



高等院校光机电一体化系列教材

EDA 技术

实用教程

主 编 李 洋

副主编 张晓燕 田小平

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等院校光机电一体化系列教材

EDA 技术实用教程

主 编 李 洋

副主编 张晓燕 田小平



机械工业出版社

本书以掌握国内外最流行的电子设计自动化(EDA)技术为教学目标,以实例仿真与动手训练为主线,系统地介绍可编程逻辑器件及其应用设计技术。

本书介绍了 EDA 技术各个软件的功能、特点和使用方法,用一些简单的实例使读者能快速掌握各种 EDA 技术软件的使用方法,重点培养学生的电路分析、设计和应用开发能力。主要内容包括可编程逻辑器件、各种 EDA 工具软件操作指南、印制电路板的设计、硬件描述语言、仿真应用实例和综合设计实例。

本书为 EDA 设计的入门教材,可供高等院校的机电工程、信息类和电类各专业的本科生使用。鉴于本书的实用性和应用性突出,还可以作为高职、高专 EDA 的教材,也可作为广大工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

EDA 技术实用教程/李洋主编. —北京:机械工业出版社,
2004.7

(高等院校光机电一体化系列教材)

ISBN 7-111-14625-5

I. E... II. 李... 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 054237 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:何月秋

封面设计:张静 责任印制:洪汉军

三河市宏达印刷有限公司印刷·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 1/16·16.5 印张·395 千字

定价:25.00 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

“高等院校光机电一体化系列教材”编委会名单

主 任	蒋力培				
副 主 任	宋天虎	吴祁耀	宋威廉	房晓明	
委 员	焦向东	刘 录	林小竹	韩占生	俞建荣
	吴 波	刘 娜	戴 波	陈家庆	李卫清
本书主编	李 洋				
副 主 编	张晓燕	田小平			
参 编	姜 华	许昌英			
主 审	蒋 挺	李 宁			

编者的话

随着电子技术和计算机的发展,各类电子产品的智能化日益完善,电路的集成度越来越高,而产品的更新换代周期却越来越短,以致使人感到,自己的产品还没来得及投放市场,就面临着被淘汰的命运,其主要原因就是电子设计自动化(EDA)工程技术的应用。因为EDA技术不仅是电子产品开发研制的动力源和加速器,而且也是现代电子产品设计的核心。谁能充分地掌握和利用EDA技术,谁就能最快地开发出最好的产品。

EDA技术使得电子电路的设计人员能在计算机上完成电路的功能设计、逻辑设计、性能分析、时序测试直至印制电路板的自动设计。EDA技术是在计算机辅助设计(CAD)技术的基础上发展起来的计算机设计软件系统。与早期CAD软件相比,EDA软件的自动化程度高、功能更完善、运行速度更快,而且操作界面友善,有良好的数据开放性和互换性,即使不同厂家的EDA软件也可以互相兼容,所以EDA技术已被世界上各大公司、企业和科研单位广泛使用。

本书共分7章,第1章主要是EDA技术概述和数字系统的基本设计方法;第2章是大规模可编程逻辑器件的选择和使用;第3章介绍了各种EDA工具软件的功能、特点和使用方法;第4章是VHDL硬件描述语言,具有多层次描述系统硬件的功能;第5章是仿真应用实例,其中包括在电路、模拟电子、数字电子及通信技术中的应用;第6章是综合设计实例,主要列举了常用工程问题的实例;第七章是EDA技术实验。

由于本书使用的EDA软件是从国外引进的,软件中的图形和文字符号和我国的国家标准部分内容有所不同,在书中正文我们采用了原版软件的图形及文字符号,为了读者使用方便,我们把本书中所用到的和我国国家标准不同的符号列于附录。

本书由李洋担任主编,张晓燕和田小平任副主编,蒋挺和李宁担任主审。本书第3章的3.4节及第5章的5.4节、第6章及第七章的7.6节由田小平编写;第5章的5.1、5.2、5.3节和第7章的7.3、7.4节由张晓燕编写;姜华编写了第3章的3.3节,并协助编写了第1章1.3节的部分内容;许昌英编写了第7章的7.1、7.2节;第1章、第2章、第3章的3.1、3.2节及第4章和第7章的7.5节由李洋编写。蒋力培教授对本书提出了不少宝贵的建议,在此表示感谢。

本书为EDA设计的入门教材,可供高等院校机电工程、信息类和电类各专业的本科生使用。鉴于本书的实用性和应用性突出,还可以作为高职、高专EDA的教材,也可作为广大工程技术人员的参考书。

