

高等院校信息与通信工程系列教材

电子设计自动化技术基础

马建国 孟宪元 主编

清华大学出版社



高等院校信息与通信工程系列教材

电子设计自动化技术基础

马建国 孟宪元 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以数字系统为主线讲授 EDA 设计技术的 3 项重要内容:算法设计、芯片设计和电路板设计。这 3 部分分别以 MATLAB、Xilinx 的 ISE5.1i 和 Protel 99 SE 为设计工具,介绍现代电子系统设计的 3 个流程:算法设计建立系统数学模型,进行优化仿真;芯片设计将仿真结果转换后,利用 VHDL 语言完成可编程 ASIC 器件的硬件实现;电路板设计使系统实际运行。全书以智能玩具狗为设计实例贯穿整个设计流程,所有程序通过调试,附录提供常用资料和实例。

本书独特的结构体系,可满足现代电子系统设计的完整知识体系要求,符合认识规律。

本书叙述简练、结构清晰、内容新颖、资料完整,可作为高校电子、计算机、通信、自动化等专业的 EDA 工程教材,也可作为研究生和相关专业工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子设计自动化技术基础/马建国,孟宪元主编. —北京:清华大学出版社,2004

(高等院校信息与通信工程系列教材)

ISBN 7-302-08196-4

I. 电… II. ①马… ②孟… 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 014725 号

出 版 者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

组稿编辑:陈国新

文稿编辑:马幸兆

版式设计:刘祎森

印 刷 者:北京国马印刷厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:32.75 字数:753 千字

版 次:2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-08196-4/TN·175

印 数:1~4000

定 价:48.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

前 言

电子设计自动化(EDA)技术是电子系统设计的必选技术。当前微电子加工技术已经达到 100nm 的工艺水平,这就给 EDA 设计工具提出了越来越高的要求。然而,产品的智能化和集成化也给设计者提出了进一步的要求。现代电子系统设计有如下几个主要特点:

(1) 算法设计工具与芯片设计的直接沟通,可以使理论模型直接映射到芯片,可以使算法设计、芯片设计、电路板设计等一气呵成。

(2) 芯片的高度集成使集成于芯片上的片上系统(system on a chip, SOC)成为可能。

(3) 基于互联网的设计可以使全球设计者共享设计成果。设计者可以从网上免费或有偿获得可重复利用的 IP 核,这使产品设计速度大大提高。

(4) 目前对模数混合设计、光电混合设计、电子系统级(ESL)设计等新一轮的设计方法的研究已经展开。

各种级别、各种层次、不同应用背景的设计仿真工具层出不穷,给设计者,尤其是初学者带来很大的困惑。本书的作者长期工作在教学与研究的第一线,深深理解 EDA 技术对教学与研究的重要性,为此,尝试编写了这本教材。概括起来,本书有如下几个特点:

(1) 将传统上分离的算法设计、芯片设计、电路板设计等内容整合,真正达到了利用 EDA 技术实现电子系统设计的目的。介绍了 Xilinx 公司利用基于平台的设计工具 System Generator for Simulink 进行设计的方法。

(2) 本书力求保证内容的完整性,并尽可能使读者在短时间内基本掌握算法设计、芯片设计、电路板设计等全部内容。

(3) 本书以一个智能的、活泼可爱的玩具狗为设计实例,贯穿算法设计、芯片设计和电路板设计的全过程,使枯燥乏味的 EDA 设计更加生动。

本书围绕这一设计过程分为以下 3 部分:

第一部分介绍以 MATLAB 为工具的算法设计和仿真,主要介绍 MATLAB 的使用方法,为最后进行的复杂系统的设计打下基础。

第二部分以 Xilinx 公司的 FPGA 为例,说明现代数字系统和数字信号

处理系统的芯片设计和硬件实现方法,主要介绍 VHDL 的设计方法、FPGA 的结构以及数字系统的综合方法。

第三部分以 Protel 设计的 PCB 软件为主,介绍满足电磁兼容要求的系统电路设计和印制板制作。

本书由马建国教授、孟宪元教授担任主编。绪论、第 1 章、第 3 章由孟宪元、马建国编写;第 2 章由毕效辉编写;第 4 章由颜伟编写;第 5 章由刘桂华编写;第 6 章由孟宪元编写;第 7 章由陈红艳编写;第 8 章由罗亮编写;第 9 章由刘涇、孟宪元编写;第 10 章由杨通桥编写;附录由薛文成、郭海燕编写。孟宪元和马建国完成了全书的统稿工作。

