

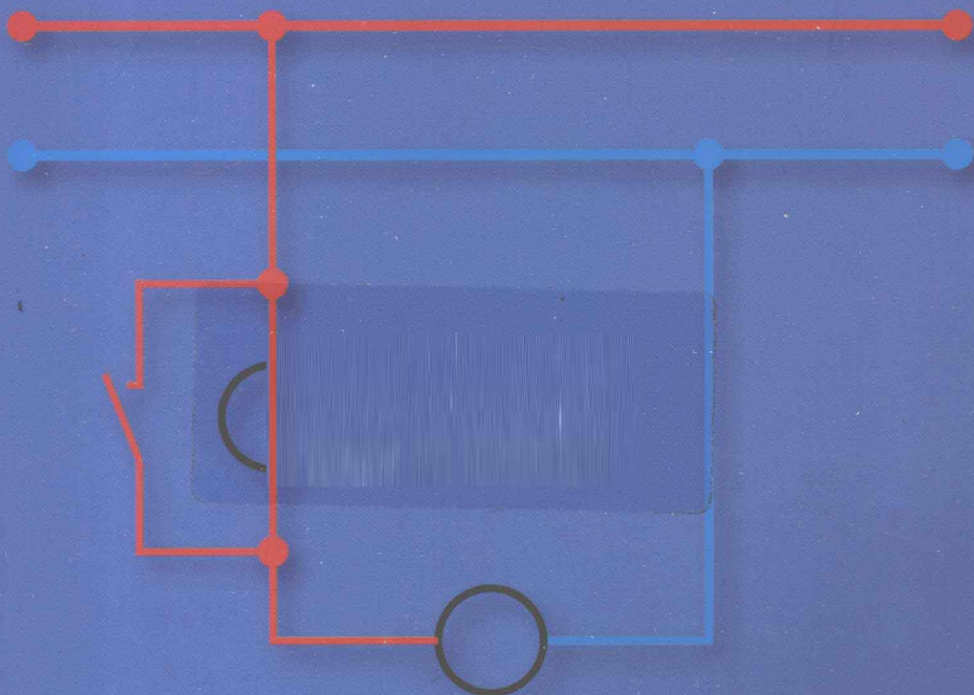


高等学校电子电路实验系列规划教材

现代数字电路与逻辑设计 实验教程

XIANDAI SHUZI DIANLU YU LUOJI
SHEJI SHIYAN JIAOCHENG

袁东明 史晓东 陈凌霄 编 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

现代数字电路与逻辑设计 实验教程

袁东明 史晓东 陈凌霄 编著

北京邮电大学出版社
· 北京 ·

内 容 简 介

本书主要介绍数字电路及逻辑设计实验的相关内容。包括数字实验基础知识、数字逻辑器件等,重点介绍数字可编程器件、EDA 工具、VHDL 硬件描述语言和数字综合系统设计。本书还将介绍几种数字实验装置,并配有丰富的实验内容,包括数字电路基本实验、EDA 基础实验和数字系统综合实验。

本书既介绍了数字电路的基本元件、基本实验方法和实验技巧,又介绍了可编程器件(PLD)、硬件描述语言(VHDL)及 EDA 工具和技术,把新技术、新器件及时引入教学实践环节,体现现代数字系统的设计方法。实验内容循序渐进,能引导、启发学生的主动性和创新性。

本书可以作为大学本科和专科院校通信、电子工程类各专业的实验教材,也可供相关领域的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代数字电路与逻辑设计实验教程/袁东明,史晓东,陈凌霄编著. --北京:北京邮电大学出版社,2011.3
ISBN 978-7-5635-2604-8

I. ①现… II. ①袁…②史…③陈… III. ①数字电路—逻辑设计—实验—高等学校—教材 IV. ①TN79-33
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 040684 号

书 名: 现代数字电路与逻辑设计实验教程
作 者: 袁东明 史晓东 陈凌霄
责任编辑: 赵玉山 时友芬
出版发行: 北京邮电大学出版社
社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)
发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578
E-mail: publish@bupt.edu.cn
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京忠信诚胶印厂
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张: 15
字 数: 373 千字
印 数: 1—3 000 册
版 次: 2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-2604-8

定 价: 28.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

作为电子信息类专业的重要技术基础课程,“数字电路与逻辑设计”是一门实践性很强的课程。与此相对应的“数字电路与逻辑设计实验”课程在学生学习和掌握相关技术和知识的过程中起到至关重要的作用。所以,在“数字电路与逻辑设计实验”课程中合理设置相关知识点和实验内容,既注重基础知识和基本技能的学习,又不断引入新技术、新器件,紧跟电子技术的发展,能够充分利用有限的学时,使学习者产生学习兴趣,较好地掌握相关基本原理以及基础知识和方法;并能够实际接触并掌握本学科的最新技术,为今后的学习和工作打下良好的基础。