限于编者的水平与经验,加上时间仓促,错误和不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

前 言

光机电一体化技术和产业是以光电子技术为先导，以先进制造技术为基础，融合微电子、计算机、机械自动化和信息管理等有关技术形成的综合性高新技术，是当今信息业和制造业的最佳结合点和发展方向。光机电一体化技术的运用主要包括在设计和加工制造中的运用。光机电一体化技术在设计中的运用也就是光机电一体化设计，它要求设计者不仅要熟悉光学系统、机械结构、传感学、信息处理和控制等方面的知识，而且要熟悉计算机的硬件接口和软件设计方面的知识。光机电一体化技术在加工制造中的运用主要包括各种激光加工技术、先进制造技术、工业生产过程控制和精密检测技术。

鉴于北京市及全国各地开展光机电一体化人才培养与产学研基地建设的实际需要，我们组织编写了“高等院校光机电一体化系列教材”。本套教材旨在为培养光机电一体化专门人才提供一套实用教程。

本套教材的特色是实用性与先进性。凭借教材编著者在光机电一体化方面的科研实践经验与教学经验，教材各册均力求从解决光机电工程实际问题的角度出发进行选材，改变以往强调大而全的方式。做到内容先进、实用、重点突出。在简要讲述光机电相关学科原理的基础上，突出与现代工程接轨，通过大量应用实例将理论知识与应用技能有机地结合起来讲深讲透，从而便于实际教学，强化学生的实践应用能力。

鉴于成书仓促，不足之处在所难免，恳请同行专家、读者批评指正。

“高等院校光机电一体化系列教材”编委会

目 录

前言

编者的话

第1章 绪论	1	3.3 印制电路板的设计 (Protel 99 SE) ...	57
1.1 EDA 技术的概念	1	3.3.1 Protel 99 SE 简介	57
1.2 EDA 技术的主要内容	2	3.3.2 Protel 99 SE 原理图设计	62
1.3 EDA 技术的应用和展望	4	3.3.3 网络表生成软件	71
1.4 数字系统的设计	5	3.3.4 绘制印制电路板 (PCB 图)	75
第2章 大规模可编程逻辑器件	10	3.4 System View 使用简介	84
2.1 可编程逻辑器件的概述	10	3.4.1 System View 简介	84
2.2 大规模可编程逻辑器件的硬件 结构	12	3.4.2 设计窗口	85
2.2.1 SPLD 的基本结构	12	3.4.3 设计窗口下的库选择操作	93
2.2.2 CPLD 的结构特点	13	3.4.4 系统定时 (System Time)	94
2.2.3 现场可编程门阵列 (FPGA) 的基本结构和配置	13	3.4.5 分析窗口	95
2.2.4 ispLSI 逻辑器件的基本结构	15	3.4.6 例题分析	99
2.3 FPGA 和 CPLD 的开发应用选择	17	第4章 VHDL 硬件描述语言	102
2.3.1 比较和选用 PLD 的方法	17	4.1 概述	102
2.3.2 FPGA 和 CPLD 的性能比较	18	4.2 VHDL 程序的基本 (模型) 结构	103
2.3.3 FPGA 和 CPLD 的开发应用 选择	18	4.2.1 VHDL 程序设计举例	103
2.4 在系统可编程技术	22	4.2.2 USE 定义区	104
第3章 EDA 工具软件操作指南	25	4.2.3 实体 (ENTITY)	104
3.1 虚拟电子工作平台 (EWB)	25	4.2.4 结构体 (ARCHITECTURE BODIES)	105
3.1.1 EWB 的基本界面	25	4.3 VHDL 语言要素	106
3.1.2 EWB 的基本操作	31	4.3.1 标识符 (IDENTIFIERS)	106
3.1.3 EWB 的基本分析方法	37	4.3.2 数据对象 (DATA OBJECTS)	107
3.2 可编程器件的开发工具 (MAX+plusII)	43	4.3.3 数据类型 (DATA TYPES)	108
3.2.1 MAX+plusII 操作指南	43	4.3.4 VHDL 语言的运算操作符	112
3.2.2 应用实例	52	4.4 VHDL 最基本的描述语句	113
		4.4.1 进程语句 (PROCESS STATEMENTS)	114
		4.4.2 顺序描述语句 (SEQUENTIAL)	114