本书主审全国大学生电子竞赛小组组长,北京大学电子学系沈伯弘教授给本书提出了很多宝贵的修改意见,特在此表示感谢!本书在编写、画图、程序调试等方面得到了清华大学电子工程系和西南科技大学信息工程学院不少研究生和本科生的帮助,在此一并表示感谢。

同时也感谢清华大学出版社对本书的出版给予的关心和支持。

由于 EDA 技术涉及的内容比较广,作者水平有限,书中难免有误,恳请读者给予指正。

EDA 技术在飞速发展,软件与硬件的升级换代速度很快,我们热忱希望与广大读者建立广泛的合作,共同研讨日新月异的 EDA 技术。

马建国(mjg_my@263.net)

孟宪元(mengxy@mail.tsinghua.edu.cn)

2003 年 9 月

目 录

绪论	1
思考题与练习题	9

第 1 篇 电子系统算法设计与仿真

第 1 章 系统级设计与仿真概论	13
1.1 系统技术要求与建模	13
1.1.1 电子系统的技术要求	13
1.1.2 系统模型的建立	16
1.2 系统级仿真	19
1.2.1 SystemView 动态系统设计、分析和仿真软件	19
1.2.2 MATLAB	21
1.3 系统级综合	23
1.3.1 综合	23
1.3.2 优化	24
思考题与练习题	25

第 2 章 MATLAB 及其在 EDA 技术中的应用	26
2.1 MATLAB 概述	26
2.1.1 MATLAB 的功能和特点	26
2.1.2 MATLAB 的工具箱	27
2.1.3 MATLAB 的工作环境	28
2.2 MATLAB 的基本功能及举例	32
2.2.1 基本知识	32
2.2.2 数组与矩阵的算术运算	37
2.2.3 关系运算、逻辑运算与数组函数	42
2.2.4 矩阵函数	45
2.2.5 多项式运算	48

2.2.6	基本绘图功能	51
2.3	Simulink 简介	57
2.3.1	概述	57
2.3.2	基本操作	58
2.3.3	建立系统模型及仿真	60
2.3.4	专用 Xilinx 模块库	61
2.4	MATLAB 工具箱	61
2.4.1	概述	61
2.4.2	控制系统工具箱	62
2.4.3	信号处理工具箱	69
2.4.4	通信工具箱	83
2.5	MATLAB 应用实例	93
2.5.1	控制要求及算法设计	93
2.5.2	控制模型的设计与封装	93
	思考题与练习题	94

第 2 篇 数字系统芯片设计与综合

第 3 章	现代数字系统设计概论	99
3.1	概述	99
3.2	数字系统的设计方法	100
3.2.1	原理图设计	100
3.2.2	程序语言设计	101
3.2.3	状态机设计	102
3.2.4	功能模块参数化设计	102
3.2.5	利用 IP 模块的设计	102
3.2.6	基于平台的设计	103
3.3	IP 设计与应用	104
3.3.1	IP 核	104
3.3.2	IP 核的种类与应用	104
3.3.3	系统芯片和 IP 核复用	107
3.4	片上系统技术	109
3.4.1	片上系统的基本概念	109
3.4.2	片上系统的系统芯片与设计技术	109
3.4.3	使可配置片上系统得以实现的 FPGA 平台	118
	思考题与练习题	126