基于以上认识,本书在内容安排上有以下特点。

1. 层次化教学体系

本书构建了层次化实验教学体系,精心设计了一系列典型、实用、层次分明、覆盖面广的实验项目,可以满足不同专业、不同兴趣的学生学习的需要。以扎实的理论知识 and 良好的基本实验技能为基础,以 EDA 软件和可编程器件为工具,以硬件描述语言为主导,实验教学分级分层、循序渐进,使学生在课程结束时具备数字系统的设计能力。

2. 注重规范性

对任何知识的掌握程度都取决于对其认识的程度,同样正确深入认识课程本身和其中的各个知识点是学好这门课程的前提,学习的过程就是各种规范掌握的过程。为此,书中介绍了学习“数字电路与逻辑设计实验”课程时,一个完整的实验过程是怎样的,使学习者了解学习这门课程规范的流程和方法,为进一步学习打下基础。

本书在介绍 VHDL 语言时,通过各种例子强调作为一种高级语言,VHDL 可能与其他高级编程语言如 C++ 等貌似相同的外在特征,但是作为硬件描述语言,VHDL 与 C++ 有着完全不同的使用规范和使用场合,所以初学者必须严格按照其规范进行使用,这样才能透彻理解并掌握它。

3. 完整性与独立性相结合

全书在尽量压缩篇幅的情况下力求内容的完整性,使学习者通过本课程的学习,既能了解和掌握中小规模集成逻辑电路使用方法,还能学习和掌握运用 EDA 手段,使用可编程逻辑器件进行数字系统的设计和实现。同时,各部分的内容又具有相对独立性,读者可以根据情况有针对性地选用一章或几章,这样有利于学时的安排和不同专业和学制选用。

感谢北京邮电大学电子工程学院电路中心的教师们,他们在长期的实验实践教学中积累了丰富的经验和素材,为本书的出版打下良好的基础,在此表示衷心的感谢!

希望本书能对广大读者有所帮助。另外由于作者学识有限,有些问题难免挂一漏万,期待读者批评指正。

编 者

2010 年 8 月 1 日

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 数字集成电路	1
1.1.1 数字集成电路发展	1
1.1.2 逻辑器件的选择和使用	2
1.2 EDA 技术及其发展趋势	4
1.2.1 EDA 技术	4
1.2.2 EDA 技术的优势	4
1.2.3 EDA 工具	5
1.3 数字可编程器件及其发展	6
1.3.1 数字可编程器件概述	6
1.3.2 可编程器件的发展趋势	7
1.4 实验的基本过程	8
1.4.1 实验预习	8
1.4.2 实验过程	8
1.4.3 实验报告	9
第 2 章 VHDL 语言介绍	10
2.1 什么是 VHDL	10
2.2 VHDL 文字规则	11
2.3 VHDL 设计实例	11
2.4 VHDL 的基本结构	13
2.4.1 实体(Entity)	13
2.4.2 结构体(Architecture)	15
2.4.3 配置(Configuartion)	16
2.4.4 子程序	17
2.4.5 库和程序包	18
2.5 VHDL 语言的数据类型和运算操作符	21
2.5.1 VHDL 语言的对象	21
2.5.2 VHDL 语言的数据类型	23
2.5.3 VHDL 语言的运算操作符	25
2.6 VHDL 语言的主要描述语句	26



2.6.1 并行语句	26
2.6.2 顺序(sequential)语句	29
第3章 VHDL 设计实例	35
3.1 用 VHDL 语言描述组合逻辑电路	35
3.1.1 简单门电路	35
3.1.2 编码器	39
3.1.3 译码器	42
3.1.4 数据选择器	44
3.1.5 比较器	46
3.1.6 加法器	46
3.2 用 VHDL 语言描述时序逻辑电路	50
3.2.1 触发器	50
3.2.2 寄存器和移位寄存器	52
3.2.3 计数器	63
3.2.4 分频器	67
3.2.5 序列信号发生器	69
3.3 用 VHDL 语言实现状态机设计	71
3.3.1 一般有限状态机的设计	72
3.3.2 有限状态机设计例程	76
3.4 VHDL 编程注意事项	89
3.4.1 VHDL 代码书写规范与建议	89
3.4.2 VHDL 编码常见问题	89
第4章 数字系统设计	94
4.1 数字系统概述	94
4.2 数字系统设计方法	95
4.3 数字系统设计的描述方法	100
4.4 数字系统设计举例	103
4.5 数字系统的安装与调测	107
4.5.1 用标准数字芯片实现数字系统时的安装与调测	107
4.5.2 用 PLD 专用集成芯片实现数字系统时的安装与调测	110
4.6 系统优化	111
4.6.1 面积优化	111
4.6.2 速度优化	114
第5章 EDA 设计流程及软件使用	119
5.1 EDA 设计流程	119
5.1.1 设计输入	119