4.4.3 并行(并发)同时语句 (CONCURRENT STATEMENTS)	121	5.3.5 四人表决电路的设计与 EWB 的仿真	184
4.5 VHDL 的其他描述语句	123	5.4 在通信技术中的应用	185
4.5.1 属性描述与定义语句	123	5.4.1 对信号的分析	185
4.5.2 BLOCK(块)语句	125	5.4.2 对系统的分析	189
4.5.3 COMPONENT(元件) 语句	125	5.4.3 对抽样定理的分析	190
4.5.4 GENERATE 语句	127	5.4.4 对滤波器的探讨	193
4.5.5 断言语句(ASSERT STATEMENT)	129	5.4.5 对 PSK 通信方式的分析	195
4.6 基本逻辑电路设计实例	131	第 6 章 综合设计实例	197
4.6.1 组合逻辑设计实例	131	6.1 数字钟系统的设计	197
4.6.2 时序电路设计实例	136	6.2 数字频率计的设计	202
4.6.3 状态机的设计实例	141	6.3 交通信号灯控制的设计	207
第 5 章 仿真应用实例	144	6.4 电子密码锁的设计	211
5.1 在电路分析中的应用	144	6.5 外差式收音机的设计	218
5.1.1 戴维南定理的仿真	144	6.6 高保真扩音器的设计	219
5.1.2 RLC 串联电路时域响应 的研究	146	6.7 抢答器的设计	221
5.1.3 交流电路的功率及功率 因数的求解	149	第 7 章 EDA 技术实验	225
5.2 在模拟电子技术中的应用	152	7.1 EDA 技术实验的基本要求	225
5.2.1 单管放大电路的参数测试 与分析	152	7.1.1 实验目的	225
5.2.2 负反馈放大电路的研究	157	7.1.2 实验方法	225
5.2.3 正弦波振荡电路的分析	162	7.1.3 实验报告及要求	226
5.2.4 反相积分器的仿真	164	7.2 电路的参考实验项目、内容 及要求	227
5.2.5 正相放大和反相放大的 仿真比较	166	7.2.1 直流电路中的功率传递	227
5.2.6 功率放大器特性仿真	168	7.2.2 串联电路的谐振	228
5.3 在数字电子技术中的应用	171	7.2.3 受控源 VCVS、VCCS、 CCVS、CCCS 的仿真 实验	229
5.3.1 555 电路的设计与仿真	171	7.2.4 一阶 RL 电路的动态过程 仿真实验	231
5.3.2 加法器的设计与仿真	177	7.2.5 楞次定律的仿真实验	231
5.3.3 同步十进制计数器的设计 与仿真	179	7.2.6 非正弦波傅里叶分析的仿真 实验	232
5.3.4 译码器电路的设计 与仿真	183	7.3 模拟电子的参考实验项目、内容 及要求	234
		7.3.1 单管共射极放大电路的仿真 实验	234

VIII

7.3.2 电压比较器的仿真实验	235	7.4.6 设计性实验	244
7.3.3 有源低通滤波器电路的仿真实验	236	7.5 大规模可编程器件实验	245
7.3.4 求和电路的仿真实验	237	7.5.1 组合逻辑设计	245
7.3.5 综合性实验——高、低限越限声光报警器的仿真实验	237	7.5.2 设计性实验	245
7.3.6 设计性实验	238	7.5.3 综合性实验——扫描显示电路的驱动	246
7.4 数字电子的参考实验项目、内容及要求	239	7.5.4 综合实验——数字钟	248
7.4.1 数字逻辑电路关系测试的仿真实验	239	7.6 通信电路的参考实验项目、内容及要求	250
7.4.2 编码器的仿真实验	240	7.6.1 BPSK—BER 综合性实验	250
7.4.3 数据选择器的仿真实验	241	7.6.2 二进制差分相移键控 DPSK	250
7.4.4 移位寄存器的仿真实验	242	7.6.3 四相绝对移相键控 QPSK 设计性实验	252
7.4.5 异步二进制计数器的仿真实验	243	附录	253
		参考文献	254

随着电子技术和计算机技术的发展,电子产品的设计、测试及制造等各个环节,都已经与计算机系统紧密相连。在现代电子产品的性能不断提高、集成度和精密度不断增加的同时,产品更新换代的周期越来越短,这就要求电子产品的设计、制造及测试等各个阶段,都要提高效率,降低成本。

我们首先讨论 EDA 技术的概念及范畴,接着介绍 EDA 技术的主要内容,EDA 技术的应用及发展趋势,最后是数字系统设计的基本方法。

1.1 EDA 技术的概念

EDA (Electronic Design Automation —— 电子设计自动化) 技术是在电子电路 CAD (Computer Aided Design —— 计算机辅助设计) 技术基础上发展起来的计算机软件系统,是指以计算机为工作平台,融合应用电子技术、计算机、信息处理及智能化技术的最新成果进行电子产品的自动设计。