第 4 章 硬件设计描述语言 VHDL 基础	128
4.1 概述	128
4.2 VHDL 程序基本结构	129
4.2.1 实体说明	129
4.2.2 结构体	131
4.2.3 包集合、库及配置	137
4.3 VHDL 语言的数据格式	141
4.3.1 VHDL 语言的对象及其分类	141
4.3.2 VHDL 语言的数据类型	143
4.3.3 VHDL 语言的运算操作符	147
4.4 VHDL 语言的基本描述语句	149
4.4.1 顺序描述语句	149
4.4.2 并发描述语句	159
4.5 VHDL 语言的描述方式	163
4.5.1 结构体的行为描述方式	163
4.5.2 结构体的数据流描述方式	165
4.5.3 结构体的结构描述方式	167
4.6 一位总线温度传感器控制接口设计	170
4.6.1 单总线的基本原理	170
4.6.2 程序设计	173
思考题与练习题	176
第 5 章 可编程 ASIC 器件	178
5.1 概述	178
5.1.1 可编程 ASIC 器件概述	178
5.1.2 可编程 ASIC 器件分类及特点	180
5.2 PLD 器件	182
5.2.1 可编程阵列逻辑器件	182
5.2.2 可编程通用逻辑器件	184
5.3 复杂可编程逻辑器件	188
5.3.1 基于乘积项的 CPLD 基本结构	189
5.3.2 基于查找表的 CPLD 电路结构	193
5.4 现场可编程门阵列 FPGA	201
5.4.1 FPGA 的基本结构	201
5.4.2 FPGA 的电路结构	203
5.4.3 Spartan II/Virtex 系列 FPGA	209

5.5	编程技术	224
5.5.1	编程原理简介	224
5.5.2	编程模式	225
5.5.3	编程流程	227
	思考题与练习题	228
第6章	数字系统的设计与综合	229
6.1	概述	229
6.2	高级综合	233
6.2.1	功能性模型化程序	234
6.2.2	数据	235
6.2.3	由数据流图到数据通道控制器	236
6.2.4	控制	240
6.2.5	数据和控制	243
6.3	寄存器转移级综合	245
6.3.1	电平敏感的锁存器	246
6.3.2	沿敏感的触发器	248
6.3.3	组合逻辑	250
6.3.4	约束	254
6.3.5	FPGA 的综合	256
6.3.6	同步系统的时序	259
	思考题与练习题	262
第7章	可编程 ASIC 开发平台	264
7.1	概述	264
7.2	Xilinx ISE5.1i 集成开发环境	265
7.2.1	Xilinx ISE5.1i 的安装	266
7.2.2	Xilinx ISE5.1i 软件简介	273
7.2.3	利用 Xilinx ISE5.1i 设计的简易跑表	277
7.3	其他软件开发平台	304
7.3.1	ispEXPERT 软件平台简介	304
7.3.2	Altera Quartus II 软件平台简介	309
7.4	硬件实验平台与设计实验	313
7.4.1	TPG_FPGA 实验系统	313
7.4.2	基于 VHDL 的数字逻辑电路实验	314
	思考题与练习题	315

第 8 章 复杂模块设计与跨平台设计	317
8.1 系统级设计与片上系统设计带来的挑战	317
8.2 Xilinx 公司的 System Generator for DSP 软件	318
8.2.1 概述.....	318
8.2.2 System Generator 软件的安装.....	319
8.2.3 Xilinx BlockSet 模块库	321
8.2.4 System Generator 软件的设计流程.....	331
8.2.5 设计实例.....	332
8.3 Altera DSP Builder	338
8.4 一个模拟简单智能宠物的设计实现	340
8.4.1 功能要求.....	340
8.4.2 方案设计.....	341
8.4.3 设计整合.....	359
思考题与练习题.....	364

第 3 篇 系统电路设计与测试

第 9 章 系统电路的设计方法	367
9.1 系统电路设计	368
9.1.1 无源元件的高频特性.....	370
9.1.2 数字逻辑的有源元件及其噪声.....	371
9.1.3 系统电路设计技术.....	375
9.2 系统电路设计与仿真概论	379
9.2.1 电路原理图的设计.....	379
9.2.2 PCB 板的设计	381
9.2.3 电路板的制作与加工.....	382
思考题与练习题.....	385
第 10 章 系统电路板设计	386
10.1 Protel 99 SE 软件简介及安装	386
10.1.1 Protel 99 SE 软件简介	386
10.1.2 Protel 99 SE 软件安装	386
10.2 原理图绘制.....	387
10.2.1 启动原理图的设计环境.....	387
10.2.2 工作环境的管理.....	389
10.2.3 文档图纸参数的设置.....	391
10.2.4 元器件到工作平面上的放置.....	394

