

电工电子实验教学示范中心实验教材系列

数字电路与 EDA实践教程

唐小华 杨恽菲 主 编
张亚婷 刘智芳 弓 楠 编



科学出版社
www.sciencep.com

电工电子实验教学示范中心实验教材系列

数字电路与 EDA 实践教程

唐小华 杨恽菲 主编

张亚婷 刘智芳 弓楠 编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书根据普通高等院校通信电子类专业的教学特色,以《数字电路逻辑设计》(王毓银,2005)基本理论为依据,介绍了数字电路的基本实验技术和实验技巧、现代电子设计自动化(EDA)的硬件(PLD)和软件相关知识,以及基于可编程器件的数字电路开发方法。本书是西安邮电学院规划的电工电子实验教材系列丛书之一。

本书从培养学生实验能力和技巧、激发学生创新精神出发,将与 EDA 技术相关的新技术、新器件引入实践教学环节,内容循序渐进、由浅入深。主要分两部分,上篇包括数字电路实验基础,数字电路实验;下篇包括数字系统设计基础,EDA 技术及可编程逻辑器件,VHDL 硬件描述语言,EDA 软件,EDA 基础实验,EDA 课程设计。

本书可作为普通高等院校通信类、电子电气类、控制类等专业的本科、专科实验教材,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

数字电路与 EDA 实践教程/唐小华,杨怿菲主编. —北京:科学出版社, 2010. 8

(电工电子实验教学示范中心实验教材系列)

ISBN 978-7-03-028800-4

I. ①数… II. ①唐…②杨… III. ①数字电路-电路设计:计算机辅助设计-高等学校-教材②硬件描述语言,VHDL-程序设计-高等学校-教材
IV. ①TN790. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 167269 号

责任编辑:贾瑞娜/责任校对:赵桂芬

责任印制:张克忠/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 8 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010 年 8 月第一次印刷 印张:16 1/2

印数:1—5 000 字数:330 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《数字电路与 EDA 实践教程》编委会

主 编	唐小华	杨恽菲			
	罗朝霞	郑 燕	赫建国	师亚莉	王载阳
	尚建荣	王 利	巩艳华	徐静萍	田 磊
	房向荣	刘立新	田玉良	郭 华	杨 乐
	杨 宏	常淑娟	丁鹏飞	张 琦	高 敏
编 审	张薇薇				
	毛永毅	阴亚芳	刘继红		

前 言

电子技术是高等工科院校电子类、电气类、自控类、计算机类等专业的一个重要基础课程。为了培养高素质的专业技术人才,在理论教学的同时,必须十分重视和加强实践性教学环节,在实践教学中可以培养学生的实验能力、动手能力、独立分析问题和解决问题的能力、创造性思维能力以及理论联系实际的能力。电子技术的实践教学不仅能拓宽学生的知识面,也能系统地对学生的电子电路设计的工程实践训练,为后续的课程设计、电子竞赛、毕业设计等打下良好的基础。

本书为切合西安邮电学院电工电子实验教学部“陕西省省级教学示范中心”的发展,结合教学部课程建设项目——“可编程逻辑实验”的研究成果而编写。内容涵盖数字电路实验的基础知识、数字集成电路测量、数字系统设计、EDA 软件及 PLD 器件知识,另外根据多年教学经验的积累,特别在第 1 章和第 7 章中编写了数字电路的故障分析及排错和实验注意事项。在实验的安排上既考虑到与理论教学保持同步,又注重学生实际工程设计能力的培养,减少了验证性实验,增加了设计性和综合性实验,更多地给学生留下发展个性创新的空间。为了保证实验的良好效果,增加了实验预习部分。在实验题目的设计上,紧扣教学大纲和教学内容,从基础层面、提高层面、综合设计层面三方面出发设计了大量的实验题目。在教材两部分章节里,均有围绕理论教学课程所设计的基础实验、理论课学习完以后的综合性实验及课程设计题目,以提高学生的系统分析和设计能力。另外,设计题目时以“教学示范中心”自主研制的“数字信源状态分析实验箱”和“CPLD 实验电路板”为主,并参考了市面上几种主流的数字电路及 EDA 教学设备,同时也考虑了在面包板上做分立元器件实验的情况,以便使教材适合不同教学条件的学校使用。

全书由唐小华,杨恽菲主编。具体分工如下:唐小华编写了第 4 章、2.2 节及 7.3 节的实验 1~4;杨恽菲编写了第 8 章及 7.3 节的实验 5~12;张亚婷编写了 2.1 节及 7.3 节的实验 12;刘智芳编写了第 3 章、第 6 章及 7.3 节的实验 8、弓楠编写了第 1 章、第 5 章以及 7.1 节、7.2 节。