5.1.2 综合	120
5.1.3 适配	121
5.1.4 仿真	121
5.1.5 下载	122
5.1.6 硬件测试	122
5.2 Quartus II 使用指南	122
5.2.1 创建工程	122
5.2.2 原理图设计输入	126
5.2.3 VHDL 设计输入	138
5.2.4 引脚锁定	141
5.2.5 下载	141
5.3 Synplify 使用简介	144
5.3.1 基本概念	144
5.3.2 Synplify 使用	145
5.4 Modelsim 使用简介	148
5.4.1 测试用例	148
5.4.2 仿真过程	149
第 6 章 基本单元电路实验	154
实验 1 集成门电路电压参数的测量	154
实验 2 组合逻辑电路冒险的研究与消除	158
实验 3 译码器及其应用	160
实验 4 7 段 LED 数码管显示实验	162
实验 5 数据选择器及其应用	165
实验 6 触发器及其应用	168
实验 7 中规模计数器的应用	173
实验 8 移位寄存器及其应用	174
第 7 章 EDA 基础实验	176
实验 1 QuartusII 原理图输入法设计	176
实验 2 VHDL 组合逻辑电路设计(一)	177
实验 3 VHDL 组合逻辑电路设计(二)	177
实验 4 VHDL 组合逻辑电路设计(三)	178
实验 5 VHDL 组合逻辑电路设计(四)	178
实验 6 VHDL 组合逻辑电路设计(五)	179
实验 7 触发器的设计	179
实验 8 VHDL 时序逻辑电路设计(一)	180
实验 9 VHDL 时序逻辑电路设计(二)	180
实验 10 VHDL 时序逻辑电路设计(三)	181



实验 11	VHDL 时序逻辑电路设计(四)	181
实验 12	数码管扫描显示控制器设计与实现	182
实验 13	序列信号发生器的设计与实现	183
实验 14	序列信号检测器的设计与实现	184
实验 15	发光二极管走马灯电路设计与实现	184
实验 16	自动售货机设计与实现	185
第 8 章	数字系统综合实验	186
实验 1	数字钟	186
实验 2	数字秒表	187
实验 3	交通灯控制器	189
实验 4	点阵显示控制器	190
实验 5	拔河游戏机	192
实验 6	经典数学游戏	193
实验 7	简易乒乓游戏机	194
实验 8	简易俄罗斯方块游戏机	195
实验 9	简易贪食蛇游戏机	197
实验 10	洗衣机控制器	198
实验 11	简易乐曲播放器	199
实验 12	简易数字频率计	200
实验 13	简易函数发生器	202
实验 14	VGA 图像显示控制器	203
实验 15	PS/2 键盘接口控制器设计	204
实验 16	数字温湿度计	207
实验 17	基于 I ² C 总线传输的数字温度计	209
实验 18	RS232 串口通信控制器	211
附录 1	数字实验装置	213
附 1.1	EPM7128 数字逻辑实验开发板	213
附 1.2	MAX II 数字逻辑实验开发板	220
附 1.3	数字电路与逻辑设计基础实验板	225
附录 2	常用芯片引脚图	229



第1章 概述

1.1 数字集成电路

1.1.1 数字集成电路发展

采用一定的工艺,将一个电路中所需的晶体管、电阻、电容等元器件及连线互连在一起,制作在一小块或几小块半导体晶片或介质基片上,然后封装在一个管壳内,成为具有所需电路功能的微型结构,这种微型结构称为集成电路(Integrated Circuit),简称 IC。在集成电路中,所有元器件在结构上已经形成一个整体,所以,即使与最紧凑的分立元件电路相比,集成电路的体积和重量都要小数个数量级,而且引出线和焊接点的数目也大为减少,可靠性也得到很大提高。集成电路技术使电子电路向着微小型化、低功耗和高可靠性方面迈进了一大步。

集成电路具有体积小、重量轻、引出线和焊接点少、寿命长、可靠性高、性能好等优点,同时成本低,便于大规模生产。它不仅在工业民用电子设备中得到广泛的应用,同时在军事、通信、遥控等方面也应用广泛。用集成电路来装配电子设备,其装配密度比晶体管可提高几十倍至几千倍,设备的稳定工作时间也可大大提高。随着集成电路和微电子技术的发展,出现完整的大规模集成系统,能实现多种功能,集成电路的优势更为显著。

集成电路技术的发展史上,重要的事件有:

1947 年:贝尔实验室 W. Shockley 等人发明了晶体管,这是微电子技术发展中第一个里程碑;

1950 年:结型晶体管诞生;

1951 年:场效应晶体管发明;