10.2.5	电路原理图的绘制	398
10.2.6	使用画图工具的绘图	400
10.2.7	电气法则测试	400
10.2.8	网络表的生成	401
10.3	制作原理图元器件	404
10.3.1	原理图元器件库编辑服务器	405
10.3.2	元器件管理器工具	405
10.3.3	常用画图工具栏介绍	406
10.3.4	元器件的制作	407
10.4	印制板设计	409
10.4.1	印制板设计基础	409
10.4.2	绘制印制电路板	410
10.4.3	印制电路板的自动设计	414
10.5	元器件封装设计	426
10.6	设计实例	432
10.6.1	完整原理图的设计	432
10.6.2	PCB板的设计	442
	思考题与练习题	448
附录 A	MATLAB 函数库和命令级分类索引	449
附录 B	Protel 符号库和封装库	466
附录 C	硬件开发实验箱	469
附录 D	基于 VHDL 的数字逻辑电路实验	471
	参考文献	513

绪 论

随着电子计算机技术的迅猛发展,计算机辅助设计(CAD)技术已深入人类经济生活的各个领域。电子CAD就是应用CAD技术进行电子产品的设计、开发和制造。根据电子系统设计中CAD技术介入的程度,电子系统的设计可以分为人工设计方法和电子设计自动化(electronic design automation,EDA)方法。

人工设计方法是一种传统的设计方法,从方案的提出到验证和修改均采用人工手段完成,尤其是系统的验证需要经过实际的搭试电路来完成。因此这种方法花费大,效率低,制造周期长。

早期的电子CAD方法,是人和计算机共同完成电子系统的设计,即人借助于计算机来完成数据处理、模拟评价、设计验证等部分工作,即借助于计算机,人们可以设计规模稍大的电子系统,但设计阶段中的许多工作尚需人工来完成。电子设计自动化是电子系统的整个设计过程或大部分设计由计算机来完成。这是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)的概念中发展起来的。因此可以说EDA是电子CAD,CAM,CAT,CAE等发展的必然趋势。

随着大规模集成电路技术和计算机技术的不断发展,在涉及通信、航天、医学、工业自动化、计算机应用、仪器仪表等领域的电子系统设计工作中,EDA技术的含量正以惊人的速度上升;电子类的高新技术项目的开发也更加依赖于EDA技术的应用。即使是普通的电子产品的开发,EDA技术也常常会使一些原来的技术瓶颈得以轻松突破,从而使产品的开发周期大为缩短,性能价格比大幅提高。不言而喻,EDA技术将迅速成为电子设计领域中极其重要的组成部分。

现代电子系统设计领域中的EDA是随着计算机辅助设计技术的提高和专用集成电路(application-specific integrated circuit,ASIC)规模的扩大应运而生,并得到不断完善的。由于数字技术的发展,可编程专用集成电路,即CPLD/FPGA(complex programmable logic device/field programmable gate array)器件,目前得到广泛的应用,为电子系统的设计带来极大的灵活性。可编程专用集成电路可以通过软件编程对器件的硬件结构和工作方式进行重构,使得硬件的设计如同软件设计那样方便快捷。这一切可极大地改变传统的电子系统设计方法、设计

过程乃至设计观念。甚至在 ASIC 器件设计过程中,利用 EDA 技术完成软件仿真之后,在投片之前,也可以先利用 FPGA 进行“硬件仿真”。如果能够利用 CPLD/FPGA 器件的可编程特性,把设计的结果加载到器件中进行硬件的调试和验证,则对学习和掌握 EDA 设计技术是极其有益的。这也是本书选择可编程 ASIC 器件学习 EDA 技术的原因。

