

普通高校“十一五”规划教材

数字电子技术

——教程、习题及实验一本通

主 编 牛自敏

副主编 任艳斐 刘书敬



北京航空航天大学出版社

普通高校“十一五”规划教材

数字电子技术

——教程、习题及实验一本通

主 编 牛自敏

副主编 任艳斐 刘书敬

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书内容包括数制转换、基本逻辑电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、555 定时器、数字信号与模拟信号的转换、半导体存储器与可编程控制器,共 7 章。部分章节内容都配有例题、练习题和实验,本教材最后精心编写了综合习题供读者学习时使用。

本书根据相关专业教学大纲的要求编写,内容详实,结构以易于学习理解掌握本科目知识为核心,适用于高等工科院校有关专业本科生、高职高专学生以及自学考试、函授大学生、夜大学生,同时也可供电子技术方面的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术——教程、习题及实验一本通/牛自敏主编.

—北京:北京航空航天大学出版社,2007.3

ISBN 978-7-81124-016-0

I. 数… II. 牛… 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(2007)第 012521 号

数字电子技术——教程、习题及实验一本通

主 编 牛自敏

副主编 任艳斐 刘书敬

责任编辑:韩文礼

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpress@263.net

北京宏伟双华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:21.75 字数:487 千字

2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-81124-016-0 定价:33.00 元

前言

电子技术是一门迅速发展的学科,随着科学技术的发展,许多专业的教学中相继开设了电子技术课程。电子技术课程主要分为模拟电子技术和数字电子技术两部分,它们是学习其他相关课程的基础。本书主要讲述数字电子技术。

全书共7章。第1章讲述数字电路中所用的数值和编码;第2章讲述TTL和MOS门电路,以及全书的学习基础,即数字技术的数学基础——布尔代数和逻辑函数的化简;第3章讲述组合电路的分析和设计,重点介绍常用组合逻辑部件(MSI)的原理和应用;第4章讲述学习时序电路的基础——触发器,及时序电路的分析和设计,常用的时序逻辑器件;第5章讲述脉冲产生电路和定时电路;第6章介绍数/模、模/数转换电路;第7章介绍大规模集成电路ROM和PLA在数字电路中的应用。

由于“数字电子技术”课程是一门主干专业基础课,故本科、专科对本门课程的基本要求是一致的,只是在深度和广度上有所区别,教师在讲授时应注意掌握好尺度。在内容选取和安排上,编写时突出基本概念、基本理论和基本方法,并为读者提供独立分析和设计逻辑电路的工具,即主要讲述分析和设计的方法,不追求系统性和完整性。为了适应科学技术的发展,本书除了讲述传统的逻辑技术以外,还用较多的篇幅讲述了MSI和LSI在数字技术中的应用。

本书附有例题和练习题以及答案,文字上力求叙述流畅、说理清楚,同时为了理论联系实际,配合每章所讲内容,在每章后面附有实验。

本书适用于高等工科院校有关专业本科生、高职高专学生以及自学考试、函授大学生、夜大学生,同时也可供电子技术方面的工程技术人员学习参考。本书由牛自敏老师担任主编,王合闯、任艳斐、刘书敬、苗英恺、李启丙老师参与编写。其中,第1章由苗英恺编写;第2章由王合闯编写;第3章由牛自敏编写;第4章由任艳斐编写;第5、6章由刘书敬编写;第1、3章习题由李启丙编写;第4章习题由任艳斐编写;课后实验和第2、5、6章习题由牛自敏编写。全书由牛自敏统稿。

本书编写和整理过程中,得到了许多专家和同行的大力支持和帮助,并提出了宝贵意见,

在此,向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,时间仓促,书中错误和不妥之处敬请广大读者批评指正,建议和意见可通过 E-mail 发至:niuzimin2002@163.com。