1959 年:仙童公司 Robert. Noyce 与德州仪器公司 J. kilby 间隔数月分别发明了集成电路,这又是一个里程碑式的发明,从此开创了世界微电子技术的新历史;

1962 年:包含 12 个晶体管的小规模集成电路(SSI: Small-Scale Integration)问世;

1963 年:F. M. Wanlass 和 C. T. Sah 首次提出互补型金属氧化物半导体(CMOS)技术,今天 95% 以上的集成电路芯片都基于 CMOS 工艺;

1964 年:R. Moore 提出摩尔定律,预测晶体管集成度将会每 18 个月增加 1 倍;



1966年:集成度为100~1000个晶体管的中规模集成电路(MSI: Medium-Scale Integration)问世;

1971年: Intel 推出1kB动态随机存储器(DRAM), 标志着集成度为1000~100 000个晶体管的大规模集成电路(LSI: Large-Scale Integration)出现;

1977年: 在30平方毫米的硅晶片上集成15万个晶体管的超大规模集成电路(VLSI: Very Large-Scale Integration)研制成功, 这标志着电子技术从此真正迈入了微电子时代;

1993年: 随着集成了1000万个晶体管的16MB FLASH和256MB DRAM的研制成功, 电子技术进入了特大规模集成电路(ULSI: Ultra Large-Scale Integration)时代;

1994年: 由于集成1亿个元件的1G DRAM的研制成功, 进入巨大规模集成电路(GSI: Giga Scale Integration)时代;

1999年: Intel 推出奔腾Ⅲ, 主频450MHz, 采用0.25 μ m工艺, 后采用0.18 μ m工艺;

2003年: Intel 推出奔腾4 E系列, 采用90nm工艺;

2005年: Intel 推出酷睿2系列, 采用65nm工艺;

2009年: Intel 推出酷睿i系列, 创纪录采用了领先的32 nm工艺, 并且下一代22 nm工艺正在研发。

1.1.2 逻辑器件的选择和使用

1. 逻辑器件的选择

在实际应用中, 应根据实际需要结合市场供应情况来选择所需电路的型号, 在选择的过程中还要兼顾集成电路的性价比。

首先根据总体方案确定选用集成电路的功能, 然后进一步考虑其具体性能, 再根据市场的供应和价格情况决定选用器件的具体型号, 所以应熟悉逻辑器件的品种类型以及典型产品的型号和性价比。前面已经介绍过, 同一功能的逻辑器件, 可能既有TTL产品, 又有CMOS产品, 还有ECL产品, 而TTL产品中又分为中速、高速、甚高速、低功耗和肖特基低功耗5种, CMOS逻辑器件也有普通型和高速型两种不同产品, 如何进行选择呢? 一般应从所需实现的数字系统对逻辑器件的工作频率、功耗、抗干扰能力、使用可靠性以及成本等方面考虑。

ECL器件的速度很高, 工作频率 $f \geq 700$ MHz, 但功耗大、抗干扰能力弱, 一般仅在工作频率很高的情况下才被采用。CMOS器件功耗低、抗干扰能力强、集成度高, 但速度比较低, 在要求功耗低但速度要求不高的情况下, 可选用CMOS器件, CMOS除了功耗低以外, 驱动同类逻辑电路的能力也比较强, 随着技术的发展, 速度更快的新型CMOS电路也不断出现。而TTL器件中, 综合速度、功耗、可靠性以及性价比等因素, LSTTL系列器件在频率和功耗的要求不是很高的情况下使用最为普遍。

另外, 根据数字系统的复杂程度, 还应合理选用SSI、MSI及LSI, 使PCB的设计制作简便, 并使调测、排除故障以及检修更加简便易行。但选择板内驱动器件, 不能盲目追求大驱动能力和高速的器件, 选择能够满足设计要求, 同时有一定的余量的器件即可, 这样可以减少信号过冲、改善信号质量。在设计时还必须考虑信号的匹配。

2. 逻辑器件的使用注意事项

逻辑器件因其功能及结构的特点, 如果使用不当极易损坏, 因此使用前必须了解相关的



方法和注意事项,下面介绍逻辑器件最常见的 CMOS 集成电路和 TTL 集成电路在使用中应注意的事项。

(1) CMOS 集成电路使用注意事项

CMOS 集成电路由于其结构上的特点,具有很高输入阻抗和很小的输入电容,因此当不太强的静电加在栅极上时,就可以产生很强的电场,这样极易造成栅极击穿,导致集成电路永久性损坏,因此防止静电对保护 CMOS 集成电路是很重要的,所以在使用 CMOS 集成电路时应注意:

① 尽量不要用手接触 CMOS 电路的引脚,人体能感应出几十伏的交流电压,衣服的摩擦也会产生上千伏的静电,这种程度的静电足以损坏 CMOS 集成电路。

② CMOS 集成电路中的 V_{DD} 表示漏极电源电压,一般接电源的正极。 V_{SS} 表示源极电源电压,一般接电源的负极或接地。电源极性不得接反,否则将会导致 CMOS 集成电路损坏。