传统设计方法与 EDA 设计方法的比较见表 1。EDA 技术就是以计算机为工具进行电子设计的技术。现代的 EDA 软件平台已突破了早期仅能进行 PCB 版图设计的局限,它集设计、仿真、测试于一体,配置了系统设计自动化的全部工具;多种能兼用和混合使用的逻辑描述输入工具以及高性能的逻辑综合、优化和仿真模拟工具。EDA 设计方法的优点是能大大减轻电路图设计和电路板设计的工作量和难度;同时,基于可编程逻辑器件的设计能够大大减少系统芯片的数量,缩小系统的体积,提高系统的可靠性。

表 1 传统设计方法和 EDA 设计方法的比较

传统设计方法	EDA 设计方法
自底向上	自顶向下
手工设计	自动设计
硬软件分离	打破硬软件屏障
原理图方式设计	原理图、VHDL 语言等多种设计方式
系统功能固定	系统功能易变
不易仿真	易仿真
难测试修改	易测试修改
模块难移置共享	设计工作标准化,模块可移置共享
设计周期长	设计周期短

目前大规模 PLD 系统正朝着为设计者提供系统内可再编程(或可再配置)功能的方向发展,即只要把器件安装在系统电路板上,就可对其进行编程或再编程,这就为设计者进行电子系统设计和开发提供了可实现的最新手段。采用系统内可再编程的技术,可以使得系统内硬件的功能像软件一样通过编程来配置,从而可以使电子系统的设计和产品性能的改进及扩充变得十分简单。这种技术对系统的设计、制造、测试和维护也产生了重大的影响,给样机设计、电路板调试、系统制造和系统升级带来了革命性的变化。

EDA 软件平台的另一特点是日益强大的仿真测试技术。所谓仿真(simulate),就是把设计的输入输出(或中间变量)信号之间的关系由计算机根据提供的设计方案,从各种不同层次的系统性能特点完成一系列准确的逻辑和时序验证。测试技术是在完成实际系统的安装后,通过计算机对系统上的目标器件进行的所谓边界扫描测试。EDA 仿真测试技术能够极大地提高大规模电子系统的设计自动化程度。

现代电子系统设计内容非常广泛,系统功能日趋完善和智能化。基于网上设计的 EDA 技术具有标准化的设计方法和设计语言,已经成为信息产业界的共同平台和电子系统设计的必选技术。

1. 电子系统设计的基本内容

电子系统设计的基本内容包括分析方案中的关键技术,初步确定设计方案,落实各

环节具体电路的实现方法,计算出它们的参数,画出总体电路图等。对于有技术难点的问题常常需要经过系统模型的建立、理论分析、算法设计、计算机仿真分析、芯片设计、关键单元的典型试验、电路设计、试验样机的制作与调试等多个技术环节来解决。如果进行产品设计,则还应该包括结构与工艺设计,即整机组装结构设计、热设计、结构的静力与动力计算、电磁兼容性结构设计、连接设计、人机工程学设计等内容。因此,电子系统设计是一个非常复杂的过程。相对而言,EDA 技术的设计内容要具体一些。

对 EDA 技术而言,电子系统设计的内容可以概括为:算法设计、芯片设计和电路设计 3 部分。

算法设计的任务是建立系统的数学模型和算法模型,并使用相应的设计工具对建立的数学模型进行分析和论证,并对系统模型的相关参数及技术指标进行分析、修正和仿真验证,以保证使用的数学模型和算法的正确性和有效性。

芯片设计的任务是实现运算、控制和数据处理等设计系统中所需要的功能模块,在没有合适的芯片可以选择,或者出于知识产权保护的要求需要自行设计,以及在其他特殊需求的场合都要求进行芯片设计。目前比较普遍的做法是:在产品研制和小批量生产阶段,选用可编程 ASIC;在生产批量比较大的情况下,可以将原来系统里已经调试好,并且已经被验证为成熟的芯片转换为 ASIC 器件。这个设计转换过程一般由专业芯片设计人员完成。