编 者

2006 年 12 月

目 录

第 1 章 数制转换

1.1 概述	1
1.1.1 数字、模拟信号	1
1.1.2 数、模电路	1
1.1.3 数字电路的优点	1
1.1.4 数字电路的研究方法	2
1.2 进位计数制	2
1.2.1 进位计数制的基本概念	2
1.2.2 常用计数制	3
1.3 数制转换	4
1.3.1 非十进制数转换成十进制数	5
1.3.2 十进制数转换成其他进制数	5
1.3.3 将二进制数转换为八进制数和十六进制数	7
1.3.4 将八进制数和十六进制数转换为二进制数	7
1.4 常用代码	7
习题 1	8
实验一 常用仪器的使用	9
一、实验目的	9
二、实验原理	9
三、实验内容	11
四、实验报告要求	11

第2章 基本逻辑电路

2.1 概述	12
2.1.1 脉冲及脉冲参数	12
2.1.2 模拟信号与数字信号	13
2.1.3 正逻辑和负逻辑	14
2.2 逻辑运算	15
2.2.1 基本逻辑运算	15
2.2.2 组合逻辑运算	17
2.3 形式定理	19
2.3.1 形式定理	19
2.3.2 对偶规则	20
2.4 用代数法化简逻辑式	20
2.4.1 同一逻辑关系逻辑式形式的多样性	21
2.4.2 与或型逻辑式的化简步骤	21
2.5 最小项和最大项	23
2.5.1 最小项和最大项的定义	23
2.5.2 最小项和最大项的性质	24
2.5.3 与或标准型和或与标准型	25
2.6 卡诺图化简法	26
2.6.1 卡诺图	26
2.6.2 与项的读取和填写	27
2.6.3 如何使与项最简	31
2.6.4 关于覆盖	31
2.6.5 卡诺图化简的结论	32
2.7 逻辑函数的变换	33
2.7.1 五种类型的逻辑函数	33
2.7.2 与或型转换为与非与非型	34
2.7.3 与或型转换为或与型	34

2.7.4 与或型转换为或非或非型	35
2.7.5 与或型转换为与或非型	35
2.8 基本逻辑门电路	35
2.8.1 非门(反相器)	36
2.8.2 与门	38
2.8.3 或门	39
2.8.4 其他常用逻辑门	39
2.9 标准 TTL 与非门电路	40
2.9.1 TTL 与非门的电路结构	40
2.9.2 电路的逻辑功能	41
2.9.3 特性曲线	42
2.9.4 参数与技术指标	45
2.9.5 与非门的应用	50
2.10 其他类型 TTL 门	51
2.10.1 集电极开路门	51
2.10.2 三态门	52
2.11 CMOS 逻辑门	54
2.11.1 MOS 反相器	54
2.11.2 CMOS 门电路	57
2.11.3 CMOS 传输门	58
2.11.4 CMOS 门的参数指标	59
2.12 国标数字集成电路系列介绍	62
习题 2	63
实验二 常用集成门电路逻辑功能测试	66
一、实验目的	66
二、实验原理	66
三、实验仪器设备及器材	67
四、实验内容与步骤	67
五、实验报告要求	68

实验三 常用集成门电路逻辑功能的应用	68
一、实验目的	68
二、实验原理	68
三、实验仪器及器材	69
四、实验内容与步骤	69
五、实验报告要求	70

第3章 组合逻辑电路

3.1 组合逻辑电路的分析	72
3.1.1 组合逻辑电路分析的一般方法	72
3.2 组合逻辑电路的设计	74
3.2.1 单输出组合逻辑电路的设计	75
3.2.2 多输出组合逻辑电路的设计	75
3.3 二进制运算电路	78
3.3.1 半加器	79
3.3.2 全加器	79
3.3.3 多位二进制加法	81
3.3.4 全加器的应用	81
3.4 编码器	86
3.4.1 编码器	86
3.5 译码电路	91
3.5.1 通用译码器	92
3.5.2 显示译码器	94
3.5.3 数据分配器和数据选择器	101
3.5.4 数值比较器	106
3.6 组合逻辑链路中的竞争与冒险	110
3.6.1 竞争现象	110
3.6.2 冒险现象	111
3.6.3 冒险现象的判别	112