③ 输入信号 V_i 必须满足 $V_{SS} \leq V_i \leq V_{DD}$,所有不使用的输入端不得悬空,应按电路逻辑功能要求接电源或接地。

④ CMOS 集成电路必须先接通电源 V_{SS} 和 V_{DD} ,再接入输入信号 V_i ,不允许在尚未接通电源的情况下将输入信号加到电路的输入端;断开时应先去掉输入信号 V_i ,再断掉电源。

⑤ CMOS 集成电路各输出端之间不允许短路,输出端也不允许与电源或地相连接。

⑥ 更换或移动集成电路时应先切断电源,否则电流的冲击会对电路造成永久损坏。

⑦ 使用的仪器及工具应良好接地。

⑧ 接线时,外围元件应尽量靠近所连引脚,引线应尽量短,避免使用平行的长引线,以防引入较大的分布电容形成振荡。若输入端有长引线和大电容,应在靠近 CMOS 集成电路输入端接入一个 $10\text{ k}\Omega$ 的限流电阻。

⑨ 焊接时宜使用 20 W 内热式电烙铁,电烙铁外壳应接地。为安全起见,也可先拔下电烙铁插头,利用电烙铁余热进行焊接。焊接的时间不要超过 5 s 。

⑩ 长期不使用的 CMOS 集成电路,应用锡纸将全部引脚短路后包装存放,使用时再拆除包装。

(2) TTL 集成电路使用注意事项

① TTL 集成电路典型电源电压 V_{cc} 为 $+5\text{ V}$,74 系列允许范围为 $4.75 \sim 5.25\text{ V}$ 。54 系列允许范围为 $4.5 \sim 5.5\text{ V}$,使用时不得超出,否则会损坏集成电路。

② 输入信号不得高于 V_{cc} ,也不得低于地(GND)电位。

③ TTL 集成电路输入端悬空时等效于接逻辑“1”,但在时序逻辑电路或数字系统中,不用的输入端悬空容易接收干扰,破坏电路的功能,所以不用的输入端应根据电路逻辑功能要求接电源或接地。

④ TTL 集成电路各输出端之间不允许短路(三态门和 OC 门除外)。

⑤ TTL 集成电路输出端不允许与电源或地相连接。

⑥ 更换或移动集成电路时应先切断电源,否则电流的冲击会对电路造成永久损坏。



1.2 EDA 技术及其发展趋势

1.2.1 EDA 技术

EDA 是电子设计自动化的英文 Electronic Design Automation 的缩写,是在 20 世纪 90 年代初从计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助测试(CAT)和计算机辅助工程(CAE)的概念发展而来的。EDA 技术就是以计算机为工具,设计者在 EDA 软件平台上,用硬件描述语言(HDL)完成设计文件,然后由计算机自动地完成逻辑编译、化简、分割、综合、优化、布局、布线和仿真,直至对于特定目标芯片的适配编译、逻辑映射和编程下载等工作。EDA 技术的出现,极大地提高了电路设计的效率,减轻了设计者的劳动强度。20 世纪 90 年代,国际上电子和计算机技术较先进的国家,一直在积极探索新的电子电路设计方法,并在设计方法、工具等方面进行了彻底的变革,取得了巨大成功。在电子技术设计领域,可编程逻辑器件(如 CPLD、FPGA)的应用,已得到广泛的普及,这些器件可以通过软件编程而对其硬件结构和工作方式进行重构,从而使得硬件的设计可以如同软件设计那样方便快捷。这一切极大地改变了传统的数字系统设计方法、设计过程和设计观念,促进了 EDA 技术的迅速发展。

利用 EDA 工具,电子设计师可以从概念、算法、协议等开始设计电子系统,大量工作可以通过计算机完成,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 版图的整个过程在计算机上自动处理完成。

现在对 EDA 的概念或范畴用得宽,在机械、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 的应用。EDA 在教学、科研、产品设计与制造等各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。主要是让学生了解 EDA 的基本概念和基本原理、掌握用 HDL 语言编写规范、掌握逻辑综合的理论和算法、使用 EDA 工具进行电子电路课程的实验并从事简单系统的设计。一般学习电路仿真工具(如 EWB、PSPICE)和 PLD 开发工具(如 Altera 或 Xilinx 公司的开发系统),为今后的工作打下基础。

科研方面主要利用电路仿真工具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 工具应用、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。

1.2.2 EDA 技术的优势

1. 手工设计方法

传统的数字电子系统或 IC 设计中,手工设计占了较大的比例。手工设计一般先按电子系统的具体功能要求进行功能划分,然后对每个子模块写出其真值表,用卡诺图进行简化,



写出布尔表达式,画出相应的逻辑线路图,再据此元器件,设计电路板,最后进行实测与调试。手工设计方法的缺点是:

- (1) 复杂电路的设计、调试十分困难;
- (2) 由于无法进行硬件系统仿真,如果某一过程存在错误,查找和修改十分不便;
- (3) 设计过程中产生大量文档,不易管理;
- (4) 对于集成电路设计而言,设计实现过程与具体生产工艺直接相关,因此可移植性差;
- (5) 只有在设计出样机或生产出芯片后才能进行实测。

2. EDA 技术

与手工设计相比,EDA 技术有很大不同:

(1) 用 HDL 对数字系统进行抽象的行为与功能描述以及具体的内部线路结构描述,从而可以在电子设计的各个阶段、各个层次进行计算机模拟验证,保证设计过程的正确性,可以大大降低设计成本,缩短设计周期。

(2) EDA 技术之所以能完成各种自动设计过程,关键是有各类库的支持。

(3) 某些 HDL 也是文档型的语言(如 VHDL),极大简化了设计文档的管理。

(4) EDA 技术中最为瞩目的功能,即最具现代电子技术特征的功能是日益强大的逻辑设计仿真测试技术。EDA 仿真测试技术只需通过计算机,就能对所设计的电子系统从各个不同层次的系统性能特点完成一系列准确的测试与仿真操作,在完成实际系统的安装后,还能对系统上的目标器件进行所谓边界扫描测试。这一切都极大地提高了大规模系统电子设计的自动化程度。

(5) 设计者拥有完全的自主知识产权。用 HDL 完成的设计在实现目标方面有很大的可选性,既可以用各种通用的 CPLD/FPGA 实现,也可以直接以 ASIC 来实现,设计者拥有完全的自主权。

(6) 开发技术标准化、规范化,具有良好的可移植与可测试性。EDA 技术的设计语言是标准化的,不会由于设计对象的不同而改变;它的开发工具是规范化的,EDA 软件平台支持任何标准化的设计语言;它的设计成果是通用的,IP 核具有规范的接口协议。

(7) 从电子设计方法学来看,EDA 技术最大的优势就是能将所有设计环节纳入一个统一的自顶向下的设计方案中。

(8) EDA 不但在整个设计流程上充分利用计算机的自动设计能力,在各个设计层次上利用计算机完成不同内容的仿真模拟,而且在系统板设计结束后仍可利用计算机对硬件系统进行完整的测试。

1.2.3 EDA 工具

面对当今飞速发展的电子产品市场,电子设计人员需要更加实用、快捷的开发工具,使用统一的集成化设计环境,改变优先考虑具体物理实现方式的传统设计思路,将精力集中到设计构思、方案比较和寻找优化设计等方面,以最快的速度开发出性能优良、质量一流的电子产品。开发工具的发展趋势如下。

1. 具有混合信号处理能力

由于数字电路和模拟电路的不同特性,模拟集成电路 EDA 工具的发展远远落后于数



字电路 EDA 开发工具。但是,由于物理量本身多以模拟形式存在,实现高性能复杂电子系统的设计必然离不开模拟信号。20 世纪 90 年代以来,EDA 工具厂商都比较重视数模混合信号设计工具的开发。美国 Cadence、Synopsys 等公司开发的 EDA 工具已经具有了数模混合设计能力,这些 EDA 开发工具能完成包括模数变换、数字信号处理、专用集成电路宏单元、数模变换和各种压控振荡器在内的混合系统设计。

2. 高效的仿真工具

在整个电子系统设计过程中,仿真是花费时间最多的工作,也是占用 EAD 工具时间最多的一个环节,可以将电子系统设计的仿真过程分为两个阶段,即设计前期的系统级仿真和设计过程中的电路级仿真。系统级仿真主要验证系统的功能,如验证设计的有效性等;电路级仿真主要验证系统的性能,决定怎样实现设计,如测试设计的精度、处理和保证设计要求等。要提高仿真的效率,一方面是要建立合理的仿真算法;另一方面,是要更好地解决系统级仿真中,系统模型的建模和电路级仿真中电路模型的建模技术。在未来的 EDA 技术中,仿真工具将有较大的发展空间。

3. 理想的逻辑综合、优化工具

逻辑综合功能是将高层次系统行为设计自动翻译成门级逻辑的电路描述,做到了实际与工艺的独立。优化则是对于上述综合生成的电路网表,根据逻辑方程功能等效的原则,用更小、更快的综合结果替代一些复杂的逻辑电路单元,根据指定目标库映射成新的网表。随着电子系统的集成规模越来越大,几乎不可能直接面向电路图做设计,要将设计者的精力从繁琐的逻辑图设计和分析中转移到设计前期算法的开发上。逻辑综合、优化工具就是要将设计者的算法完整高效地生成电路网表。

