

面向 21 世纪

高等学校信息工程专业系列教材

EDA技术综合应用实例与分析

*Practical Cases and Analysis of EDA Technology
in Comprehensive Application*

谭会生 瞿遂春 著



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

面向 21 世纪高等学校信息工程类专业系列教材

EDA 技术

综合应用实例与分析

Practical Cases and Analysis of EDA Technology
in Comprehensive Application

谭会生 瞿遂春 著

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

本书系《EDA 技术及应用(第二版)》的姊妹篇,旨在通过对诸多案例的系统分析、建模、程序设计实现和设计技巧进行分析,全面提高读者 EDA 技术综合应用的能力。

本书首先阐述了 EDA 技术综合应用的形式、设计方法与建模、典型单元电路的设计、主要软件及设备、PCB 的设计与制作等基础知识,接着介绍了多路彩灯控制器、智力抢答器、电子密码锁、微波炉控制器、交通控制器、综合计时系统、数据采集控制系统、电梯控制器、车载 DVD 位控系统、直接数字频率合成器 DDS、图像边缘检测器等 11 个 EDA 技术综合应用系统的设计,以及等精度数字频率计、出租车计费系统、低频数字相位测量仪、电压控制 LC 振荡控制器等 4 个 EDA 和单片机综合应用系统的设计。每个案例详细阐述了系统设计方案、VHDL 源程序以及单片机汇编语言源程序、系统仿真/硬件验证及设计技巧分析等内容,同时还给每个系统提供了进一步扩展的思路。

本书主题明确,案例丰富,重点突出,所有给出的程序均经过调试,具有选题的广泛性,设计的全程性,软硬件的兼顾性,系统的层次性,应用的扩展性,资料的齐全性,实践的可操作性。

本书可供高等院校的电子工程、通信工程、自动化、计算机应用、仪器仪表等信息工程类专业及相近专业的本科生或研究生使用,特别适合作为 EDA 技术类课程学习的课程设计、综合实践、电子设计竞赛培训以及毕业设计的教材或参考资料,同时对于从事或将要从事 EDA 技术应用与开发的工程技术人员,也是一本难得的应用设计参考书。

★本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

EDA 技术综合应用实例与分析 / 谭会生, 瞿遂春著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.11
(面向 21 世纪高等学校信息工程类专业系列教材)

ISBN 7-5606-1446-9

I. E… II. ①谭… ②瞿… 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 095285 号

策 划 马晓娟

责任编辑 马晓娟

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2004 年 11 月第 1 版 2004 年 11 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 21.75

字 数 517 千字

印 数 1~4000 册

定 价 23.00 元

ISBN 7-5606-1446-9 / TN·0281(课)

XDUP 1717001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

序

第三次全国教育工作会议以来,我国高等教育得到空前规模的发展。经过高校布局和结构的调整,各个学校的新专业均有所增加,招生规模也迅速扩大。为了适应社会对“大专业、宽口径”人才的需求,各学校对专业进行了调整和合并,拓宽专业面,相应的教学计划、大纲也都有了较大的变化。特别是进入 21 世纪以来,信息产业发展迅速,技术更新加快。面对这样的发展形势,原有的计算机、信息工程两个专业的传统教材已很难适应高等教育的需要,作为教学改革的重要组成部分,教材的更新和建设迫在眉睫。为此,西安电子科技大学出版社聘请南京邮电学院、西安邮电学院、重庆邮电学院、吉林大学、杭州电子工业学院、桂林电子工业学院、北京信息工程学院、深圳大学、解放军电子工程学院等 10 余所国内电子信息类专业知名院校长期在教学科研第一线工作的专家教授,组成了高等学校计算机、信息工程类专业系列教材编审专家委员会,并且面向全国进行系列教材编写招标。该委员会依据教育部有关文件及规定对这两大专业的教学计划和课程大纲,对目前本科教育的发展变化和相应系列教材应具有的特色和定位以及如何适应各类院校的教学需求等进行了反复研究、充分讨论,并对投标教材进行了认真评审,筛选并确定了高等学校计算机、信息工程类专业系列教材的作者及审稿人。这套教材预计在 2004 年春季全部出齐。

审定并组织出版这套教材的基本指导思想是力求精品、力求创新、好中选优、以质取胜。教材内容要反映 21 世纪信息科学技术的发展,体现专业课内容更新快的要求;编写上要具有一定的弹性和可调性,以适合多数学校使用;体系上要有所创新,突出工程技术型人才培养的特点,面向国民经济对工程技术人才的需求,强调培养学生较系统地掌握本学科专业必需的基础知识和基本理论,有较强的本专业的基本技能、方法和相关知识,培养学生具有从事实际工程的研发能力。在作者的遴选上,强调作者应在教学、科研第一线长期工作,有较高的学术水平和丰富的教材编写经验;教材在体系和篇幅上符合各学校的教学计划要求。

相信这套精心策划、精心编审、精心出版的系列教材会成为精品教材,得到各院校的认可,对于新世纪高等学校教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会

