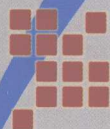




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



21世纪电工电子学课程系列教材

数字电子 技术基础

(电类) (第2版)

主 编 陈明义

副主编 覃爱娜 陈革辉



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

普通高等教育“十一五”国家规划教材
21世纪电工电子学课程系列教材

数字电子技术基础

(电类)

(第2版)

主 编 陈明义

副主编 章爱娜 陈革辉

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/陈明义主编. —长沙:中南大学出版社,
2008.9

(21 世纪电工电子学课程系列教材)

ISBN 978 - 7 - 81105 - 770 - 6

I. 教... II. 陈... III. 数字电路 - 电子技术 - 高等学校 - 教材
IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 149219 号

数字电子技术基础(电类)

(第 2 版)

主编 陈明义

☐责任编辑 肖梓高

☐责任印制 汤庶平

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 中南大学湘雅印刷厂

☐开 本 730 × 960 1/16 ☐印张 27.75 ☐字数 493 千字

☐版 次 2009 年 1 月第 2 版 ☐2009 年 1 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978 - 7 - 81105 - 770 - 4

☐定 价 42.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

21 世纪电工电子学课程系列教材编委会

主 任 陈明义

成员(以姓氏笔划为序):

文援朝 李 飞 刘 辉 陈明义

陈 宁 宋学瑞 罗桂娥 赖旭芝

覃爱娜

总序

我的面前摆放着十多本封面五颜六色的电工电子学系列课程教材,它们是中南大学信息科学与工程学院电子科学与技术系电工电子学系列课程教学团队多年辛勤劳动和教学实践的结晶。

电流所经过的路径叫电路。大学生学习电工电子电路课程的意义犹如行人、游人、司机学习行路知识和人们探求人生之路的真谛一样重要。无论是“电路”、“前进道路”还是“人生道路”,都有一个“路”字。俗话说,“路是人走出来的”。人生之路是探索出来的,行路见识是体验出来的,电路知识是学习得来的。研究发现,人类社会的许多自然现象、科技和人文问题都可用电路的方法来模拟,人类自身的许多活动和智能行为也可用电路的方法通过硬件与软件来模仿。因此,电工电子学系列课程作为技术基础课程对高校人才培养所起的重要作用是不言而喻的。电工电子学的基础知识、基础理论和基本技能正通过教学活动和人的智能活动向各个学科领域扩展和渗透,发挥着越来越大的作用。通过本系列课程学习,学生能够获得关于电工电子学的基本理论、基本知识和基本技能,为后续专业课程的学习和毕业后参加工作打下基础。

现由中南大学出版社出版的这套电工电子学系列教材,是根据电工电子学系列课程教学体系而编写的,其教学目标在于培养学生的创新能力,满足不同专业学生的培养要求和个性化人才培养的需求。该系列教材分为3大类别:第1为基础知识类,第2为扩展知识类,第3为实践技能类。其中,基础知识教材又分为电类、机电类、非电类、文理类4个层次共9个模块;扩展知识类教材主要是电工电子学新知识的扩展与延伸,共有10个模块;实践技能类教材分为实验、实习和课程设计3个模块。

中南大学信息科学与工程学院电子科学与技术系教学人员在全校电工电子学系列课程教学中取得了不俗成绩。2002年电工电子学系列课程获得湖南省优秀课程;2005年电工电子学教学实验中心获省级示范实验中心,2007年电工电子学实习基地被评为省级优秀实习基地。现在3门课程获得校级精品课,1门课程获得省级精品课,3部教材获得“十一五”国家规划教材。他们还获得省级教学成果一等奖2项、二等奖1项、三等奖1项;参加该系列课程学习的6名学生获得全国大学生电子设计竞赛一等奖,12名学生获得全国大学生电子设计

竞赛二等奖,3 名学生获得第二届“博创杯”全国大学生嵌入式设计大赛二等奖,2 名学生获全国大学生“挑战杯”创业大赛金奖。这些成果不仅表明这支电工电子学系列课程教学团队具有很强的实力和很高的水平,而且也从一个侧面反映出该系列课程教学的丰硕成果。

这套电工电子学系列教材的编写精益求精,内容系统全面,取材新颖,反映了本学科及其教材研究和应用的新进展,值得进一步推广使用。我相信,该系列新版教材的问世和使用,将为我国电工电子学科和教材的发展做出更大的贡献。