3.6.4 冒险现象的消除	113
习题 3	114

第 4 章 时序逻辑电路

4.1 时序逻辑电路概述	118
4.1.1 时序逻辑电路的特点	118
4.1.2 时序逻辑电路的功能描述方法	119
4.1.3 时序逻辑电路的分类	119
4.2 触发器概述	120
4.3 基本触发器	120
4.3.1 基本 RS 触发器	120
4.3.2 时钟触发器	124
4.4 集成触发器	131
4.4.1 边沿触发器	132
4.4.2 维持阻塞触发器	133
4.4.3 主从触发器	135
4.5 触发器的逻辑功能及其相互转换	139
4.5.1 触发器按逻辑功能的分类	139
4.5.2 触发器的电路结构和逻辑功能的关系	139
4.5.3 触发器逻辑功能的转换	139
4.6 时序逻辑电路的分析	142
4.6.1 分析时序逻辑电路的一般步骤	142
4.6.2 同步时序逻辑电路的分析举例	142
4.6.3 异步时序逻辑电路的分析举例	146
4.7 同步时序逻辑电路的设计	148
4.7.1 同步时序逻辑电路的设计步骤	148
4.7.2 同步计数器的设计举例	149
4.8 寄存器	154
4.8.1 数码寄存器	154

4.8.2 移位寄存器	155
4.8.3 集成移位寄存器功能分析及应用	158
4.9 计数器	162
4.9.1 计数器的分类	162
4.9.2 2^n 进制计数器组成规律	163
4.9.3 集成计数器功能分析及应用	167
本章小结	174
习题4	175
实验九 触发器逻辑功能测试及应用	179
一、实验目的	179
二、实验原理	179
三、实验仪器与器件	181
四、实验内容与步骤	181
五、实验报告要求	182
实验十 时序逻辑电路的测试	182
一、实验目的	182
二、实验原理	182
三、实验仪器及器材	183
四、实验内容与步骤	183
五、实验报告要求	184
实验十一 移位寄存器逻辑功能测试及应用	184
一、实验目的	184
二、实验原理	184
三、实验仪器及器材	185
四、实验内容与步骤	185
五、实验报告要求	185
实验十二 计数器逻辑功能测试及应用(一)	186
一、实验目的	186
二、实验原理	186

三、实验仪器及器材	186
四、实验内容与步骤	186
六、实验报告要求	187
实验十三 计数器逻辑功能测试及应用(二)	187
一、实验目的	187
二、实验原理	188
三、实验仪器及器材	188
四、实验内容与步骤	188
五、实验报告要求	189
实验十四 计数显示器的设计与测试	189
一、实验目的	189
二、实验原理	189
三、实验仪器及器材	190
四、实验内容与步骤	190
五、实验报告要求	190

第 5 章 555 定时器

5.1 555 定时器的工作原理	191
5.1.1 555 定时器的结构	191
5.1.2 555 定时器的功能表	191
5.2 555 定时器的典型应用电路	192
5.2.1 单稳态触发器	192
5.2.2 多谐振荡器	193
5.2.3 施密特触发器	196
5.2.4 压控振荡器 *	197
习题 5	198
实验十五 555 定时器及其应用	198
一、实验目的	198
二、实验原理	198

三、实验仪器及器材	200
四、实验内容与步骤	200
五、实验报告要求	200

第 6 章 数字信号与模拟信号的转换

6.1 概述	201
6.2 D/A 转换器	201
6.2.1 权电阻解码网络	202
6.2.2 倒 T 形电阻解码网络 D/A 转换器	203
6.2.3 集成 D/A 转换器 AD7524	204
6.2.4 D/A 转换器的主要技术指标	205
6.3 A/D 转换器	207
6.3.1 A/D 转换器概述	207
6.3.2 逐次逼近型 A/D 转换器	209
6.3.3 双积分型 A/D 转换器	211
习题 6	214