2002 年 8 月

高等学校计算机、信息工程类专业

系列教材编审专家委员会

主 任：杨 震（南京邮电学院副院长、教授）

副主任：张德民（重庆邮电学院通信与信息工程学院院长、教授）

韩俊刚（西安邮电学院计算机系主任、教授）

李荣才（西安电子科技大学出版社总编辑、教授）

计算机组

组 长：韩俊刚（兼）

成 员：（按姓氏笔画排列）

王小民（深圳大学信息工程学院计算机系主任、副教授）

王小华（杭州电子工业学院计算机分院副院长、副教授）

孙力娟（南京邮电学院计算机系副主任、副教授）

李秉智（重庆邮电学院计算机学院院长、教授）

孟庆昌（北京信息工程学院教授）

周 娅（桂林电子工业学院计算机系副主任、副教授）

张长海（吉林大学计算机科学与技术学院副院长、教授）

信息工程组

组 长：张德民（兼）

成 员：（按姓氏笔画排列）

方 强（西安邮电学院电信系主任、教授）

王 晖（深圳大学信息工程学院电子工程系主任、副教授）

胡建萍（杭州电子工业学院电子信息分院副院长、副教授）

徐 祎（解放军电子工程学院电子技术教研室主任、副教授）

唐 宁（桂林电子工业学院通信与信息工程系副主任、副教授）

章坚武（杭州电子工业学院通信工程分院副院长、教授）

康 健（吉林大学通信工程学院副院长、教授）

蒋国平（南京邮电学院电子工程系副主任、副教授）

总 策 划：梁家新

策 划：马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

电子教案：马武装

前言

EDA 技术作为现代电子设计最新技术的结晶,其广阔的应用前景和深远的影响已毋庸置疑,它在信息工程类专业中的基础地位和核心作用也逐渐被人们所认识。许多高等学校开设了相应的课程,并为学生提供了课程设计、综合实践、电子设计竞赛、毕业设计、科学研究和产品开发等 EDA 技术的综合应用实践环节。相关的工程技术人员也特别重视学习 EDA 技术,并渴望提高其工程应用能力。

对于迅猛发展的 EDA 技术的综合应用,从 EDA 技术的综合应用系统的深度来分,可分为 3 个层次:① 功能电路模块的设计;② 算法实现电路模块的设计;③ 片上系统/嵌入式系统/现代 DSP 系统的设计。

从 EDA 技术的综合应用系统的最终主要硬件构成来分,已出现 6 种形式:① CPLD/FPGA 系统;② “CPLD/FPGA+MCU”系统;③ “CPLD/FPGA+专用 DSP 处理器”系统;④ 基于 FPGA 实现的现代 DSP 系统;⑤ 基于 FPGA 实现的 SOC 片上系统;⑥ 基于 FPGA 实现的嵌入式系统。

从 EDA 技术的综合应用系统的完善层次来分,可分为 3 个层次:① “EDA 综合系统”主体电路的设计、仿真及硬件验证;② “EDA 综合系统”主体电路的设计、仿真、硬件验证+系统外围电路 PCB 的设计与制作;③ “EDA 综合系统”主体电路的设计、仿真、硬件验证+系统整体电路 PCB 的设计与制作及系统的组装、调试。

对于 EDA 技术的学习,作者认为不能只站在一门课程的角度上去学习,而应站在如何真正掌握这一技术的角度去学习。对于具备一定 EDA 技术基础的人来说,如何提高自己的实际应用能力,将 EDA 技术应用到各自的专业领域,解决实际问题,这才是他们所关心和急于解决的。提高自己的 EDA 技术的综合应用能力,不可能一蹴而就,而应不断实践,不断总结。根据作者近年从事 EDA 技术的教学和科研实践经验,作者认为,提高 EDA 技术综合应用能力的比较快速而有效的办法就是按照“阅读借鉴→消化吸收→改进创新”的步骤去不断学习和实践。所谓“阅读借鉴”,就是通过阅读许多实际设计实例来借鉴别人的设计思想;所谓“消化吸收”,就是通过反复阅读许多实际设计实例,在真正看懂别人的设计思想的基础上自己进行模仿实践,领会其设计思想的实质;所谓“改进创新”,就是在模仿实践的基础上,根据自己的领会提出改进的方案或独立地提出新的设计方案,不断地实践与完善,直到达到理想的设计要求为止。

作为“三步学习实践法”的起点,就是通过阅读许多实际设计实例来借鉴别人的设计思想。而作为现代电子设计最新技术的综合体现的 EDA 技术,由于在我国进行教育和研究只有几年的历史,因此有关 EDA 技术综合应用的书籍和资料太少,即使有也是零星的、分散的,一些与实践有关的问题,往往是点到为止,可操作性比较差。因此,EDA 技术的深化教育和 EDA 技术的广泛应用,亟需 EDA 技术的综合应用方面的图书。为了弥补 EDA 综

合应用图书的空缺，为推进我国 EDA 技术的深化教育和 EDA 技术的广泛应用，作者竭尽所能写作了本书。

本书的写作目标就是通过对诸多案例的系统分析建模、程序设计实现和设计技巧进行分析，来全面提高读者的 EDA 技术的综合应用能力，因此在写作时自始至终注意贯彻以下原则：选题的广泛性，设计的全程性，软硬件的兼顾性，系统的层次性，应用的扩展性，资料的齐全性，实践的可操作性。