蔡自兴

中南大学教授、博士生导师

全国高等学校首届国家教学名师

国际导航与运动控制科学院院士

2008 年 6 月 5 日

于长沙岳麓山下

第2版前言

“数字电子技术基础”是工科院校电气电子信息类专业的一门重要的技术基础课,是研究各种数字器件、数字电路、数字系统、模数混合系统的工作原理和分析与设计方法。为适应电子信息科学技术的飞速发展和21世纪对高素质创新人才培养的要求,我们结合多年的教学实践经验,编写了《数字电子技术基础》。该书于2007年被评为普通高等教育“十一五”国家规划教材。本书具有以下特点:

(1)力求少而精,在“精练”上取胜。精选内容,优选讲法,以符合教学基本要求为准。

(2)为了解决内容多与学时紧的矛盾,并突出学生个性培养,在每一章的最后一节提供了部分自学材料。在学时多的情况下,教师也可选讲部分自学材料,真正做到好教好学。

(3)在保证基础内容的前提下,加重中大规模数字集成电路的相关内容。

(4)提出数字系统的组成的概念,对数字系统的模块化扩展、分析与设计方法进行重点、系统的介绍。

(5)教材中引入了超高速硬件描述语言VHDL,在相关章节的自学材料中给出有关基本数字功能器件及数字系统的VHDL语言描述,便于学生循序渐进地自学。

本书共有10章。第1章为逻辑代数基础:逻辑代数的基本概念、公式定理,逻辑函数的表示法及化简法,VHDL语言基础;第2章为门电路:TTL、CMOS两种集成门电路的电路结构、工作原理、有关特性与参数,重点介绍了3种特殊结构(OC、TSL、TG)数字集成电路技术,并涉及门电路的VHDL语言的描述;第3章为组合逻辑电路:组合逻辑电路的分析与设计方法,重点讲述几种常用的中规模集成组合逻辑芯片及其VHDL语言的描述;第4章为触发器:各种不同类型触发器的电路结构、动作特点、逻辑功能和VHDL语言的描述;第5章为时序逻辑电路:时序逻辑电路的分析与设计方法,侧重介绍几种常用

的中规模集成时序逻辑芯片和 VHDL 语言的描述;第 6 章为半导体存储器: ROM、RAM 的电路结构、工作原理、特点和 VHDL 语言的描述;第 7 章为数字系统的分析与设计:介绍数字系统组成的概念,数字系统模块化的分析与设计方法,数字系统的扩展方法,VHDL 语言在数字系统模块化分析与设计中的应用;第 8 章为可编程逻辑器件:各种可编程逻辑器件的结构、工作原理及特点;第 9 章为脉冲波形产生与整形:密特触发器、单稳态触发器、多谐振荡器的特点、作用和电路构成;第 10 章为数模与模数转换:ADC、DAC 的特点、电路构成和工作原理等。

本书是在总结中南大学信息科学与工程学院电子科学与技术系教师多年教学实践经验的基础上于 2004 年完成编写工作。该书由陈明义任主编,覃爱娜、陈革辉任副主编。其中,覃爱娜负责第 1 章、第 2 章、第 3 章的编写;陈革辉负责第 4 章、第 5 章、第 6 章的编写;陈明义负责第 7 章、第 8 章、第 9 章、第 10 章的编写。最后,由陈明义统稿定稿。

本书可作为高等学校电气电子信息类专业“数字电子技术基础”课程的教材,也可作为从事电子技术的工程技术人员及广大电子技术爱好者的参考书。

本书在编写过程中得到了全体同仁的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

全国高等学校首届教学名师、国际导航与运动控制科学院院士蔡自兴教授在百忙之中为本书写序,在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免有许多不妥与错误,殷切期望读者批评与指正。

编 者

2008 年 8 月

目 录

第1章 逻辑代数基础	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 逻辑变量和逻辑运算	(1)
1.2.1 逻辑变量	(1)
1.2.2 基本逻辑运算	(1)
1.2.3 复合逻辑运算	(3)
1.3 逻辑代数的公式和定理	(4)
1.3.1 逻辑代数的基本公式和常用公式	(4)
1.3.2 逻辑代数的基本定理	(6)
1.4 逻辑函数及其表示方式	(7)
1.4.1 逻辑函数的表示方法	(7)
1.4.2 逻辑函数的两种标准形式	(11)
1.5 逻辑函数的公式化简法	(14)
1.5.1 最简逻辑式	(14)
1.5.2 逻辑函数的公式化简法	(15)
1.6 逻辑函数的卡诺图化简	(17)
1.6.1 逻辑函数的卡诺图表示	(17)
1.6.2 用卡诺图化简逻辑函数	(18)
1.7 具有无关项的逻辑函数及其化简	(21)
1.7.1 逻辑函数的无关项	(21)
1.7.2 具有无关项的逻辑函数的化简	(22)
1.8 逻辑函数的变换与实现	(23)
1.8.1 逻辑函数的表达式	(23)
1.8.2 逻辑函数的实现	(24)
1.9 自学材料	(25)
1.9.1 数制和码制	(25)
1.9.2 用Q-M法化简逻辑函数	(32)
1.9.3 VHDL语言基础	(34)
本章小结	(40)