第 7 章 半导体存储器与可编程控制器

7.1 只读存储器	215
7.1.1 ROM 的分类	215
7.1.2 ROM 的结构和工作原理	217
7.1.3 ROM 的应用	220
7.2 随机存储器	222
7.2.1 静态 RAM 的结构和工作原理	222
7.2.2 集成 RAM 及容量的扩展	223
7.3 可编程逻辑器件概述	225
7.3.1 PLD 的发展	225
7.3.2 PLD 的分类和特点	226
7.3.3 可编程的基本原理	227

7.4 通用阵列逻辑 GAL	230
7.4.1 概述	230
7.4.2 GAL 的结构	231
7.4.3 GAL 的编程	235
7.5 isp 在系统可编程逻辑器件简介	236
7.5.1 ispLSI 器件的结构	236
7.5.2 ispGDS 通用数字开关	238
习题 7	240
思考与练习题	241
思考与练习题答案	285
参考文献	334

第 1 章 数制转换

各种数字设备,只能对二进制数或者二进制代码进行运算和处理,而人们熟悉的十进制数不能被数字设备直接接受。另外,经数字设备运算、处理的结果仍为二进制形式,不便于人们识别。为了更好地实现人机对话,应当掌握各种数制、代码的特点以及相互之间的转换规律。本章主要讲述数制和常用代码以及两者之间的转换方法。

1.1 概述

1.1.1 数字、模拟信号

在实际应用中,人们接触到的信号可分为模拟信号和数字信号两大类。模拟信号是指在时间和数值上都是连续变化的信号,如用传统调频或者调幅方式传送的广播电视信号等;数字信号是指信号的变化在时间上是不连续的,即它在时间和幅度上是离散的,例如 VCD、DVD 重放的音频信号和视频信号。数字信号常用二值量信息表示,既可以用两个有一定数值范围的高、低电平表示,也可以用两个状态的逻辑符号 0 和 1 表示。如可以用 1 表示真,0 表示假;1 表示灯泡亮,0 表示灯泡灭。

1.1.2 数、模电路

能够对模拟信号进行传送、加工以及处理的电子电路称为模拟电路,如在模拟电路中介绍的功率放大器等;能够对数字信号进行传递、加工以及处理的电子电路称为数字电路,如本书中介绍的门电路、寄存器、555 定时电路等。

将各种电子元器件组成的具有一定逻辑功能的电路(分立元件电路),集中制作在一个很小的半导体材料的基片上($0.2\sim 0.25\text{ mm}$),这种电路就称为集成电路。

按照集成度的高低,集成电路可以分为:小规模集成电路(SSI)(每个芯片含有 $10\sim 100$ 个元件)、中规模集成电路(MSI)(每个芯片含有 $100\sim 1\,000$ 个元件)、大规模集成电路(LSI)(每个芯片含有 $1\,000\sim 10\,000$ 个元件)和超大规模集成电路(VLSI)(每个芯片含有 $10\,000\sim 100\,000$ 个元件)和超大规模集成电路(VVLSI)(每个芯片含有 $1\,000\,000$ 个以上元件)。

1.1.3 数字电路的优点

与模拟电路相比,数字电路主要有以下优点:

① 集成度高。数字电路采用二进制,并作为基本单元电路,它的结构简单,对电路元件的精度要求不高,有利于集成;

② 工作可靠性高、抗干扰能力强。数字电路的信号是用高低平(1)、低电平(0)来描述的,大大提高了电路工作的可靠性以及抗干扰的能力;

③ 数字集成电路功耗低、通用性强、成本低。数字电路可以有很多功能扩展端,一个电路可以实现多种功能;

④ 保密性强。容易实现对数字信息进行编码加密处理,并且难于破解。

1.1.4 数字电路的研究方法

数字电路的传统研究方法是:先对设计任务进行逻辑分析,求出函数和变量之间的逻辑关系,然后利用布尔代数法或者卡诺图的方法对逻辑函数进行化简,最后用集成器件实现逻辑函数,也称为经典法。这样设计出来的逻辑电路具有使用元器件和连线最少的优点,这种方法适合于中小规模的集成数字电路的设计。