本书在写作时，为了增大信息量，减少重复内容，尽可能从不同的层面展示各种设计思路和方法，所以对于具体的设计实例来讲，并没有一味地去追求设计方法和方案达到最优。对每一个设计实例均给读者留有一定的思考和完善的余地，比如省略了一些常见模块及顶层模块的程序设计，部分模块的仿真或仿真分析，系统的硬件验证，系统外围电路的设计等。因此读者在使用本书的时候，请注意以下事项：① 虽然各个应用实例相对独立，自成体系，但是注意学习的系统性，尽可能地多读一些章节，您的收获肯定不一样。② 各个设计实例虽然均经过调试和仿真，但是作者只是提供一种设计方案和设计思路，读者在消化吸收的基础上，完全可以改进和创新，并且对同一模块的设计应尽可能提出多种实现方案，编写多种程序。③ 对每个设计实例的学习，可以采用“滚雪球”的方法不断完善。首先将给出的各个设计自己实际做一遍；接着补充系统缺省的常见模块及顶层模块的程序设计，对部分未仿真的模块进行仿真，对已仿真但未进行结果分析的仿真进行仿真分析，根据自己所拥有 EDA 实验开发系统及相关设备直接或适当改动后进行系统的硬件验证；再接着就是设计与制作系统工作的外围电路，并将外围电路接入系统进行联调，验证系统的工作情况；最后就是设计与制作系统 PCB 板，并将“EDA 综合系统”以及相关的外围电路组成一个整体。

历经近三年，本书终于出版，首先需要感谢的是西安电子科技大学出版社的领导和马晓娟编辑，是他们在两年以前就将该选题列入重点出版计划，并在我遇到困难时给予支持；其次，在本书的撰写过程中，株洲工学院院长、博士生导师张晓琪教授，中南大学信息科学与工程学院院长、博士生导师桂卫华教授，株洲工学院副院长张昌凡教授，副院长罗定提教授，教务处处长张风华教授，杭州康芯电子有限公司总经理、杭州电子工业学院潘松教授，都给予了大力的支持、关心和鼓励，在此一并表示衷心的感谢！最后，向参加该书部分程序初步调试工作的株洲工学院电气工程系 99 级学生刘展良、王新、肖毅、苏炜佳，2000 级学生庄永军、刘哲、楚良玉、张红文、陈炯宇、李贤军等同学，表示真诚的谢意！

由于 EDA 技术是一门发展迅速的新技术，加上本书综合性强，所涉及的知识，除 EDA 技术外，还涉及许多相关的专业知识，书中难免存在疏漏、不妥甚至错误，敬请读者批评指正。

谭会生

2004 年 6 月

目 录

第 1 章 EDA 技术综合应用设计基础..... 1	2.2 系统设计方案 54
1.1 EDA 技术综合应用的形式 1	2.3 主要 VHDL 源程序 55
1.2 EDA 技术综合应用的设计方法与建模 2	2.3.1 时序控制电路的 VHDL 源程序 55
1.2.1 分析方法 2	2.3.2 显示控制电路的 VHDL 源程序 56
1.2.2 表示方法 3	2.3.3 整个电路系统的 VHDL 源程序 57
1.2.3 实现方法 4	2.4 系统仿真/硬件验证 58
1.2.4 组成模型 4	2.4.1 系统的有关仿真 58
1.2.5 表示模型 5	2.4.2 系统的硬件验证 59
1.3 EDA 综合应用设计中典型单元	2.5 设计技巧分析 59
电路的设计 12	2.6 系统扩展思路 59
1.3.1 计数器的设计 12	第 3 章 智力抢答器的设计与分析 60
1.3.2 分频电路的设计 16	3.1 系统设计要求 60
1.3.3 多路选择器的设计 20	3.2 系统设计方案 60
1.3.4 编码器的设计 22	3.3 主要 VHDL 源程序 61
1.3.5 寄存器的设计 25	3.3.1 抢答鉴别电路 QDJB 的 VHDL
1.3.6 存储器的设计 27	源程序 61
1.3.7 输入电路的设计 33	3.3.2 计分器电路 JFQ 的 VHDL 源程序 62
1.3.8 显示电路的设计 40	3.3.3 计时器电路 JSQ 的 VHDL 源程序 64
1.4 EDA 技术综合应用设计的主要	3.3.4 译码器电路 YMQ 的 VHDL 源程序 65
软件及设备 43	3.4 系统仿真/硬件验证 66
1.4.1 主要软件、设备及作用 43	3.4.1 系统的有关仿真 66
1.4.2 CPLD/FPGA+MCU 系统联合调试	3.4.2 系统的硬件验证 68
设备的联接 44	3.5 设计技巧分析 68
1.4.3 Create-Pcb 高精度电路板制作仪	3.6 系统扩展思路 68
简介 44	第 4 章 电子密码锁的设计与分析 69
1.5 综合应用系统外围电路的 PCB 设计	4.1 系统设计要求 69
与制作 45	4.2 系统设计方案 69
1.5.1 启动设计环境 45	4.2.1 密码锁输入电路的设计 70
1.5.2 原理图的设计 46	4.2.2 密码锁控制电路的设计 74
1.5.3 生成网络表 50	4.2.3 密码锁显示电路的设计 75
1.5.4 PCB 的设计 50	4.2.4 密码锁的整体组装设计 75
1.5.5 PCB 的制作 52	4.3 主要 VHDL 源程序 76
第 2 章 多路彩灯控制器的设计与分析 54	4.3.1 键盘输入去抖电路的 VHDL 源程序 76
2.1 系统设计要求 54	4.3.2 密码锁输入电路的 VHDL 源程序 77