电子系统的设计,根据计算机辅助技术介入的程度,一般可以分为三类:第一类是人工设计方法,从方案的提出到验证和修改均由人工完成,其验证需要搭建实际电路来实现。此方法花费大、效率低、制造周期长,而且目前的很多产品实际上无法由人工完成。例如 ASIC (Application Specific Integrated Circuit —— 应用专用集成电路) 设计和多层 PCB (Printed Circuit Board —— 印制电路板) 设计。第二类是借助于计算机来完成数据处理,模拟仿真和设计验证等部分工作,这称之为计算机辅助设计阶段。20 世纪 70 年代以来,人们开始使用计算机进行 IC (Integrated Circuit —— 集成电路) 版图设计和 PCB 布局布线,后来发展成为可以进行电路功能设计和结构设计,并增加了原理图输入、逻辑仿真、电路性能分析和自动布局布线等功能。应该说 CAD 技术已经取得了巨大成功。在这期间出现了许多相关的名称及应用领域,如 CAM (Computer Aided Manufacturing —— 计算机辅助制造)、CAT (Computer Aided Test —— 计算机辅助测试)、CAE (Computer Aided Education/Engineering —— 计算机辅助教学/工程) 等。由于各种软件千差万别,功能比较单一并互不兼容,自动化和智能化程度还不高,并没有完全把人从繁琐的设计工作中解放出来。直到 20 世纪 90 年代才进入 EDA 电子设计自动化阶段,电子产品设计的整个过程或大部分工作由计算机完成,它是 CAD 技术发展的必然产物。

利用 EDA 工具,电子设计工程师可以从概念、算法和协议等开始设计电子系统,大量工作可以通过计算机来完成,并可以将电子产品从电路设计、性能分析到设计出 IC 版图或 PCB 版图的整个过程均在计算机上自动处理完成。

1.2 EDA 技术的主要内容

EDA 技术涉及面广,内容丰富,从教学和实用的角度看,主要有如下五个方面的内容:① 大规模可编程逻辑器件;② 硬件描述语言;③ 软件开发工具;④ 实验开发系统;⑤ 印制电路板设计。其中,大规模可编程逻辑器件是利用 EDA 技术进行电子系统设计的载体,硬件描述语言是利用 EDA 技术进行电子系统设计的主要表达手段,软件开发工具是利用 EDA 技术进行电子系统设计智能化的自动化设计工具,实验开发系统则是利用 EDA 技术进行电子系统设计下载及硬件验证的工具。利用 PCB 软件不仅能打印一份精美的原理图,而且能自动生成网络表文件,可支持印制电路的自动布线及电路仿真模拟。下面对 EDA 技术的主要内容进行概要的介绍。

1. 大规模可编程逻辑器件

可编程逻辑器件 (Programmable Logic Device) 简称 PLD,是一种供用户编程以实现某种逻辑功能的新型器件。FPGA (Field Programmable Gate Array) 和 CPLD (Complex Programmable Logic Device) 分别是现场可编程门阵列和复杂可编程逻辑器件的简称。现在, FPGA 和 CPLD 器件的应用十分广泛,它们将随着 EDA 技术的发展而在电子设计领域中扮演重要角色。国际上生产 FPGA 和 CPLD 的主流公司,并在其国内占有较大市场份额的主要是 Xilinx、Altera、Lattice 三家。Xilinx 公司的 FPGA 器件有 XC2000、XC3000、XC4000、XC4000E、XC4000XLA、XC5200 系列等,可用门数为 1200~18000; Altera 公司的 CPLD 器件有 FLEX6000、FLEX8000、FLEX10K、FLEX10KE、FLEX3K30、FLEX3K50 系列等,提供门数为 5000~500000; Lattice 公司的 ISP-PLD 器件有 ispLSI-1000、ispLSI-2000、ispLSI-3000、ispLSI-6000 系列等,集成度可多达 25000 个 PLD 等效门。

FPGA 在结构上主要分为三个部分,即可编程逻辑单元、可编程输入/输出单元和可编程连线。CPLD 在结构上也主要包括三个部分,即可编程逻辑宏单元、可编程输入/输出单元和可编程内部连线。

高集成度、高速度和高可靠性是 FPGA/CPLD 最明显的特点,其时钟延时可小至 ns 级,结合其并行工作方式,在超高速应用领域和实时测控方面有着非常广阔的应用前景。FPGA/CPLD 的高可靠性还表现在几乎可将整个系统下载到同一芯片中,实现所谓片上系统,从而大大缩小了体积,易于管理和屏蔽。

由于 FPGA/CPLD 的集成规模非常大,可利用先进的 EDA 工具进行电子系统设计和产品开发。由于开发工具的通用性、设计语言的标准化以及设计过程几乎与所用器件结构没有关系,因而设计开发软件有很好的兼容性和可移植性。它几乎可以用于任何型号和规模的 FPGA/CPLD 中,从而使得设计产品效率大幅度提高,可以在很短的时间内完成十分复杂的系统设计,这正是产品快速进入市场最宝贵的特征。美国 IT 公司认为,一个 ASIC 其 80% 的功能可用 IP 核 (Core) 逻辑合成。而未来大系统的 FPGA/CPLD 设计仅仅是各类再应用与 IP 核的拼装,其设计周期将更短。

