的效率。

ispEXPERT: ispEXPERT System 是 ispEXPERT 的主要集成环境。通过它可以进行 VHDL、Verilog 及 ABEL 语言的设计输入、综合、适配、仿真和在系统下载。ispEXPERT 界面友好,操作方便,功能强大,并与第三方 EDA 工具兼容。Lattice 公司针对在系统可编程模拟电路 ispPAC 推出 ispPAC Designer EDA 软件,其设计方法和数字系统 EDA 有所不同,但过程相似,它允许设计者在集成环境中设计、修改模拟电路,进行电路特性仿真,最后通过编程电缆将设计方案下载到芯片中。

Foundation: Foundation 是 Xilinx 公司最新集成开发的 EDA 工具。它采用自动化的、完整的集成设计环境。Foundation 项目管理器集成了 Xilinx 实现工具,并包含了强大的 Synopsys FPGA Express 综合系统,是业界最强大的 EDA 设计工具之一。

PAC-Designer: PAC-Designer 是美国 Lattice 公司针对其在系统可编程模拟器件推出的开发软件。所谓“在系统可编程”,是指可编程器件在不脱离所在应用系统的情况下,能够通过计算机对其编程,而不需要专用的编程器。PAC-Designer 具有支持原理图输入设计方式、可观测电路的幅频和相频特性、内含用于低通滤波器设计的宏等特点。

4. 实验开发系统

随着 EDA 应用的普及,国内高校或 EDA 公司相应开发出 EDA 实验开发系统,以满足 EDA 教学和科研的需要。和单片机实验开发系统类似,EDA 实验开发系统提供 CPLD/FPGA 芯片下载电路及 EDA 实验/开发的外围资源,供硬件验证用。一般包括:①实验或开发所需