4.3.3 密码锁控制电路的 VHDL 源程序	80	6.3.7 系统总体组装电路的 VHDL 源程序	107
4.3.4 其他电路的 VHDL 源程序	82	6.4 系统仿真/硬件验证	107
4.4 系统仿真/硬件验证	82	6.4.1 系统的有关仿真	107
4.4.1 系统的有关仿真	82	6.4.2 系统的硬件验证	108
4.4.2 系统的硬件验证	84	6.5 设计技巧分析	108
4.5 设计技巧分析	85	6.6 系统扩展思路	109
4.6 系统扩展思路	85	第 7 章 综合计时系统的设计与分析	110
第 5 章 微波炉控制器的设计与分析	86	7.1 系统设计要求	110
5.1 系统设计要求	86	7.2 系统设计方案	110
5.2 系统设计方案	87	7.2.1 综合计时电路的设计	110
5.2.1 微波炉控制器的总体设计方案	87	7.2.2 显示控制电路的设计	112
5.2.2 状态控制器 KZQ 的设计	88	7.2.3 调整控制电路 TZKZQ 的设计	114
5.2.3 数据装载机 ZZQ 的设计	88	7.2.4 系统总体组装电路的设计	114
5.2.4 烹调计时器 JSQ 的设计	89	7.3 主要 VHDL 源程序	116
5.2.5 显示译码器 YMQ47 的设计	90	7.3.1 综合计时电路的 VHDL 源程序	116
5.3 主要 VHDL 源程序	90	7.3.2 显示控制电路 XSKZQ 的 VHDL 源程序	119
5.3.1 状态控制器 KZQ 的 VHDL 源程序	90	7.3.3 调整控制电路 TZKZQ 的 VHDL 源程序	123
5.3.2 数据装载机 ZZQ 的 VHDL 源程序	92	7.3.4 系统总体组装电路的 VHDL 源程序	125
5.3.3 烹调计时器 JSQ 的 VHDL 源程序	92	7.4 系统仿真/硬件验证	125
5.3.4 显示译码器 YMQ47 的 VHDL 源程序	95	7.4.1 系统的有关仿真	125
5.3.5 微波炉控制器 WBLKZQ 的 VHDL 源程序	96	7.4.2 系统的硬件验证	127
5.4 系统仿真/硬件验证	96	7.5 设计技巧分析	128
5.4.1 系统的有关仿真	96	7.6 系统扩展思路	128
5.4.2 系统的硬件验证	97	第 8 章 数据采集控制系统的设计 与分析	129
5.5 设计技巧分析	97	8.1 系统设计要求	129
5.6 系统扩展思路	97	8.2 系统设计方案	130
第 6 章 交通控制器的设计与分析	99	8.2.1 系统总体设计方案	130
6.1 系统设计要求	99	8.2.2 A/D 转换控制模块 ADZHKZ 的 设计	130
6.2 系统设计方案	99	8.3 主要 VHDL 源程序	132
6.3 主要 VHDL 源程序	100	8.3.1 A/D 转换控制模块 ADZHKZ 的 VHDL 源程序	132
6.3.1 交通灯控制器 JTDKZ 的 VHDL 源程序	100	8.3.2 数据运算与处理模块 SJYSCL 的 VHDL 源程序	137
6.3.2 45 s 定时单元的 VHDL 源程序	102		
6.3.3 5 s 定时单元的 VHDL 源程序	104		
6.3.4 25 s 定时单元的 VHDL 源程序	104		
6.3.5 显示控制单元的 VHDL 源程序	106		
6.3.6 显示译码器的 VHDL 源程序	107		

8.3.3 D/A 转换控制模块 DAZHKZ 的 VHDL 源程序	142	11.3.1 相位累加器 SUM99 的 VHDL 源程序	187
8.3.4 键盘输入与数据显示控制模块 JPXSKZ 的 VHDL 源程序	143	11.3.2 相位寄存器 REG1 的 VHDL 源程序	188
8.3.5 系统总体组装的 VHDL 源程序	144	11.3.3 正弦查找表 ROM 的 VHDL 源程序	188
8.4 系统仿真/硬件验证	144	11.3.4 系统的整体组装 DDS 的 VHDL 源程序	190
8.4.1 系统的有关仿真	144	11.4 系统仿真/硬件验证	191
8.4.2 系统的硬件验证	146	11.4.1 系统的有关仿真	191
8.5 设计技巧分析	146	11.4.2 系统的硬件验证	192
8.6 系统扩展思路	146	11.5 设计技巧分析	193
第 9 章 电梯控制器的设计与分析	148	11.6 系统扩展思路	194
9.1 系统设计要​​求	148	第 12 章 图像边缘检测器的设计与 分析	195
9.2 系统设计方​​案	148	12.1 系统设计要​​求	195
9.3 主要 VHDL 源程序	149	12.2 系统设计方​​案	196
9.4 系统仿真/硬件验证	157	12.2.1 算法选择	196
9.4.1 系统的有关仿真	157	12.2.2 算法实现	197
9.4.2 系统的硬件验证	158	12.2.3 总体设计方​​案	197
9.5 设计技巧分析	158	12.2.4 主要功能模块的设计	199
9.6 系统扩展思路	159	12.3 主要 LPM 原理图和 VHDL 源程序	201
第 10 章 车载 DVD 位控系统的​​设计与 分析	160	12.3.1 LPM 兆功能块定制方法简介	201
10.1 系统设计要​​求	160	12.3.2 一些模块的 LPM 原理图	206
10.2 系统设计方​​案	162	12.3.3 RESULT 的 VHDL 源程序	210
10.2.1 系统的总体结构设计	162	12.3.4 COMPARE 的 VHDL 源程序	211
10.2.2 系统内各模块的设计	165	12.3.5 系统的总体组​​装设计	212
10.3 主要 VHDL 源程序	167	12.4 系统仿真/硬件验证	212
10.4 系统仿真/硬件验证	177	12.4.1 系统的有关仿真	212
10.4.1 系统的有关仿真	177	12.4.2 系统的硬件验证	215
10.4.2 系统的硬件验证	180	12.5 设计技巧分析	215
10.5 设计技巧分析	180	12.6 系统扩展思路	216
10.6 系统扩展思路	180	第 13 章 等精度数字频率计的 设计与分析	217
第 11 章 直接数字频率合成器的 设计与分析	181	13.1 系统设计要​​求	217
11.1 系统设计要​​求	181	13.2 系统设计方​​案	217
11.2 系统设计方​​案	181	13.2.1 系统设计方​​案选择	217
11.2.1 DDS 的工作原理	181	13.2.2 系统总体设计方​​案	220
11.2.2 DDS 的 FPGA 实现设计	182		
11.3 主要 VHDL 源程序	187		