1.2 进位计数制

1.2.1 进位计数制的基本概念

进位计数制也称位置计数制,其计算方法是把数划分为不同的数位,当某一个数位累计计算到一定数量的时候,该位就从零重新计算,同时向高位进位。在这种计数制中,用一个数码在不同的位置上所表示的数值大小是不一样的。进位计数制可以用少量的数码表示较大的数值,因而被广泛使用。下面先来了解一下进位计数制的两个概念:进位基数和数位的权值。

进位基数:在一个数位上,规定使用的数码符号的个数称为该进位计数制的进位基数或者进位模数,记做 R 。例如人们最熟悉的十进制,每个数位规定使用的数码符号有 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 一共 10 个,则进位基数 $R=10$ 。

数位的权值:某个数位上数码为 1 时所表征的数值,称为该数位的权值,简称“权”。各个数位的权值都可以表示为 R^i , 其中 R 是进位基数,是各数位的序号。按照如下的方法确定:整数部分,以小数点为起点,自右向左依次是 0, 1, 2, 3, $\dots$, $n-1$; 小数部分以小数点为起点,自左向右依次为一 1, 一 2, 一 3, $\dots$, 一 m 。 n 是整数部分的位数, m 是小数部分的位数。

某个数位上的数码 a_i 所表示的数值等于数码 a_i 与该位的权值 R^i 的乘积。所以, R 进制的数可表示为

$$(N)_R = a_{i-1} a_{i-2} \cdots a_2 a_1 a_0 a_{-1} a_{-2} \cdots a_{-m}$$

又可以写成多项式的形式

$$(N)_R = a_{n-1}R^{n-1} + a_{n-2}R^{n-2} + \cdots + a_1R^1 + a_0R^0 + a_{-1}R^{-1} + \cdots + a_{-m}R^{-m}$$

1.2.2 常用计数制

1. 十进制

十进制是使用最早的一种主要的计数制度,在十进制中,每个数位规定使用的数码为 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 共 10 个,故其进位基数 R 为 10,其计数规则是“逢十进一”。各位的权值为 10^i , i 是各数位的序号。

十进制数用下标“D”表示,也可以省略。

例如: $(333.33)_D = 3 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1} + 3 \times 10^{-2}$

十进制数虽然人们很熟悉,但是机器实现起来很困难。

2. 二进制

(1) 二进制的表示方法

在二进制数中,每个数位规定使用的数码为 0 和 1,共两个数码,所以其进位基数 R 是 2,其基数规则是“逢二进一”。各位的权值为 2^i , i 是各数位的序号。

二进制数用下标“B”表示。例如:

$$(101.01)_B = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

二进制数只有两种状态,机器很容易实现,因而二进制是数字系统唯一识别的代码。其缺点是状态较少,书写起来位数太长。

(2) 二进制数的运算

二进制的运算法则和十进制数很相似,其运算法则如下。

加法运算法则:

$$0+0=0 \quad 0+1=1 \quad 1+0=1 \quad 1+1=0(\text{同时向邻近高位进一})$$

减法运算法则:

$$0-0=0 \quad 1-0=1 \quad 1-1=0 \quad 0-1=1(\text{同时向邻近高位借一})$$

乘法运算法则:

$$0 \times 0=0 \quad 0 \times 1=0 \quad 1 \times 0=0 \quad 1 \times 1=1$$

除法运算法则:

$$0 \div 0=0 \quad 1 \div 1=1$$

3. 八进制

在八进制数中,每个数位规定使用的数码为 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 共 8 个数码,所以它的进位基数 R 是 8。它的基数规则是“逢八进一”。各位的权值为 8^i , i 是各数位的序号。

二进制数用下标“o”表示。例如:

$$(137.26)_O = 1 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 2 \times 8^{-1} + 6 \times 8^{-2}$$