全书由毛永毅教授主审,西安邮电学院电子工程学院阴亚芳教授和刘继红副教授在百忙之中审阅了全书,西安邮电学院电工电子基础教学部的罗朝霞、郑燕及其他各位老师也对本书提出了许多宝贵的建议,在此谨向他们致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中有不妥之处,敬请读者批评指正。

西安邮电学院电工电子实验教学部
2010 年 7 月

目 录

前言

上篇 数字电路实验

第 1 章 数字电路实验基础	3
1.1 数字电路实验基础知识	3
1.1.1 数字电路实验的特点	3
1.1.2 数字电路实验的基本过程	3
1.1.3 实验预习	3
1.1.4 数字电路实验中的操作规范	4
1.1.5 数字电路实验的布线原则	4
1.1.6 实验数据记录和实验报告要求	5
1.2 集成门电路基础知识	5
1.2.1 概述	5
1.2.2 CMOS 逻辑门	6
1.2.3 TTL 逻辑门	7
1.2.4 逻辑门使用注意事项	9
1.3 数字信号状态分析实验箱简介	9
1.3.1 技术指标及主要功能	10
1.3.2 使用说明	10
1.4 数字电路实验故障分析与查找	11
1.4.1 数字实验电路的测试	11
1.4.2 数字实验的故障查找与排查	12
1.4.3 常用的故障查找方法	13
第 2 章 数字电路实验	14
2.1 数字电路基础实验	14
实验 1 门电路的逻辑功能验证及逻辑变换	14
实验 2 集成逻辑门的参数测试	17
实验 3 组合逻辑电路的设计(编码器和译码器)	24
实验 4 组合逻辑电路的设计(数据选择器和全加器)	31
实验 5 组合逻辑电路的竞争与冒险	35

实验 6	触发器及其应用	38
实验 7	小规模 SSI 计数器及其应用	43
实验 8	计数器及其应用	47
实验 9	移位寄存器及其应用	53
实验 10	555 定时器及其应用	59
实验 11	数模/模数转换器基本应用	65
2.2	数字电路综合实验	71
综合一	交通灯控制系统	71
综合二	多路彩灯的设计	72
综合三	抢答器的设计	73
综合四	数字钟逻辑电路的设计	74
综合五	数字频率计的设计	75

下篇 可编程逻辑设计

第 3 章	数字系统设计基础	79
3.1	数字系统基本结构	79
3.2	现代数字系统描述工具和设计方法	80
3.2.1	数字系统设计的描述工具	80
3.2.2	数字系统设计步骤及方法	85
3.3	设计举例	87
3.3.1	交通灯控制器的设计	87
3.3.2	乘法器设计	89
第 4 章	EDA 技术及可编程逻辑器件	91
4.1	EDA 技术简介	91
4.1.1	概述	91
4.1.2	EDA 技术的基本特征	91
4.1.3	未来 EDA 技术的发展趋势	93
4.2	可编程逻辑器件的分类和特点	93
4.2.1	可编程逻辑器件的分类	93
4.2.2	CPLD 和 FPGA 的结构	94
4.2.3	CPLD 和 FPGA 的特点	99
4.3	下一代可编程逻辑器件设计技术展望	101
4.4	MAX 7000 系列芯片介绍	101
4.4.1	MAX 7000 系列的结构	101
4.4.2	MAX 7000 系列的技术性能、特点及软件工作环境	106

第 5 章	VHDL 硬件描述语言	108
5.1	VHDL 程序结构	108
5.1.1	实体	109
5.1.2	结构体	111
5.1.3	库与包的调用	113
5.1.4	VHDL 与定义数据类型	114
5.1.5	IEEE 预定义标准逻辑位与矢量	115
5.1.6	用户自定义的数据类型	116
5.2	VHDL 语言的描述方法	116
5.2.1	行为描述方法	117
5.2.2	数据流描述方法	118
5.2.3	结构描述方法	119
5.2.4	混合描述方法	120
5.3	VHDL 数据对象	122
5.3.1	信号	122
5.3.2	变量	124
5.3.3	常数	125
5.4	VHDL 运算符	126
5.4.1	算术运算符	126
5.4.2	并置运算符	126
5.4.3	关系运算符	127
5.4.4	逻辑运算符	127
5.5	VHDL 并行语句	128
5.5.1	并行信号赋值语句	128
5.5.2	进程语句	131
5.5.3	块语句	133
5.5.4	生成语句 generate	134
5.6	VHDL 顺序语句	135
5.6.1	赋值语句	135
5.6.2	流程控制语句	136
5.6.3	Null 语句	139
5.7	状态机的 VHDL 设计	139
5.7.1	Moore 型状态机的 VHDL 描述	140
5.7.2	Mealy 型状态机的 VHDL 描述	141