13.2.3 CPLD/FPGA 测频专用模块的 VHDL 程序设计.....	221	15.2.2 信号整形电路的设计	289
13.2.4 单片机控制与运算程序的设计	223	15.2.3 FPGA 数据采集电路的设计	290
13.3 主要 VHDL 和单片机源程序	226	15.2.4 单片机数据运算控制电路的设计 ...	291
13.3.1 主要 VHDL 源程序	226	15.2.5 数据显示电路的设计	294
13.3.2 单片机源程序	230	15.3 主要 VHDL 源程序和汇编语言程序	295
13.4 系统仿真/硬件验证	248	15.3.1 FPGA 的 VHDL 源程序清单	295
13.4.1 系统调试的方法	248	15.3.2 单片机的汇编语言源程序清单	299
13.4.2 系统调试的软/硬件	249	15.4 系统仿真/硬件验证	311
13.4.3 系统的仿真结果	249	15.4.1 系统调试的方法	311
13.4.4 系统的硬件验证	250	15.4.2 系统调试的软/硬件	312
13.5 设计技巧分析	250	15.4.2 系统的有关仿真	312
13.6 系统扩展思路	251	15.4.4 系统的硬件验证	312
第 14 章 出租车计费系统的 设计与分析	252	15.5 设计技巧分析	313
14.1 系统设计要​​求	252	15.6 系统扩展思路	314
14.2 系统设计方案	253	第 16 章 电压控制 LC 振荡器的 设计与分析	316
14.2.1 系统总体设计方案	253	16.1 系统设计要​​求	316
14.2.2 测控 FPGA 的 VHDL 程序设计	254	16.2 系统设计方案	316
14.2.3 单片机控制程序设计	256	16.2.1 系统设计总体方案	316
14.3 主要源程序	260	16.2.2 电压控制 LC 振荡器的设计	316
14.3.1 主要 VHDL 源程序	260	16.2.3 FPGA 测控专用芯片的 VHDL 程序设计	319
14.3.2 单片机汇编语言源程序	268	16.2.4 单片机控制程序的设计	320
14.4 系统仿真/硬件验证	282	16.3 主要 VHDL 源程序和汇编语言程序	323
14.4.1 系统的调试方法	282	16.3.1 FPGA 的 VHDL 源程序	323
14.4.2 系统调试的软/硬件	283	16.3.2 单片机的汇编语言源程序	326
14.4.3 系统的有关仿真	283	16.4 系统仿真/硬件验证	335
14.4.4 系统的硬件验证	285	16.4.1 系统调试的方法	335
14.5 设计技巧分析	286	16.4.2 系统调试的软/硬件	335
14.6 系统扩展思路	287	16.4.3 系统的有关仿真	335
第 15 章 低频数字相位测量仪的 设计与分析	288	16.4.4 系统的硬件验证	336
15.1 系统设计要​​求	288	16.5 设计技巧分析	337
15.2 系统设计方案	288	16.6 系统扩展思路	338
15.2.1 总体设计方案	288	参考文献	339

第1章 EDA 技术综合应用设计基础

1.1 EDA 技术综合应用的形式

现代电子产品正在以前所未有的速度,向着功能多样化、体积最小化、功耗最低化迅速发展。现代电子产品设计与传统电子产品设计的显著区别之一就是大量使用大规模可编程逻辑器件,以提高产品性能、缩小产品体积、降低产品消耗;区别之二就是广泛运用现代计算机技术,提高电子设计自动化程度,缩短开发周期,提高产品的竞争力。EDA(Electronic Design Automation, 电子设计自动化)技术正是为了适应现代电子产品设计的要求,伴随着计算机、集成电路、电子系统设计的发展,吸收数据库、图形学、图论与拓扑逻辑、计算数学、优化理论等多学科最新成果而逐步形成的一门新技术。