习 题	(41)
第2章 门电路	(45)
2.1 概述	(45)
2.2 半导体器件的开关特性	(46)
2.2.1 半导体二极管的静态开关特性	(46)
2.2.2 半导体三极管的开关特性	(48)
2.2.3 MOS管的开关特性	(50)
2.3 分立元件门电路	(53)
2.3.1 二极管与门	(53)
2.3.2 二极管或门	(54)
2.3.3 三极管非门	(54)
2.4 TTL集成门电路	(55)
2.4.1 TTL反相器	(55)
2.4.2 其他逻辑功能的TTL门电路	(63)
2.4.3 特殊输出结构的TTL门电路	(67)
2.5 CMOS集成门电路	(70)
2.5.1 CMOS反相器	(70)
2.5.2 其他逻辑功能的CMOS门电路	(76)
2.5.3 特殊输出结构的CMOS门电路	(78)
2.6 自学材料	(81)
2.6.1 改进型的TTL门电路	(81)
2.6.2 其他类型的双极型集成门电路	(86)
2.6.3 其他类型的MOS门电路	(90)
2.6.4 逻辑门电路的正确使用	(92)
2.6.5 门电路的VHDL语言描述	(100)
本章小结	(106)
习 题	(107)
第3章 组合逻辑电路	(111)
3.1 概述	(111)
3.2 组合逻辑电路的分析	(111)
3.3 组合逻辑电路的设计	(115)
3.4 若干常用组合逻辑电路及其应用	(117)
3.4.1 编码器	(118)

3.4.2	译码器	(122)
3.4.3	加法器	(133)
3.4.4	数值比较器	(137)
3.5	自学材料	(139)
3.5.1	组合逻辑电路中的竞争与冒险	(139)
3.5.2	常用组合逻辑电路的 VHDL 语言描述	(141)
	本章小结	(147)
	习 题	(148)
第4章	触发器	(152)
4.1	概述	(152)
4.2	触发器电路结构及动作特点	(152)
4.2.1	基本触发器	(152)
4.2.2	同步触发器	(155)
4.2.3	主从触发器	(156)
4.2.4	边沿触发器	(160)
4.3	触发器逻辑功能及描述方法	(162)
4.3.1	触发器逻辑功能及描述	(162)
4.3.2	触发器电路结构与逻辑功能的关系	(165)
4.4	触发器逻辑功能的转换	(166)
4.5	自学材料	(168)
4.5.1	触发器的动态特性	(168)
4.5.2	触发器的 VHDL 语言描述	(169)
	本章小结	(175)
	习 题	(176)
第5章	时序逻辑电路	(181)
5.1	概述	(181)
5.2	同步时序逻辑电路的分析	(183)
5.2.1	同步时序逻辑电路分析的一般步骤	(183)
5.2.2	同步时序逻辑电路的分析举例	(184)
5.3	同步时序逻辑电路的设计	(187)
5.3.1	同步时序逻辑电路设计的一般步骤	(187)
5.3.2	同步时序逻辑电路设计举例	(189)
5.4	若干常用时序逻辑电路及应用	(193)

5.4.1	寄存器和移位寄存器	(193)
5.4.2	计数器	(198)
5.5	自学材料	(214)
5.5.1	异步时序逻辑电路的分析	(214)
5.5.2	时序逻辑电路中的竞争与冒险	(216)
5.5.3	常用时序逻辑电路的 VHDL 语言描述	(219)
	本章小结	(222)
	习 题	(223)
第 6 章	半导体存储器	(228)
6.1	概述	(228)
6.2	只读存储器	(230)
6.2.1	掩模只读存储器	(230)
6.2.2	可编程只读存储器(PROM)	(232)
6.2.3	可擦除的可编程只读存储器(EPROM)	(234)
6.2.4	EPROM 集成芯片简介	(237)
6.3	随机存储器	(238)
6.3.1	静态随机存储器	(239)
6.3.2	动态随机存储器	(242)
6.4	存储器的应用	(248)
6.4.1	函数运算表电路	(248)
6.4.2	实现任意组合逻辑函数	(251)
6.5	自学材料	(255)
6.5.1	顺序存取存储器(SAM)	(255)
6.5.2	存储器的 VHDL 语言描述	(258)
	本章小结	(261)
	习 题	(262)
第 7 章	数字系统的分析与设计	(264)
7.1	概述	(264)
7.2	数字系统的扩展	(264)
7.2.1	中规模集成组合逻辑电路的功能扩展	(265)
7.2.2	中规模集成时序逻辑电路的功能扩展	(267)
7.2.3	存储器容量的扩展	(270)
7.3	数字系统的分析	(272)