与 ASIC 设计相比, FPGA/CPLD 显著的优势是开发周期短、投资风险小、产品上市速度快、市场适应能力强和硬件升级回旋余地大,能迅速实现 ASIC 投产。

对于一个开发项目,究竟是选择 FPGA 还是 CPLD 呢?主要看开发项目本身的需要。对

于普通规模，且产量不是很大的产品项目，通常选用 CPLD 比较好。对于大规模的逻辑设计，如 ASIC 设计或单片系统设计，则多选用 FPGA。另外，FPGA 掉电后会丢失原有的逻辑信息，所以在实用中需要为 FPGA 芯片配置一个专用 ROM。

2. 硬件描述语言 (Hardware Describe Language —— HDL)

常用的硬件描述语言有 VHDL、Verilog、ABEL。

(1) VHDL 作为 IEEE 工业标准的硬件描述语言，在电子工程领域，已成为事实上的通用硬件描述语言。

(2) Verilog 支持的 EDA 工具较多，适用于 RTL 级和门电路级的描述，其综合过程较 VHDL 稍简单，但其在高级描述方面不如 VHDL。

(3) ABEL 一种支持各种不同输入方式的 HDL，被广泛用于各种可编程逻辑器件的逻辑功能设计，由于其语言描述的独立性，因而适用于各种不同规模的可编程器件的设计。

比较三者，有专家认为，在新世纪中，VHDL 与 Verilog 语言将承担几乎全部的数字系统设计任务。

3. 软件开发工具

EDA 技术研究的对象是电子设计的全过程，有系统级、电路级和物理级三个层次的设计。EDA 工具不仅面向 ASIC 的应用与开发，还涉及电子设计各个方面，包括数字电路设计、模拟电路设计、数模混合设计、系统设计和仿真验证等电子设计的许多领域。这些工具对环境要求高，一般运行平台要求是工作站和 UNIX 操作系统，功能齐全、性能优良，一般由专门开发 EDA 软件工具的软件公司提供。

目前比较流行的主流厂家的 EDA 软件工具有 Altera 的 MAX+plus II、Lattice 的 ispExpert 和 Xilinx 的 Foundation Series。

(1) MAX+plus II 支持原理图、VHDL 和 Verilog 语言文本文件，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。在适配方面，MAX+plus II 生成供时序仿真用的 EDIF、VHDL 和 Verilog 三种不同格式的网表文件，它界面友好，使用便捷，被誉为业内最易学易用的 EDA 软件，并支持主流的第三方 EDA 工具。例如，支持除 APEX20K 系列之外的所有 Altera 公司的 FPGA/CPLD 大规模逻辑器件。

(2) ispExpert ispExpert System 是 ispExpert 的主要集成开发环境。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 System 是目前流行的 EDA 软件中最容易掌握的设计工具之一，它界面友好，操作方便，功能强大，并与第三方 EDA 工具兼容良好。

(3) Foundation Series Foundation Series 是 Xilinx 公司最新推出的 EDA 集成开发工具。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。

4. 实验开发系统

提供芯片下载电路及 EDA 实验/开发的外围资源（类似于用单片机开发的仿真器），提供硬件验证用。一般包括：① 实验或开发所需的各类基本信号发生模块，包括时钟、脉冲和高低电平等；② FPGA/CPLD 输出信息显示模块，包括数码显示、发光管显示和声响

指示等；③ 监控程序模块，提供“电路重构软配置”；④ 目标芯片适配座以及上面的 FPGA/CPLD 目标芯片和编程下载电路。

5. 印制电路板设计

印制电路板设计是电子设计的一个重要部分，也是电子设备的重要组装部件。它的两个基本作用是进行机械固定和完成电气连接。

印制电路板制造技术起步于 20 世纪 40 年代中期，当时电子业处于电子管时代，所用的印制电路板大多为单面板。20 世纪 60 年代晶体管的广泛使用和集成电路的出现，促使双面印制电路板普及，并开始出现多层印制电路板和能够扭曲伸缩的挠性印制电路板。20 世纪 70 年代后，由于大规模和超大规模集成电路的发展，电子设备越来越小型化和微型化，表面贴装技术迅速发展，极大地提高了元器件的安装密度和系统的可靠性，并有利于生产自动化。

早期的印制电路板设计均由人工完成，一般由电路设计人员提供草图，由专业绘图员绘制黑白相图，再进行后期制作。人工设计是一件十分费事、费力且容易出差错的工作。随着计算机技术的飞速发展，新型器件和集成电路的应用越来越广泛，电路也越来越复杂、越来越精密，使得原来可用手工完成的操作越来越多地依赖于计算机完成。因此，计算机辅助电路设计成为设计制作电路板的必然趋势。