什么叫 EDA 技术?由于它是一门迅速发展的新技术,涉及面广,内容丰富,因此理解各异,目前尚无统一的看法。作者认为:EDA 技术有狭义的 EDA 技术和广义的 EDA 技术之分。狭义的 EDA 技术就是指以大规模可编程逻辑器件为设计载体,以硬件描述语言为系统逻辑描述的主要表达方式,以计算机、大规模可编程逻辑器件的开发软件及实验开发系统为设计工具,通过有关的开发软件,自动完成用软件方式设计的电子系统到硬件系统的逻辑编译、逻辑化简、逻辑分割、逻辑综合及优化、逻辑布局布线、逻辑仿真,直至对于特定目标芯片的适配编译、逻辑映射、编程下载等工作,最终形成集成电子系统或专用集成芯片的一门新技术,或称为 IES/ASIC 自动设计技术。广义的 EDA 技术,除了狭义的 EDA 技术外,还包括计算机辅助分析 CAA 技术(如 PSPICE, EWB, MATLAB 等),印刷电路板计算机辅助设计 PCB-CAD 技术(如 PROTEL, ORCAD 等)。在广义的 EDA 技术中,CAA 技术和 PCB-CAD 技术不具备逻辑综合和逻辑适配的功能,因此它并不能称为真正意义上的 EDA 技术。故作者认为将广义的 EDA 技术称为现代电子设计技术更为合适。

利用 EDA 技术(特指 IES/ASIC 自动设计技术)进行电子系统的设计,具有以下几个特点:

- ① 用软件的方式设计硬件;
 - ② 用软件方式设计的系统到硬件系统的转换是由有关的开发软件自动完成的;
 - ③ 设计过程中可用有关软件进行各种仿真;
 - ④ 系统可现场编程,在线升级;
 - ⑤ 整个系统可集成在一个芯片上,体积小,功耗低,可靠性高;
 - ⑥ 从以前的“组合设计”转向真正的“自由设计”;
 - ⑦ 设计的移植性好,效率高;
 - ⑧ 非常适合分工设计,团体协作。
- 因此,EDA 技术是现代电子设计的发展趋势。



随着 EDA 技术的深入发展和 EDA 技术软硬件性能价格比的不断提高, EDA 技术的应用将向广度和深度两个方面发展。根据利用 EDA 技术所开发的产品的最终主要硬件构成来分, 作者认为, EDA 技术的应用发展将表现为如下几种形式:

(1) CPLD/FPGA 系统: 使用 EDA 技术开发 CPLD/FPGA, 使自行开发的 CPLD/FPGA 作为电子系统、控制系统、信息处理系统的主体。

(2) “CPLD/FPGA+MCU” 系统: 综合应用 EDA 技术与单片机技术, 将自行开发的 “CPLD/FPGA+MCU” 作为电子系统、控制系统、信息处理系统的主体。

(3) “CPLD/FPGA+专用 DSP 处理器” 系统: 将 EDA 技术与 DSP 专用处理器配合使用, 用 “CPLD/FPGA+专用 DSP 处理器” 构成一个数字信号处理系统的整体。

(4) 基于 FPGA 实现的现代 DSP 系统: 基于 SOPC(a System on a Programmable Chip) 技术、EDA 技术与 FPGA 技术实现方式的现代 DSP 系统。

(5) 基于 FPGA 实现的 SOC 片上系统: 使用超大规模的 FPGA 实现的, 内含 1 个或多个嵌入式 CPU 或 DSP, 能够实现复杂系统功能的单一芯片系统。

(6) 基于 FPGA 实现的嵌入式系统: 使用 CPLD/FPGA 实现的, 内含嵌入式处理器, 能满足对象系统要求的特定功能的, 能够嵌入到宿主系统的专用计算机应用系统。

1.2 EDA 技术综合应用的设计方法与建模

1.2.1 分析方法

传统的电路设计方法都是自底向上进行设计的, 也就是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。而基于 EDA 技术的设计方法则是自顶向下进行设计的, 也就是首先采用可完全独立于目标器件芯片物理结构的硬件描述语言, 在系统的基本功能或行为级上对设计的产品进行描述和定义, 结合多层次的仿真技术, 在确保设计的可行性与正确性的前提下, 完成功能确认。然后利用 EDA 工具的逻辑综合功能, 把功能描述转换成某一具体目标芯片的网表文件, 输出给该器件厂商的布局布线适配器, 进行逻辑映射及布局布线, 再利用产生的仿真文件进行包括功能和时序的验证, 以确保实际系统的性能。

在基于 EDA 技术的系统设计的最重要环节——在系统的基本功能或行为级上对设计的产品进行描述和定义时, 我们采用自顶向下分析, 自底向上设计的方法。所谓 “自顶向下分析”, 就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。图 1.1 是一个自顶向下设计的结构分解图。所谓 “自底向上设计”, 就是在自顶向下分析建立各种设计模型的基础上, 先进行低层模块的设计, 完成低层模块的设计后再进行高一层次的设计, 如此类推, 直到完成顶层的设计为止。采用该方法进行分析和设计时, 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。