7.4 数字系统的设计	(278)
7.5 自学材料: VHDL 在数字系统分析与设计中的应用	(281)
7.5.1 键盘编码器的分析	(281)
7.5.2 数字时钟电路的设计	(285)
7.5.3 简易交通信号灯控制电路的设计	(300)
本章小结	(307)
习 题	(308)
第8章 可编程逻辑器件	(312)
8.1 概 述	(312)
8.2 现场可编程逻辑阵列(FPLA)	(315)
8.3 可编程阵列逻辑(PAL)	(317)
8.3.1 PAL 器件的基本结构	(317)
8.3.2 PAL 器件的类型	(318)
8.3.3 PAL 器件的应用实例	(319)
8.4 通用阵列逻辑(GAL)	(320)
8.4.1 GAL 器件的基本结构	(323)
8.4.2 GAL 的行地址映射图	(328)
8.5 自学材料	(330)
8.5.1 高密度可编程逻辑器件(HDPLD)	(330)
8.5.2 可编程逻辑器件的开发与编程	(341)
本章小结	(345)
习 题	(346)
第9章 脉冲波形的产生与整形	(349)
9.1 概述	(349)
9.2 施密特触发器	(350)
9.2.1 用门电路组成的施密特触发器	(350)
9.2.2 施密特触发器的应用	(353)
9.3 单稳态触发器	(355)
9.3.1 微分型单稳态触发器	(355)
9.3.2 积分型单稳态触发器	(357)
9.4 多谐振荡器	(359)
9.4.1 对称式多谐振荡器	(359)
9.4.2 石英晶体多谐振荡器	(362)

9.5 555 定时器及其应用	(364)
9.5.1 555 定时器的电路结构与功能	(364)
9.5.2 555 定时器构成的施密特触发器	(366)
9.5.3 555 定时器构成的单稳态触发器	(367)
9.5.4 555 定时器构成的多谐振荡器	(368)
9.6 自学材料	(371)
9.6.1 集成施密特触发器	(371)
9.6.2 集成单稳态触发器	(375)
9.6.3 压控振荡器	(379)
本章小结	(384)
习 题	(384)
第 10 章 数模与模数转换	(388)
10.1 概述	(388)
10.1.1 ADC 与 DAC 的应用	(388)
10.1.2 ADC 与 DAC 的性能指标	(389)
10.1.3 ADC 与 DAC 的分类	(390)
10.2 数模转换器(DAC)	(390)
10.2.1 数模转换原理与一般组成	(390)
10.2.2 权电阻网络 DAC	(391)
10.2.3 $R-2R$ 倒 T 形电阻网络 DAC	(394)
10.2.4 DAC 的转换精度与转换速度	(397)
10.3 模数转换器(ADC)	(399)
10.3.1 模数转换基本原理	(399)
10.3.2 并联比较型 ADC	(403)
10.3.3 逐次逼近型 ADC	(405)
10.3.4 双积分型 ADC	(407)
10.3.5 ADC 的转换精度和转换速度	(411)
10.4 自学材料	(412)
10.4.1 集成 DAC	(412)
10.4.2 集成 ADC	(417)
本章小结	(423)
习 题	(423)
参考文献	(428)

第1章 逻辑代数基础

1.1 概述

1849年,英国数学家乔治·布尔(George Boole)首先提出了描述客观事物关系的数学方法——布尔代数。后来,由于布尔代数被广泛地应用于开关电路和数字逻辑电路的分析和设计上,所以也把布尔代数叫做开关代数或逻辑代数。逻辑代数是分析和设计数字逻辑电路的数学工具。

1.2 逻辑变量和逻辑运算

1.2.1 逻辑变量

逻辑变量是用于描述客观事物对立统一的两个方面。逻辑代数中的逻辑变量通常用单个字母或字母加下标表示。在二值逻辑中,每个逻辑变量的取值只有0和1两种可能。这里的0和1已不再表示数量的大小,只代表两种不同的逻辑状态,如电平的高和低、电流的有和无、灯的亮和灭、开关的闭合和断开等。