第 6 章 EDA 软件	144
6.1 MAX+plus II 软件简介	144
6.1.1 概述	144
6.1.2 界面介绍	145
6.1.3 设计输入	147
6.1.4 设计编译	154
6.1.5 设计验证	162
6.1.6 器件编程	168
6.1.7 参数型宏器件	171
6.2 其他 EDA 软件简介	172
6.2.1 Quartus II 使用简介	172
6.2.2 ISE 使用简介	175
第 7 章 EDA 基础实验	179
7.1 实验要求	179
7.1.1 概述	179
7.1.2 实验报告的撰写	179
7.2 实验电路板	180
7.2.1 实验电路板简介	180
7.2.2 芯片管脚图	181
7.3 实验课题	182
实验 1 用原理图输入法设计门电路	182
实验 2 用文本输入法设计门电路	184
实验 3 组合逻辑电路设计(一)——编译码器设计	189
实验 4 组合逻辑电路设计(二)——三态门、数选器、逻辑运算器	195
实验 5 显示驱动电路设计	200
实验 6 触发器设计	204
实验 7 移位寄存器设计	209
实验 8 计数器设计	213
实验 9 序列检测器设计	217
实验 10 LPM 模块应用设计	220
实验 11 电子琴电子设计	224
实验 12 移位相加 8 位乘法器电路设计	229
第 8 章 EDA 课程设计	234
课题 1 抢答器设计	234
课题 2 多路彩灯控制器	235

课题 3	数字秒表的设计	236
课题 4	函数发生器	237
课题 5	自动售货机	238
课题 6	出租车计费器	239
课题 7	洗衣机控制器	241
课题 8	电梯控制器	242
课题 9	VGA 图像显示控制器	243
课题 10	PS/2 键盘接口控制器设计	245
参考文献	249

上

篇

数字电路实验

第1章 数字电路实验基础

1.1 数字电路实验基础知识

数字电路逻辑设计是高等工科院校电类各专业重要的基础课,也是实用性、创造性、工程性较强的专业技术基础课。数字电路实验是依据教学、科研的具体要求进行电路设计、安装和调试,是具有较强实践性的一门课程。通过数字电路实验能够使学生巩固所学理论知识,培养实际运用知识的能力,逐步掌握数字电路从基本功能的实现到系统实现的方法,从而有效地培养学生解决实际问题的能力。

1.1.1 数字电路实验的特点

1. 理论性较强

如果没有正确的理论指导,就不可能设计出性能稳定、符合实验要求的电路,就拟定不出正确的实验方案和步骤。所以,要做好数字电路实验,首先要学好数字电路逻辑设计这门理论课程。

2. 工艺性较强

有了较成熟的实验方案,但由于工艺不合理,就不会取得满意的实验结果,可能得不出实验结论,甚至导致实验失败,因此,要认真掌握电子工艺技术。

3. 测试技术要求较高

实验电路类型很多,不同电路的功能或指标不同,采用的测量仪器和方法也不同。所以,要熟练掌握基本电子测量技术和测量仪器的使用。

1.1.2 数字电路实验的基本过程

数字电路实验的基本过程包括:确定实验内容,选定最佳的实验方案和实验线路,拟定实验步骤,选择仪器和元器件,安装调试,总结书写实验报告。

1.1.3 实验预习

实验预习的好坏,直接关系到实验是否能顺利进行,也将直接影响到实验结果。所以,学生做实验前应按照每个实验前的实验预习要求严格进行准备,其中包括:实验的基本原理,仪器的基本使用方法,实验的设计思路及设计原理图,熟悉实验中所用的器件,写出实验的方法和步骤,记录数据的表格和波形坐标。

1.1.4 数字电路实验中的操作规范

正确的操作方法和操作程序,是顺利进行实验的保障。所以,要求在每个操作步骤之前要做到心中有数。要注意的问题如下:

- (1) 直流电压和交流电源电压要满足实验要求。
- (2) 要遵循正确的实验步骤,即先接线后通电,实验结束后先断电再拆线。
- (3) 要确保连接点接触良好和电路布局合理,避免造成短路等故障。
- (4) 要保证通电情况下不插拔器件。
- (5) 要准确完整地记录实验数据并与理论值进行比较、分析。
- (6) 实验结束后,整理实验仪器,清理实验台。