1.3 数字可编程器件及其发展

1.3.1 数字可编程器件概述

逻辑器件从功能上可以划分成通用型器件和专用型器件。常用的 74 系列等逻辑器件就属于通用型数字集成电路。为了完成一些特定的功能,在一片集成电路芯片里面集成了大量的通用逻辑电路,这样的芯片称为专用型数字集成电路(Application Specific Intergrated Circuit, ASIC)。

可编程逻辑器件(Programmable Logic Device, PLD)是一种通用器件,但是它不同于 74 系列芯片,没有固定的逻辑功能。可编程逻辑器件的逻辑功能是由使用者对器件进行编程来设定的。

由于可编程器件具有可自定义的逻辑功能,芯片集成度高,保密性好等特点,在最近 20 年有了飞速的发展,在一些需要复杂、高速逻辑控制的电路上得到了广泛的应用。可以预计,在今后的数字电路设计中将大量采用可编程器件,传统的通用逻辑器件将只起粘合逻辑(Glue Logic)的作用,用于接口及电平的转换。

目前,可编程器件有十几家生产 CPLD/FPGA 的公司,最大的两家是 Altera 和 Xilinx,根据 iSuppli 的数据,2005 年 Xilinx 和 Altera 合起来在 PLD 市场占 83.4% 的份额。

- Altera: 90年代以后发展很快,是最大可编程逻辑器件供应商之一。主要产品有MAX, MAX II, Cyclone, Cyclone II, Stratix, Stratix II等。开发软件为Quartus II。
- Xilinx: FPGA的发明者,是老牌FPGA公司,它是最大可编程逻辑器件供应商之一。产品种类较全,主要有XC9500, Coolrunner, Spartan, Virtex等。开发软件为ISE。

1.3.2 可编程器件的发展趋势

可编程逻辑器件已经成为当今世界上最富吸引力的半导体器件,在现代电子系统设计中扮演着越来越重要的角色。过去的几年里,可编程器件市场的增长主要来自大容量的可编程逻辑器件CPLD和FPGA,其未来的发展趋势如下:

1. 向高密度、高速度、宽频带方向发展

在电子系统的发展过程中,工程师的系统设计理念要受到其能够选择的电子器件的限制,而器件的发展又促进了设计方法的更新。随着电子系统复杂度的提高,高密度、高速度和宽频带的可编程逻辑产品已经成为主流器件,其规模也不断扩大,从最初的几百门到现在的上百万门,有些已具备了片上系统集成能力。这些高密度、大容量的可编程逻辑器件的出现,给现代电子系统(复杂系统)的设计与实现带来了巨大的帮助。设计方法和设计效率的飞跃,带来了器件的巨大需求,这种需求又促使器件生产工艺的不断进步,而每次工艺的改进,可编程逻辑器件的规模都将有很大的扩展。

2. 向在系统可编程方向发展

在系统可编程是指程序(或算法)在置入用户系统后仍具有改变其内部功能的能力。采用在系统可编程技术,可以像对待软件那样通过编程来配置系统内硬件的功能,从而在电子系统中引入了“软硬件”的全新概念。它不仅使电子系统的设计和产品性能的改进和扩充变得十分简便,还使新一代电子系统具有极强的灵活性和适应性,为许多复杂信号的处理和信息加工的实现提供了新的思路和方法。

3. 向可预测延时方向发展

当前的数字系统中,由于数据处理量的激增,要求其具有大的数据吞吐量,加之多媒体技术的迅速发展,要求能够对图像进行实时处理,这就要求有高速的硬件系统。为了保证高速系统的稳定性,可编程逻辑器件的延时可预测性是十分重要的。用户在进行系统重构的同时,担心的是延时特性会不会因为重新布线而改变,延时特性的改变将会导致重构系统的不可靠,这对高速的数字系统而言将是非常可怕的。因此,为了适应未来复杂高速电子系统的要求,可编程逻辑器件的高速可预测延时是非常必要的。

4. 向混合可编程技术方向发展

可编程逻辑器件为电子产品的开发带来了极大的方便,它的广泛应用使得电子系统的构成和设计方法均发生了很大的变化。但是,有关可编程器件的研究和开发工作多数都集中在数字逻辑电路上,直到1999年11月,Lattice公司推出了在系统可编程模拟电路,为EDA技术的应用开拓了更广阔的前景。其允许设计者使用开发软件在计算机中设计、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至芯片中。已有多家公司开展了这方面的研究,并且推出了各自的模拟与数字混合型的可编程器件,相信在未来几年