电路设计的任务是要使设计的系统能够加电运行并实现其功能。使用中小规模器件(芯片)设计电子系统时,先选择器件,按系统功能进行电路设计;然后加上电源和外部接口、再制作印制板;最后安装芯片调试系统。而现在芯片设计已经将系统的功能集成在一个或几个芯片内。为了能够实际使用芯片,要对芯片进行供电测试,将芯片与外界连接,提供实现功能的输入信号和条件,并送出驱动外部设备的输出信号。所以本书电路设计的含义不是指其功能电路的设计,而是指对系统芯片供电和与外部世界接口电路的设计。电路设计是根据算法设计与芯片设计的成果,再根据芯片供电和接口实现对系统的完整要求,设计出整个系统的电气原理图。由于电子系统只有在电路板上运行才能实现其功能,所以系统电路设计实质上是使电路板设计满足电磁兼容要求的过程。印制电路板的设计是将设计好的电气原理图转换为可以加工的 PCB 文件,制作成 PCB 板后安装上系统芯片等器件,这样设计的电子系统就可以在实际环境中运行,并通过测试验证设计的正确性。

2. 电子系统设计的基本方法与任务

1) 电子设计自动化的基本方法

传统的设计方法都是自底向上的,即首先确定可用的元器件;然后根据这些器件进行逻辑设计,完成各模块后进行连接;最后形成系统;而后经调试、测量考察整个系统是否达到规定的性能指标。传统设计方法存在以下的问题:

① 这种“自下而上”的设计方法常常受到设计者的经验及市场器件情况等因素限制,且没有明显的规律可循。

② 系统测试在系统硬件完成后进行。如果发现系统设计需要修改,则必须重新制作

电路板,重新购买器件,重新调试与修改设计。整个修改过程花费大量的时间与经费。

③ 电路设计采用原理图设计方式,而原理图设计方式对于复杂系统的设计、阅读、交流、修改、更新、保存等都十分困难,不利于复杂系统的任务分解与综合。

基于 EDA 技术的所谓自顶向下的设计方法同传统设计方法正好相反。它首先从系统设计入手,在顶层进行功能划分和结构设计,并在系统级采用仿真手段验证设计的正确性;然后再逐级设计低层的结构,实现设计、仿真、测试一体化。其方案的验证与设计、电路与 PCB 设计、专用集成电路(ASIC)设计等都由电子系统设计师借助于 EDA 工具完成。自顶向下设计方法的特点如下:

① 基于 PLD 硬件和 EDA 工具支持。

② 采用逐级仿真技术,可及早发现问题,修改设计方案。

③ 现代的电子应用系统正向模块化发展,或者说向软硬核组合的方向发展。基于网上设计技术,全球设计者可获得设计成果共享。这只要对以往成功的设计成果稍作修改、组合,就能使其投入再利用,因而设计成果的再利用可得到保证。

④ 采用结构化开发手段,可实现多人多任务的并行工作方式,使复杂系统的设计规模和效率大幅度提高。

⑤ 在选择器件的类型、规模、硬件结构等方面具有更大的自由度。

所谓分层次设计,是将设计层次分成 5 级,即系统级、寄存器转移级、门级、电路级和器件(版图)级。其中,系统级是最顶上的一个层次,也是最抽象的设计层次,它将电子系统看作由一些系统部件组成,而各部件之间的连接可以是抽象的,只要表达清楚系统的体系结构、数据处理功能、算法等即可;寄存器转移级则以具有内部状态的寄存器以及连接寄存器之间的逻辑单元作为部件,重点在于表达信号的运算、传输和状态的转移过程;门级设计也就是逻辑设计,它以逻辑门电路或触发器作基本部件,表达各种逻辑关系;电路级设计则以晶体管作为基本元件,具体表达晶体管在时域的伏安特性或频域的响应等性能(注意电路级设计跟本书的系统电路设计含义上的差别);器件级又称为版图级,现代电子设计以版图级设计作为最底层次。版图级也可以作为电路级的物理域实现(见第 6 章表 6.1)。