目前已有许多 CAD 软件来辅助我们进行设计，其中最常用的是美国 Accel Technology 公司的 Protel，直至最近推出 Protel-2000。

计算机辅助设计印制电路板大致分为两个阶段进行，即原理图的设计和印制电路板设计。

目前从事 EDA 实验开发系统研究的院校有清华大学、北京理工大学、复旦大学、西安电子科技大学、东南大学、杭州电子工业学院和北京石油化学工学院等。

1.3 EDA 技术的应用和展望

EDA 在教学、科研、产品设计与制造等多方面都发挥着巨大的作用。

在教学方面，几乎所有理工科（特别是电子信息）类的高校都开设了 EDA 课程。目的是让学生了解 EDA 的基本概念和基本原理、掌握 VHDL 语言编写规范、掌握逻辑综合的理论和算法及使用 EDA 工具进行电子电路的实验，并从事简单系统的设计。一般学习电路仿真工具（EWB、Multisim）和 PLD 开发工具（如 Altera/Xilinx 的器件结构和开发系统），可为今后的工作打下基础。

在科研方面，主要利用电路仿真工具（Electronics Work Bench —— EWB）进行电路设计与仿真、利用虚拟仪器进行产品测试、将 CPLD/FPGA 器件实际应用到仪器设备中、从事 PCB 设计和 ASIC 设计等。

在产品设计与制造方面，包括前期的计算机仿真、产品开发中的 EDA 应用工具、系统级模拟及测试环境的仿真、生产流水线的 EDA 技术应用、产品测试等各个环节。如 PCB 的制作、电子设备的研制与生产、电路板的焊接、ASIC 的流片过程等。

从应用领域来看，已经渗透到各行各业。如上文所说，包括机械、电子、通信、航空航天、化工、矿产、生物、医学、军事等各个领域，都有 EDA 技术的应用。另外，EDA

软件的功能日益强大,原来功能比较单一的软件,现在增加了很多新用途。如 AutoCAD 软件可用于机械及建筑设计,还扩展到建筑装潢及各类效果图、汽车和飞机、电影特技等模型。

从目前的 EDA 技术来看,其发展趋势是政府重视、使用普遍、应用广泛、工具多样、软件功能强大。

中国的 EDA 市场已渐趋成熟,不过大部分设计工程师面对的是 PC 主板和小型 ASIC 领域,仅有小部分(约 11%)的设计人员开发复杂的片上系统器件。为了与中国台湾和美国的设计工程师形成更有力的竞争,中国的设计软件有必要购入一些最新的 EDA 技术。

在信息通信领域,要优先发展高速宽带信息网、深亚微米集成电路、新型元器件、计算机及软件技术、第三代移动通信技术、信息家电技术,大力发展系统集成和信息服务、信息管理、信息安全技术,积极开拓以数字、网络技术为基础的新一代信息产品,发展新兴产业,培育新的经济增长点。要大力推进制造业信息化,积极开展计算机辅助设计、计算机辅助工程、计算机辅助工艺、计算机辅助制造(CAM)、产品数据管理(PDM)、制造资源计划(MRP II)及企业资源管理(ERP)等,有条件的企业可开展“网络制造”,便于合作设计、合作制造、参与国内国际竞争。开展“数控化”工程和“数字化”工程。自动化仪表的技术发展趋势是测试技术与计算机技术、通信技术进一步融合,形成测量、控制、通信和计算机(M3C)结构;在 ASIC 和 CPLD 设计方面,也向超高速、高密度、低功耗、低电压方向发展。

外围设备技术与 EDA 工程相结合的市场前景也被看好,如组合超大屏幕的相关连接,多屏幕技术也有所发展。

中国自 1995 年以来加速开发半导体产业,先后建立了几所设计中心,推动了系列设计活动以应对亚太地区其他 EDA 市场的竞争。

在 EDA 软件开发方面,目前主要集中在美国。但各国也在努力开发相应的工具。日本、韩国都有 ASIC 设计工具,但不对外开放。中国华大集成电路设计中心也提供 IC 设计软件,但性能不是很强。据最新的统计显示,中国和印度正成为电子设计自动化领域中发展最快的两个市场,年复合增长率分别达到了 50%和 30%。

EDA 技术发展迅猛,完全可以用日新月异来描述。EDA 技术的应用广泛,现在已涉及到各行各业。EDA 水平不断提高,设计工具趋于完美。EDA 市场日趋成熟,但我国的研发水平尚很有限,需迎头赶上。