1.2.2 基本逻辑运算

逻辑代数中的基本逻辑运算有与、或、非3种。

1. 与逻辑

与逻辑可以从图1.1(a)所示的指示灯控制电路来说明。在此电路中,只有当两个开关A、B同时闭合时,指示灯Y才会亮。此例表明,只有决定事物结果的全部条件同时具备时,结果才会发生。这种因果关系叫做与逻辑,或者叫逻辑与。

现用A、B作为条件变量表示开关,并以“1”表示开关“闭合”,“0”表示开关“断开”;用Y作为结果变量表示灯,并以“1”表示灯“亮”,“0”表示灯“灭”。则可以列出用0、1表示的与逻辑关系的图表,如表1.1所示。这种图表叫做逻辑真值表,简称为真值表。

在逻辑代数中,可以把上述逻辑关系写成这样的逻辑表达式: $Y=A \cdot B$,式中

“ $\cdot$ ”为与逻辑的运算符号,也称为逻辑乘,使用时也可将其省略,写成 $Y=AB$ 。

在逻辑电路中,能实现与运算逻辑功能的电路称为与门。图 1.1(b)所示为与门的国标符号和国际常用符号。

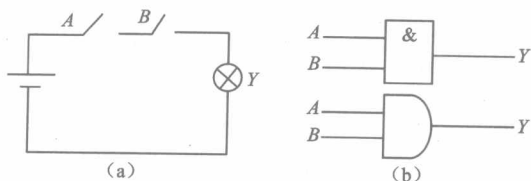


图 1.1 用于说明与逻辑的电路及其符号

表 1.1 与逻辑运算真值表

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

2. 或逻辑

或逻辑可以用图 1.2(a)所示的指示灯控制电路来说明。在此电路中,只要两个开关 A、B 任何一个闭合,指示灯 Y 就会亮。此例表明,在决定事物结果的诸多条件中只要有一个满足,结果就会发生,这种因果关系叫做或逻辑,或者叫逻辑或。

或逻辑的真值表如表 1.2 所示,或逻辑的运算符号是“ $+$ ”,也称为逻辑加。其逻辑关系可写成 $Y=A+B$ 。

能实现或运算逻辑功能的电路称为或门,图 1.2(b)为或门的国标符号和国际常用符号。

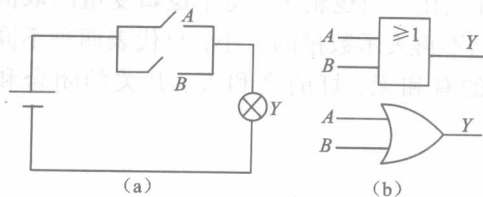


图 1.2 用于说明或逻辑的电路及其符号

表 1.2 或逻辑运算真值表

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

3. 非逻辑

非逻辑运算可以从图 1.3(a)所示的指示灯控制电路来说明。在此电路中,开关 A 闭合时,指示灯 Y 不会亮,开关断开时,灯反而亮。此例表明,只要条件具备了,结果便不会发生,而条件不具备时,结果一定发生,这种因果关系叫做非逻辑,也叫逻辑非。

非逻辑的真值表如表 1.3 所示。非逻辑的运算符号是“ $-$ ”,也称为逻辑反。其逻辑关系式可写成 $Y=\bar{A}$ 。

能实现非运算逻辑功能的电路称为非门(也叫反相器),图 1.3(b)为非门的国标符号和国际常用符号。

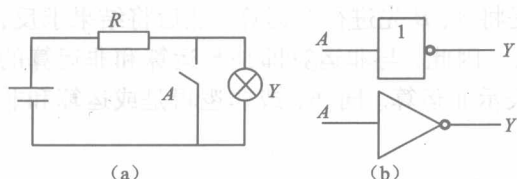


图 1.3 用于说明非逻辑的电路及其符号

表 1.3 非逻辑运算真值表

A	Y
0	1
1	0

1.2.3 复合逻辑运算

实际的逻辑问题往往比与、或、非基本逻辑复杂,不过它们都可以用与、或、非组合成的复合逻辑来实现。最常见的复合逻辑运算有与非、或非、与或非、异或和同或逻辑等,表 1.4~1.8 给出了这些复合逻辑运算的真值表。图 1.4 是它们的逻辑符号。

表 1.4 与非逻辑的真值表

A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

表 1.5 或非逻辑的真值表

A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

表 1.6 与或非逻辑的真值表

A	B	C	D	Y
0	0	0	0	1
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0

表 1.7 异或逻辑的真值表

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

表 1.8 同或逻辑的真值表

A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1