2) 电子系统设计的基本任务

(1) 电子系统算法设计与仿真

系统级设计的主体工作是将设计任务要求转换为明确的、可实现的功能和技术指标要求,确定可行的技术方案,在系统一级描述系统的功能和技术指标要求。一般通过系统功能的模块划分来落实系统功能和技术指标的分配,同时确定各功能模块之间的接口关系。它运用框图与层次的方法自顶向下进行设计。系统级设计通常把系统功能逐步细分,然后从器件、电路和工艺等方面确定技术方案。随着系统变得复杂和庞大,设计师在系统级设计时将更多地借助于 EDA 工具。多种系统级设计 EDA 工具的出现为系统设计师们提供了优越的环境和有力的保障。

自上而下的正向设计是综合和优化的过程,以概念和设想为驱动,经过反复的综合和优化,从而给出可行的设计方案及合适的性能指标。借助 EDA 工具,采用“自顶向下”的设计方法,使开发者从一开始就考虑产品生产的诸多方面,包括质量成本、开发周期等

因素。

在概念层次上对系统进行模型化是最高的抽象层次,在这个层次,包含描述概念的算法是最重要的,而系统实现的细节并不重要。例如,一个数字信号处理(DSP)的算法是一个概念性的设计,如何实现这个设计有不同的方法。概念层次上的模型通常采用高层次描述语言来完成,例如,MathWork公司的MATLAB,Cadence公司的SPW等。

通过抽象可以构造更高层次的结构,从而能够定义更大的系统。当集成电路设计变得越来越复杂时,需要更多的抽象层次来完成和验证在系统层次上的集成电路设计。所以,根据系统的复杂程度,将会有不同的设计路径。

算法设计是在设计的开始对由技术条件制定的技术方案从算法上进行分析、仿真和优化,以满足技术发展中设计高性能、高密度的应用系统的需求。算法设计不再直接由技术条件给出结构的描述,而从算法上探求可能的最佳设计方案,避免从结构上描述系统的局限。

广义的系统仿真(system simulation)是进行模型实验。它是通过对系统模型的实验研究一个已经存在的或正在设计中的系统的过程。根据被研究的真实系统的数学模型,结合计算机建立仿真模型;然后,依据仿真模型在计算机上进行计算、分析和研究,从而获得真实系统的各种定量关系,加深对真实系统的认识和理解,为系统设计、调试或管理提供所需的信息、数据或资料。

系统仿真技术是在数学模型基础上,利用计算机进行实验研究的一种方法,是建立在系统科学、系统辨识、控制理论与计算机技术上的一门综合性很强的实验科学技术,是分析、综合各类系统的一种研究方法和有力工具。

在常用的EDA软件中,MATLAB, System View, Pspice等适合信号级的系统仿真,Pspice, Electronic Workbench, Protel及各种FPGA开发工具适合电路级的系统仿真。

信号级系统仿真与电路级系统仿真的工作流程如图1所示。

(2) 数字系统芯片设计与综合

微电子技术的蓬勃发展给电子产品的设计带来了巨大的变化,缩短了电子产品的更新换代周期。而人们对电子产品微型化、低成本、低功耗的需求又推动了微电子技术的更快发展。近年来,由于个人计算机、无绳电话和高速数据传输设备的发展需求,电子工业有了巨大的飞跃。为了赢得商业上的竞争,生产商迫切需要制造高性能、高品质、低成本、低功耗和小尺寸封装的产品。为此,生产商必须采用少量的IC器件和面积尽可能小的PCB板来研制高集成化的复杂系统。亚微米级的半导体工艺、PCB表面安装技术的发展促进了产品的集成化程度的进步。但是,在给定电子设计自动化(EDA)工具的条件下,产品上市周期的缩短,设计复杂程度的提高,直接影响着生产商解决开发产品瓶颈问题的能力,也就是其设计能力。这反映了人们对现代设计方法和现代测试方法的普遍需求。当系统的关键电路用一片或几片专用集成电路(ASIC)实现时,芯片设计必然涉及系统的功能要求,系统设计必须考虑芯片设计的综合要求。这些专用集成电路是由系统和电路设计师亲自参与设计的,完成从电路到芯片版图的设计后,交由IC工厂投片生产加工,或者用高密度可编程逻辑器件通过编程的方式来实现设计。