1.4 数字系统的设计

1. 数字系统的基本概念

所谓数字系统,是指交互式的以离散形式表示的具有存储、传输、处理信息能力的逻辑电子系统的集合物。一台数字计算机就是一个最完整的数字系统。

数字系统的核心问题仍是逻辑设计问题。因为逻辑设计是实现子系统和整个系统的结构和功能的过程。

图 1-1 是数字系统的基本结构模型，它由输入部件、输出部件及逻辑系统组成。逻辑系统包括存储部件、处理部件、控制部件三大子系统。如果按控制与被控制的关系来分，存储部件和处理部件是执行部件，它们在控制部件的命令下进行相应的动作。

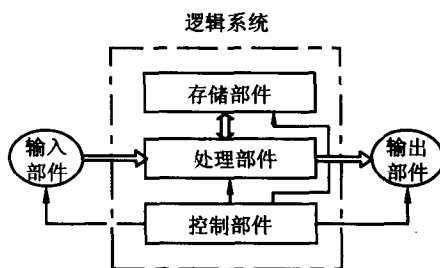


图 1-1 数字系统的基本结构模型

存储部件和处理部件之间通过传输线相互连接。传输信息、处理信息、存储信息都要花费时间。当信息被传送到处理部件且被处理时，存储部件则保存并源源不断地供给信息，而计算的结果又被送回到存储部件。在数字系统中，这种活动是周期性的。存储部件获得信息；然后将该信息传送到处理部件进行加工处理；加工处理后的信息又被传送到存储部件；接着又开始另一个周期。

数字系统既然是交互式的，就必须从外部环境接收信息，并将处理的结果信息供给外部环境。这种功能由人机接口设备即输入部件和输出部件来实现。在简单情况下，输入部件可看作是二进制代码开关，而输出部件可看作显示计算结果的发光二极管或显示器。

数字系统既然是交互式的，就必须从外部环境接收信息，并将处理的结果信息供给外部环境。这种功能由人机接口设备即输入部件和输出部件来实现。在简单情况下，输入部件可看作是二进制代码开关，而输出部件可看作显示计算结果的发光二极管或显示器。

2. 数字系统的设计步骤

数字系统的设计，由于设计一开始要仔细分析总体设计任务，所以是一个由顶向下的设计过程。其设计步骤如下：

1) 对设计任务进行分析，将所设计的系统合理地划分为若干个子系统，使其分别完成较小的任务。

2) 设计系统控制器，以控制和协调各子系统的工作。

3) 对各子系统功能部件进行逻辑设计。

4) 对复杂的数字系统，需要对各子系统的连接关系及数据流的传送方式进行设计。

例 1 设计一个 8 位二进制无符号数并行累加运算系统，使之能连续完成两数相加并存放累加和的要求。

对这样一个简单的数字系统，需要如下子系统：

1) 一个 8 位的加法器，用来完成二数相加的操作。

2) 两个 8 位寄存器（A 和 D），分别存放加数和被加数。

3) 一个 8 位寄存器（B），存放求和结果。

4) 一个 1 位的寄存器（C），用来存放进位信号并指示是否溢出。

5) 一个控制器，用来协调和控制各个子系统的工作。

此外，各子系统间还需要设置数据线，以保证数据能正确地输入和输出。控制器和被控子系统之间还需要设置控制线或反馈线。这样，初步设计的子系统框图如图 1-2 所示。

按照初步设计的子系统框图，可用如下控

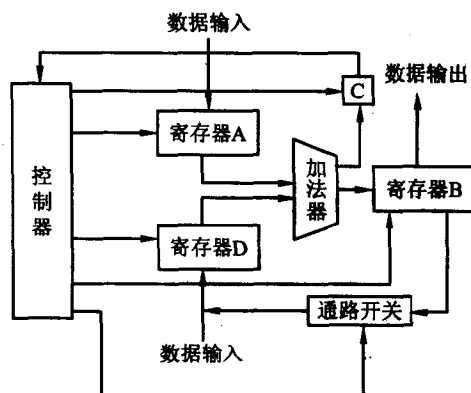


图 1-2 子系统框图

制算法（控制步骤）：

- 1) 各寄存器清零；
- 2) 取加数，放入 A 寄存器；
- 3) 取被加数，放入 D 寄存器；
- 4) 将相加结果放入 B 寄存器，进位信号放 C 寄存器。

3. 数字系统的描述

(1) 框图 人们习惯于采用模型来表述数字系统。模型可以用数字和图形等手段来描述，框图是常用且重要的描述手段。

在框图中，构成系统的每一部分（子系统或模块）用一矩形框来表示，在矩形框内用文字、表达式和符号来表述该部分（子系统或模块）的名称及主要功能。框与框之间采用带有箭头的直线相连，用来表示各子系统或模块之间数据流或控制流的信息通路，箭头指示了信息的传输方向，连线旁的文字或符号可以是信息通路的名称、功能或信息的类型。图上的一条连线可以表示实际电路间一条或多条连线。如图 1-1 所示就是数字系统框图。