1.1.5 数字电路实验的布线原则

数字电路实验中的布线原则上应直观、合理,以消除或降低其他各种原因引起的干扰。实验当中,学生布线错误的情况很多,布线错误不仅会引起电路的故障,严重的还会造成元器件损坏,所以,合理科学的布线在数字电路实验中十分重要。正确布线的原则包括以下几点:

(1) 向数字逻辑 EDA 实验箱上插集成电路芯片时,应注意缺口方向,一般实验用到的是双列直插式芯片,若缺口朝左的话,引脚序号从左下方的第一个引脚开始,按逆时针方向依次递增至左上方的第一个引脚。

(2) 插集成芯片时先校准芯片两排引脚,使之与实验箱上的插孔对应,轻轻将芯片插上,在确定引脚与插孔完全吻合后,再稍微用力将其插紧,以免造成集成电路芯片的弯曲或接触不良。

(3) 导线的选取:一般选直径为 0.6~0.8mm 的单股导线,对于各种颜色的线学生可自行区分为不同的用途,一般电源线用红色线,地线用黑色线。

(4) 布线要做到有序进行,随意乱接易造成错接、漏接。接线方法很多,较好的方法是先接固定电平,然后接电源和地,再接门电路闲置输入端、触发器、计数器的置位复位端等,最后按输入输出依次布线。

(5) 连线避免过长,避免从集成芯片上方跨越,避免过多的线重叠交错,避免短线连接起来当作长线使用。

(6) 多个集成芯片一起使用时,注意集成元器件的合理布局。布线时,顺便对单个集成元器件进行功能测试。要养成这样一种良好的习惯,这样做不仅不会增加布线工作量,还可以减少排查故障的时间。

(7) 布线和调试工作往往要交替进行,对使用元器件较多的实验,可将总电路分成若干相对独立的部分,逐个布线、调试,然后再将各部分连接起来。

1.1.6 实验数据记录和实验报告要求

实验数据是实验过程中获得的第一手资料,所以实验记录必须清楚、合理、正确,否则必须重复实验,找到原因。对于实验记录表格,学生可以自己设计。

实验报告是培养学生科学实验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结果,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,其中实验内容和结果是报告的主要部分,主要包括:

(1)实验课题的方框图、逻辑图、状态图、真值表及文字说明等,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、表格、曲线及波形图应使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,不得随手示意图。

(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,以便进一步加深理解。此外,对实验中的异常现象,可进行一些简要说明。对实验中的收获,可谈一些心得体会。

1.2 集成门电路基础知识

1.2.1 概述


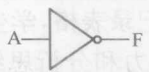
数字电路研究的主要问题是输入输出信号之间状态变化的逻辑关系,即电路的逻辑功能,用逻辑“1”和“0”表示,它们分别代表高、低不同的电压范围,称其为高、低电平。一般有两种逻辑体制:正逻辑和负逻辑。正逻辑体制规定:高电平为逻辑值1,低电平为逻辑值0;负逻辑体制规定:低电平为逻辑值1,高电平为逻辑值0。如无特别说明,我们通常采用正逻辑体制。

基本逻辑门有与门、非门、或门,表示方法如表1.1所示。

表 1.1 与、或、非基本逻辑门表示法

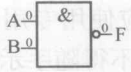
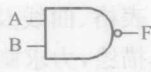
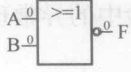
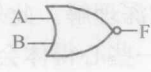
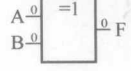

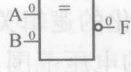

逻辑门	国标符号	国外符号	真值表			运算符	逻辑表达式
			A	B	F		
与门			0	0	0	·	$F=A \cdot B$
			0	1	0		
			1	0	0		
			1	1	1		
或门			0	0	0	+	$F=A+B$
			0	1	1		
			1	0	1		
			1	1	1		

续表

逻辑门	国标符号	国外符号	真值表		运算符	逻辑表达式
			A	F		
非门			0 1	1 0	上横线	$F = \bar{A}$

基本逻辑门可以构成复合逻辑门,其表示法如表 1.2 所示。

表 1.2 复合逻辑门表示法

逻辑门	国标符号	国外符号	真值表			逻辑表达式
			A	B	F	
与非			0 0 1 1	0 1 0 1	1 1 1 0	$F = \overline{AB}$
或非			0 0 1 1	0 1 0 1	1 0 0 0	$F = \overline{A+B}$
异或			0 0 1 1	0 1 0 1	0 1 1 0	$F = \overline{A}B + A\overline{B}$
异或非			0 0 1 1	0 1 0 1	1 0 0 1	$F = \overline{A}B + A\overline{B}$