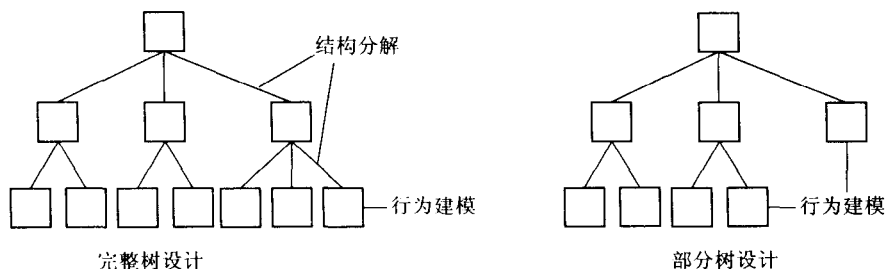


图 1.1 自顶向下设计的结构分解图

采用自顶向下的设计方法有如下优点：

(1) 自顶向下设计方法是一种模块化设计方法。对设计的描述从上到下逐步由粗略到详细，符合常规的逻辑思维习惯。

(2) 由于高层设计同器件无关，可以完全独立于目标器件的结构，因此在设计的最初阶段，设计人员可以不受芯片结构的约束，集中精力对产品进行最适应市场需求的设计，从而避免了传统设计方法中的再设计风险，缩短了产品的上市周期。

(3) 由于系统采用硬件描述语言进行设计，可以完全独立于目标器件的结构，因此设计易于在各种集成电路工艺或可编程器件之间移植。

(4) 适合多个设计者同时进行设计。现在随着技术的不断进步，许多设计由一个设计者已无法完成，必须经过多个设计者分工协作完成一项设计的情况越来越多。在这种情况下，应用自顶向下设计方法便于由多个设计者同时进行设计，对设计任务进行合理分配，用系统工程的方法对设计进行管理。

针对具体的设计，实施自顶向下设计方法的形式会有所不同，但均需遵循以下两条原则：逐层分解功能和分层次进行设计。在各设计层次上，考虑相应的仿真验证问题。

1.2.2 表示方法

1. 文本表示方式

在 EDA 的设计中，最一般化、最具普遍性的设计表示方式就是文本表示方式，也就是利用硬件描述语言(HDL)用软件编程的方式来表达自己的设计。

根据文本表示方式所使用的抽象层次，我们又可将文本表示方式分为：行为描述、结构描述和数据流(寄存器传输级)描述。

文本表示方式的优点：① 设计的可读性好；② 设计的复用性好；③ 设计的移植性好；④ 入档、交流、交付方便。

2. 图形表示方式

在 EDA 的设计中，有时也用图形表示方式来表达自己的设计。图形表示方式常用的有原理图、状态图、波形图等。

图形表示方式的优点是直观、方便，但是其存在以下缺点：① 设计的可读性差；② 设计的复用性差；③ 设计的移植性差；④ 入档、交流、交付不方便。

3. 文本、图形混用方式

在 EDA 的设计中, 根据自己设计所使用软件的性能及如何使设计简单易行, 有时也经常采用文本、图形混用的方式。

1.2.3 实现方法

1. 硬件描述语言编程实现法

硬件描述语言编程实现法就是用 VHDL 等硬件描述语言来表达自己的设计思想, 并使用 EDA 工具提供的文本编辑器以文本的方式进行设计输入的一种实现方法。它是 EDA 设计中最一般化、最具普遍性的实现方法, 根据设计系统的实际情况, 设计可从行为级、寄存器级、门电路级等不同层次进行描述, 非常灵活, 并且设计的移植性非常好。所有 EDA 工具都支持文本方式的编辑和编译。

2. 原理图设计实现法

原理图设计实现法就是用原理图表达自己的设计思想, 并使用 EDA 工具提供的图形编辑器以原理图的方式进行设计输入的一种实现方法。原理图输入法的实现方式简单、直观、方便, 并且可利用许多现成的单元器件或自行设计的元器件。

3. 参数可设置兆功能块实现法

参数可设置兆功能块实现法就是设计者可以根据实际电路的设计需要, 选择 LPM (Library of Parameterized Moduels, 参数可设置模块库, 简称 LPM) 库中的适当模块, 并为其设定适当的参数以满足自己设计需要的一种实现方法。作为 EDIF 标准的一部分, LPM 形式得到了 EDA 工具的良好支持, LPM 中功能模块的内容很丰富。

在 EDA 的设计中, 以图形或硬件描述语言模块形式调用兆功能块进行设计, 使得基于 EDA 技术的电子设计能够有效地利用其他优秀电子工程技术人员的硬件设计成果, 更使得设计效率和可靠性有了很大的提高。

LPM 模块的使用方式有两种: 原理图调用方式和 VHDL 文本调用方式。

4. 软的或硬的 IP 核实现法

软的或硬的 IP 核实现法就是在大型系统的设计中, 对于某些功能模块的设计可通过调用已经购买的有关公司或电子技术人员的软的或硬的 IP(知识产权)核来实现。使用该方法, 可以快速而高效地实现大型系统的设计或系统集成。

1.2.4 组成模型

1. 模块模型

在 VHDL 的设计中, 最常用的方法就是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。将系统分解后, 首先将各个小的模块作为一个单独的设计实体进行设计, 再将各个相关的设计实体组成更高层次的设计实体进行设计, 如此重复下去, 直到最顶层的设计实体设计好为止, 这就是模块建模的思想, 如图 1.2 所示。