采用框图定义和描述数字系统的结构时，必须根据系统本身蕴涵的层次结构特性自顶向下、逐步细化，如图 1-1 所示的框图中，每一单元通常是十分复杂的，有待于进一步细化，以便使框图最终揭示系统的详细结构。

框图清晰地给出了系统的总体结构，成为进一步详细设计的依据。由于它并不涉及过多的技术细节，因而通俗易懂，可以作为设计人员和用户之间通信的手段和协商的基础。

(2) 算法状态机图 算法状态机图又称 ASM (Algorithmic State Machine) 流程图。它将控制器的控制过程用图形语言方式表达出来，类似于描述软件程序的流程图。ASM 流程图能和实现它的硬件很好地对应起来，显示了软件工程与硬件工程在理论上的相似性和可转换性。ASM 流程图是设计控制器的重要工具。

ASM 流程图的基本图形有：

1) 状态框。状态框是一个具有进口和出口的矩形框，代表系统的一个状态。状态经历的时间用状态时间表示，同步系统中至少有一个同步时钟周期。状态名称写在框外左上方，状态编号写在框外右上方，操作内容写在矩形框内，如图 1-3 所示。

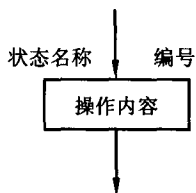


图 1-3 状态框

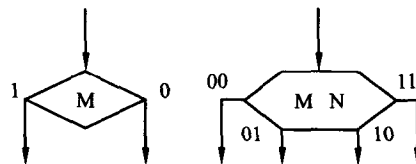


图 1-4 条件判断框

3) 条件输出框。条件输出框用平行四边形来表示。它的入口必须来自某一分支，当某些条件满足时，给出指定的输出，输出的操作内容写在框内。注意，条件输出框不是控制器的一个状态，它经历的时间依附于状态框，如图 1-5 所示。

4) 状态单元。状态单元是由上述三种图形组合形成的,即由一个状态框和若干条件判断框或条件输出框组成,如图 1-6 所示。状态单元的入口必须是状态框的入口,出口可以有几个,但必须指向状态框。



图 1-5 条件输出框

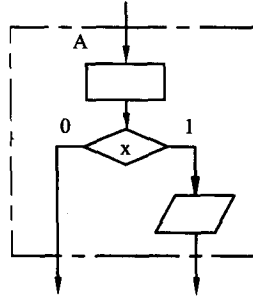
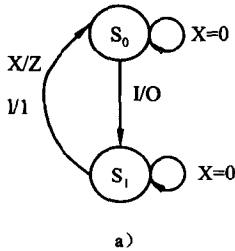
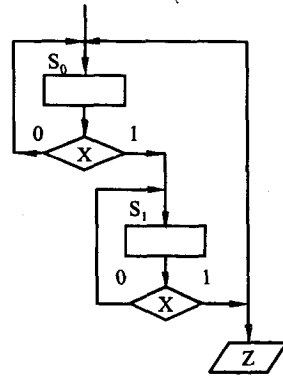


图 1-6 状态单元

例 2 将如图 1-7a 所示的二状态时序机的状态图转化成 ASM 流程图。



a)



b)

图 1-7 例 2 图

a) 二状态时序机的状态图 b) 二状态时序机的 ASM 流程图

二状态机有 S_0 、 S_1 两个状态。当状态处于 S_0 时,如果检测条件满足 $X = 0$,则仍维持在 S_0 状态;如果满足 $X = 1$,则由 S_0 状态转向 S_1 状态;当状态处于 S_1 时,如果检测条件满足 $X = 0$,则仍维持在 S_1 状态;如果满足 $X = 1$,则由 S_1 状态转向 S_0 状态,并有 $Z = 1$ 的输出。对应的 ASM 流程图如图 1-7b 所示。

例 3 将如图 1-8a 所示的米里机状态图转化成 ASM 流程图。

解 这是一个三状态时序机,有 S_1 、 S_2 、 S_3 三个状态。输入参数为 X ,输出参数为 Z 。

在状态 S_1 : 当检测条件满足 $X = 0$ 时,状态仍维持在 S_1 状态,输出 $Z = 0$;当 $X = 1$ 时,状态由 S_1 转向 S_2 ,输出 $Z = 0$ 。

在状态 S_2 : 当 $X = 0$ 时,状态由 S_2 转移到 S_1 ,输出 $Z = 0$;当 $X = 1$ 时,状态由 S_2 转移到 S_3 ,输出 $Z = 0$ 。

在状态 S_3 : 当 $X = 1$ 时,状态仍维持在 S_3 状态,输出 $Z = 0$;当 $X = 0$ 时,状态由 S_3 转移到 S_1 ,并输出 $Z = 1$ 。对应 ASM 流程图如图 1-8b 所示。