里,模拟电路及数模混合电路可编程技术将得到更大的发展。

5. 向低电压、低功耗方向发展

集成技术的飞速发展,工艺水平的不断提高,节能潮流在全世界的兴起,也为半导体工业提出了要向降低工作电压、降低功耗的方向发展的要求。

1.4 实验的基本过程

实验的基本过程应包括明确实验内容;选定最佳的实验方法和实验线路;拟出较好的实验步骤;合理选择仪器设备和元器件;进行设计和调试;最后写出完整的实验报告。

在进行现代数字电路设计实验时,熟练地使用设计工具,理解硬件的一些基本特性,可以收到事半功倍的效果,对于完成每一个实验,都应做好实验预习,实验记录和实验报告等环节。

1.4.1 实验预习

认真预习是做好实验的关键,预习好坏,不仅关系到实验能否顺利进行,而且会直接影响实验效果。在每次实验前首先要认真复习有关实验的基本原理,掌握有关器件的使用方法,对如何着手实验做到心中有数,通过预习还应做好实验前的准备,写出一份预习报告,其内容包括:实验目的、实验设备、实验任务及要求、设计思想、实验电路或编写程序。



注意:未完成预习报告不能进行实验。



提示:

(1) 电路图很重要,它能够指导你快速、正确地完成实验。有了电路图,就可以很方便地进行连线、测试以及查错。同时在现在的数字系统设计里面,随着大规模可编程芯片的使用,电路图上的元件数量越来越少,也使得电路图的设计更简单了。

(2) 实验室的资源有限,一定要充分利用好在实验室做实验的时间。事先设计好电路,可以使你在实验室里有更多时间用于熟悉仪表的使用以及与教师进行交流。带着问题到实验室来,才能在实验课上学到更多的知识。

1.4.2 实验过程

实验过程中应积极思考、认真操作、如实记录实验结果。实验记录是实验过程中获得的第一手资料,测试过程中所测试的数据和波形必须和理论基本一致,所以记录必须清楚、合理、正确,若不正确,则要现场及时重复测试,找出原因。实验记录应包括以下内容:

- (1) 实验任务、名称及内容。
- (2) 实验数据和波形以及实验中出现的现象,从记录中应能初步判断实验的正确性。
- (3) 记录波形时,应注意输入、输出波形的时间相位关系,在坐标中上下对齐。
- (4) 实验中实际使用的仪器型号和编号以及元器件的使用情况。



注意:

- (1) 严禁带电连线,以免损坏实验设备。
- (2) 严禁互相复制实验文件。

(3) 在实验结束后,关闭仪器仪表电源,将实验台收拾整齐,方可离开实验室。



提示:

实验中做记录是一种良好的习惯。实验是一个探索、发现的过程,记录实验中遇到的问题是一种能力的培养,能提高你的观察能力和思考能力。

1.4.3 实验报告

实验报告是培养科学实验的总结能力和分析思维能力的有效手段,也是一项重要的基本功训练,它能很好地巩固实验成果,加深对基本理论的认识和理解,从而进一步扩大知识面。

实验报告是一份技术总结,要求文字简洁,内容清楚,图表工整。报告内容应包括实验目的、实验内容和结果、实验使用仪器和元器件以及分析讨论等,其中实验内容和结果是报告的主要部分,它应包括实际完成的全部实验,并且要按实验任务逐个书写,每个实验任务应有如下内容:

(1) 实验课题的名称、任务要求、方框图、逻辑图(或测试电路)、状态图,真值表以及文字说明等,对于设计性课题,还应有整个设计过程和关键的设计技巧说明。

(2) 实验记录和经过整理的数据、表格、曲线和波形图,其中表格、曲线和波形图应充分利用专用实验报告简易坐标格,并且用三角板、曲线板等工具描绘,力求画得准确,不得随手示意画出。

(3) 实验结果分析、讨论及结论,对讨论的范围,没有严格要求,一般应对重要的实验现象、结论加以讨论,以使进一步加深理解,此外,对实验中的异常现象,可作一些简要说明,实验中有何收获,可谈一些心得体会。

(4) 前面几点是实验报告的基本内容,针对我们这门课程,实验报告要求有以下几个具体部分:

- ① 实验名称;
- ② 设计任务要求;
- ③ 设计思路和设计框图;
- ④ 电路图或源程序;
- ⑤ 仿真波形图及波形分析;
- ⑥ 实验中所遇到问题的分析及解决方法;
- ⑦ 总结和结论。



注意: 实验报告严禁抄袭。



提示: 实验报告是给别人展示你自己的成果一个途径,在某些情况下这是唯一的途径。所以在写报告时你要了解你的报告的阅读对象,这决定了你的报告的被接受程度。对于本课程的报告来说,你的报告应该能够被其他同学以及老师所理解。对于你的报告里面涉及的在这个领域大家都了解的知识点、关键词可以不用解释,但是对于一些比较生僻、特殊的知识点,你须要详细地解释。