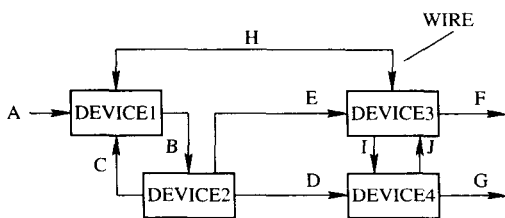


图 1.2 模块建模示意图

2. 进程模型

在 VHDL 的设计中，对于一个系统中的多个模块，我们也可以不采用实体互连的方法进行设计，而是通过进程的互连构成一个整体。所谓进程，就是对数字器件的功能和延时进行建模的设计实体。器件与进程的对应关系有如下几种：

- ① 单个的器件映射为单个进程；
 - ② 单个的器件映射为多个进程；
 - ③ 一系列器件映射为一个进程。
- 数字系统模块模型中模块之间的连线在进程模型网络中用信号进行标记，如图 1.3 所示。

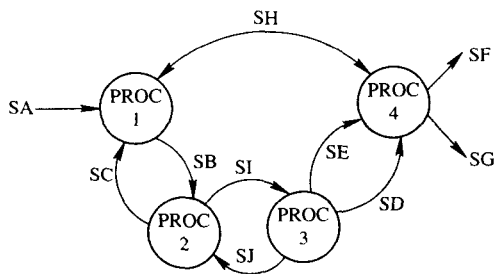


图 1.3 进程建模示意图

1.2.5 表示模型

1. 原理框图

原理框图就是通过一个设计实体内部各个组成部件的互连来描述系统的内部组成及其相互之间的关系的一种图形表示模型。根据其描述的抽象层次，原理框图有门级、寄存器级、芯片级、系统级原理框图等几种。图 1.4 是门级、寄存器级、芯片级、系统级原理框图的示例。

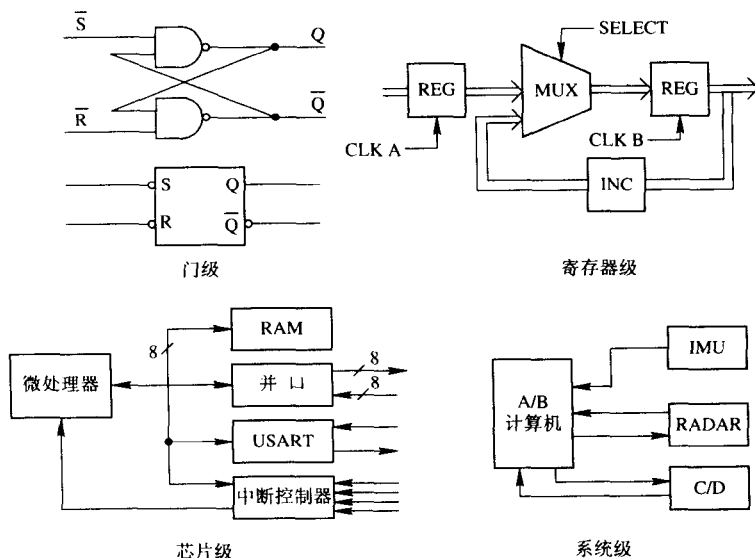


图 1.4 门级、寄存器级、芯片级、系统级原理框图



2. 时序图

时序图用图形的方式来表示一个设计实体的输入信号和输出信号之间的时序关系，它应描述各种输入信号可能出现的各种情形以及对应的输出信号所处的状态。从时序图上，我们可以看出各输入信号的种类，作用的先后，上升或下降沿的有效性，以及输出信号的状态。图 1.5 是一个时序图示例。

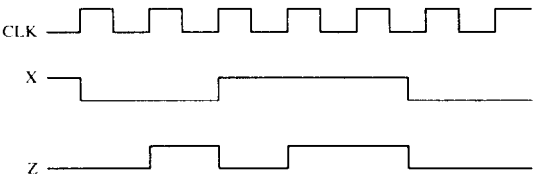


图 1.5 时序图示意图

3. 状态机图

状态机是一类很重要的时序电路，是许多数字电路的核心部件。状态机图是指用图形的方式来表示一个设计实体的各种工作状态、内部各工作状态转换的条件以及各工作状态对应的输出信号序列。图 1.6 是一个状态机图的示例。

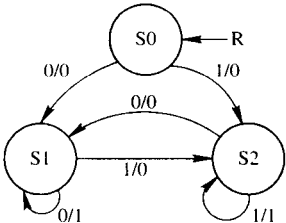


图 1.6 状态机图

4. 状态表、状态赋值表

在状态机的设计中，我们也可以用另外一种方式——状态表、状态赋值表来表示一个设计实体的各种工作状态、内部各工作状态转换的条件以及各工作状态对应的输出信号序列。从状态表、状态赋值表上，我们可以清楚地看出一个设计实体的各种工作状态、内部各工作状态转换的条件以及各工作状态对应的输出信号序列。图 1.7 是一个状态表、状态赋值表的示例。

	×			CODE
	0	1		
S0	S1/0	S2/0	S0	00
S1	S1/1	S2/0	S1	01
S2	S1/0	S2/1	S2	11

图 1.7 状态表(左)、状态赋值表(右)

5. 流程图

算法流程图是描述数字系统逻辑功能的最普通、最常用的工具之一。它由工作块、判别块、条件块以及指向线组成，与软件设计中所用的流程图极为相似。工作块的符号是一个矩型块，块内用简要的文字说明应进行的一个或一组操作或/和相应的输出信号。判别块的