逻辑门由半导体开关元件构成,将这些开关元件与电阻等集成在一起,就构成了集成逻辑门。由互补金属氧化物半导体(complementary metal oxide semiconductor)材料构成的称 CMOS 逻辑门,由晶体管-晶体管逻辑(transistor-transistor-logic)材料构成的称 TTL 逻辑门。

1.2.2 CMOS 逻辑门

CMOS 集成逻辑门具有工艺简单、集成度高、抗干扰能力强、静态功耗低、工作稳定性好、开关速度高等优点,应用十分广泛。CMOS 逻辑门作为开关元件,其开关需要一定的条件。下面根据非门的电压传输特性曲线,来分析元件的开关条件与逻辑电平的关系,如图 1.1 所示。

从图 1.1 可以看出,在 1.5~3.5V 输入电压范围内,不易确定输出状态,为了保证元件工作的稳定性,制定了如下的电平范围标准:

(1) 输出高电平电压范围为 $V_{CC} - 0.1V \sim V_{CC}$ 。

(2) 输出低电平电压范围为 $0 \sim 0.1V_{CC}$ 。

(3) 输入高电平电压范围为 $0.7V_{CC} \sim V_{CC}$ 。

(4) 输入低电平电压范围为 $0 \sim 0.3V_{CC}$ 。

若 V_{CC} 为 5V, 则 CMOS 非门高低电平范围如表 1.3 所示。

表 1.3 CMOS 器件高低电平范围表(+5V)

输入信号电压范围	输出信号电压范围
0~1.5V(低电平)	4.9~5V(高电平)
3.5~5V(高电平)	0~0.1V(低电平)

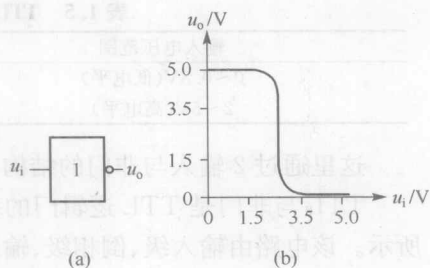


图 1.1 CMOS 非门电压传输特性曲线

这里以最简单的 CMOS 逻辑器件非门为例介绍 CMOS 逻辑门电路的工作原理。电路如图 1.2 所示。

V_{CC} 为电源端, 一般取 5V, 当 u_i 输入电压为 0V 时, NMOS 管 T_2 截止, 但对于 PMOS 管 T_1 , 它的 $U_{GS} = -5V$, 因此 PMOS 管导通, 它的等效电阻非常小, 于是输出电压 u_o 约为 5V, 称为高电平, 正逻辑用 H 或 1 表示。当输入电压 u_i 为 5V 时, NMOS 管 T_2 导通, 但对于 PMOS 管 T_1 , 它的 $U_{GS} = 0V$, 因此 PMOS 管截止, NMOS 管导通, 它的等效电阻非常小, 所以输出电压 u_o 约为 0V, 称为低电平, 负逻辑用 L 或 0 表示。非门的真值表如表 1.4 所示。

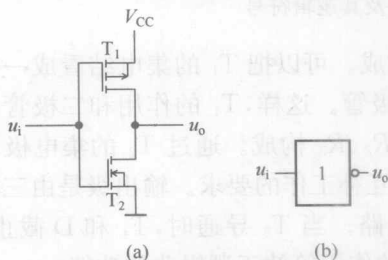


图 1.2 CMOS 非门电路图及其逻辑符号

表 1.4 非门的真值表

u_i	u_o
0	1
1	0

1.2.3 TTL 逻辑门

TTL 集成逻辑门具有抗干扰能力强、带负载能力强、速度快等优点, 也广泛应用于数字电子产品中。TTL 逻辑门作为开关元件, 其开关也需要一定的条件。下面也通过非门的输出电压 u_o 随输入电压 u_i 变化的电压传输特性曲线来分析元件的开关条件与逻辑电平的关系, 如图 1.3 所示。

从图 1.3 可以看出, 在 0.8~2.0V 电压范围内, 不易确定输出状态, 设计者为此也制定了电平范围标准, 在 5V 工作电压下, TTL 器件高低电平范围如表 1.5 所示。

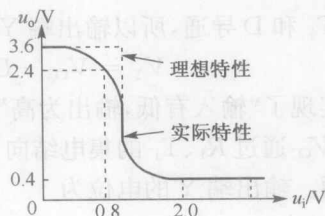


图 1.3 TTL 非门电压传输特性曲线