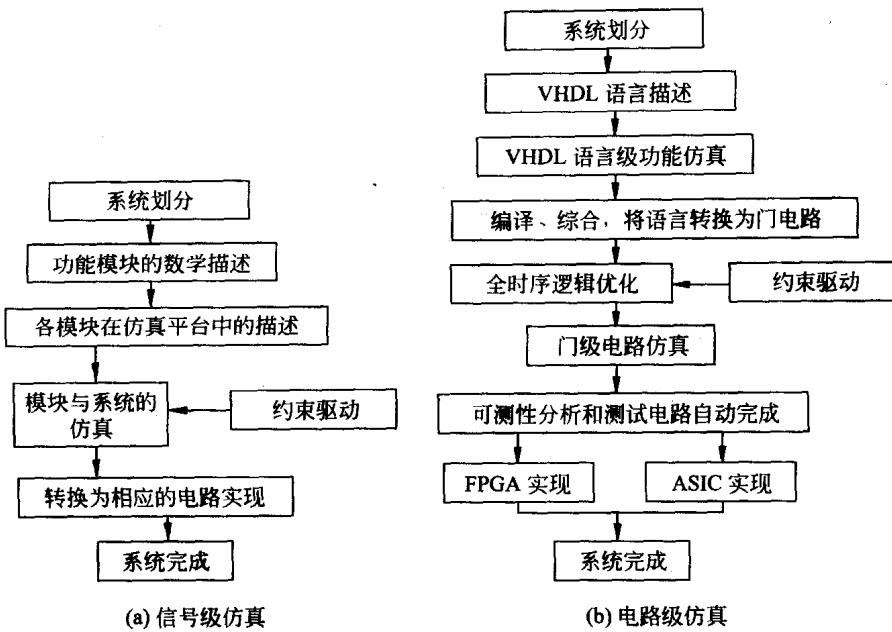


图 1 系统仿真的设计流程

当前的半导体工艺已经达到了深亚微米水平,IC 制造的特征尺寸已达到 $0.13\mu\text{m}$ 及 $0.13\mu\text{m}$ 以下,并正在向 100nm 以下发展。芯片的集成度已达千兆位,时钟频率也在向千兆赫以上发展,数据传输位数达到每秒几十亿次,即芯片集成度及速度等已发展到 3T(tera scale, 10^{12} 量级,即万亿级)时代。因此,未来的集成电路技术的发展趋势是把整个系统集成到一个芯片上去。这种芯片称为片上系统(system on a chip, SOC),或称为系统芯片。片上系统跟当今的超大规模集成电路(VLSI)相比,无论是集成规模还是运行频率都有长足的发展。而采用具有系统级性能的复杂可编程逻辑器件(CPLD)和现场可编程门阵列(FPGA)实现可编程片上系统(system on a programmable logic chip)也成为今后的一个发展方向。正是集成电路的迅猛发展,推动了电子技术的发展,带来了电子系统设计的不断变革。CPLD 和 FPGA 都是高密度现场可编程逻辑芯片,能够将大量逻辑功能集成于一个单片集成电路中。虽然半定制和全定制的专用集成电路也能够将大量逻辑功能集成于一个单片集成电路中,但 CPLD 和 FPGA 具有更多的灵活性:既适用于研制周期短和批量小的产品开发,也可用于大批量产品的样品研制。设计人员在实验室通过开发工具就可以制作出自己的芯片,而不用芯片制造商来完成。同时,因其项目开发所需前期工程费用低,故受到应用电子系统开发人员的青睐。

与采用 SSI/MSI 标准器件构成 PCB 板级设计相比,CPLD 和 FPGA 具有很大的灵活性。因为 SSI/MSI 标准器件集成度低,功能有限,灵活性差,所构成的 PCB 板存在大量芯片间的连线,且采用各种不同功能的芯片,因而会导致系统可靠性差、费用高、功耗高、体积大等问题出现。因为任何逻辑改动必须采用跳线或钻孔的方式,因此如果 PCB 板的生产量很大,则必须重新设计,这必然导致前期投资的大大提高,并使产品上市时间推迟;而采用 CPLD 和 FPGA 则不同,其 PCB 板依然可用,无须破坏板上的连线结构,只