

数字电子技术

张建华

主编

北京理工大学出版社

72

数 字 电 子 技 术

张 建 华 主 编

北京理工大学出版社

(京)新登字149号

内 容 简 介

本书是机械电子工业部高校电子技术基础课程协作组组织编写的系列教材之二。编写的原则是：(1)贯彻少而精原则，数字电子技术基本要求中必须掌握的基本定义、基本概念、基本原理、基本分析方法、基本器件和电路都必须讲深讲透；(2)加强中规模集成电路的应用；(3)注意了数字电子技术系统性和先进性；(4)注意讲清思路和分析方法、启发学生的思维；(5)注意文字通顺流畅，通俗易懂，便于阅读。

本书可作为自动化类、电力类各专业学生的教材，也可作为相近专业师生和工程技术人员参考。

数 字 电 子 技 术

张建华 主编

北京理工大学出版社出版发行

各地新华书店经售

清华大学印刷厂印刷

850×1168毫米 32开本 9.5 印张 245 千字

1991年10月第一版 1993年12月第三次印刷

ISBN 7-81013-427-2/TN·26

印数：14001—20000册 定价：5.00 元

前 言

本书是机械电子工业部高等学校电子技术基础课程协作组组织编写的电子技术基础系列教材之二。组织编写系列教材的目的，是为贯彻国家教委高等学校工科电子技术基础课程教学指导小组提出的，希望组织编写有各种风格教材的精神，结合我部属院校的教学实际，紧靠教学基本要求，保证在基本要求规定的学时内便于实施教学。编写的原则是：(1) 教材的基本内容要紧靠教学基本要求，贯彻少而精原则，凡基本要求中要求必须掌握的基本定义、基本概念、基本原理、基本分析方法、熟练掌握的器件和电路都必须讲深讲透，一般要求的内容则视情况精讲少讲或不讲；(2) 加强中规模集成电路的应用；(3) 由于数字电子技术发展迅速，为了使教材有一定的生命力，所编内容注意了一定的先进性；(4) 介绍每一个问题时尽量注意讲清思路，讲清分析方法，注意启发学生的思维；(5) 注意文字通顺流畅，通俗易懂、便于学生阅读。

本书由哈尔滨电工学院刘全盛编写第一章和第二章；太原机械学院张建华编写第三章和第六章的第三节，吉林工业大学梁韵琴编写第四章、第六章的一、二节和第八章；北京理工大学刘惠贞编写第五章和第七章。由张建华任主编，负责全书的组织和定稿。

机械电子工业部各高校的同行们，1989年11月在江苏工学院召开的电子技术系列教材研讨会上，对本书的编写提出了许多有益的建议，国家教委高等学校工科电子技术基础课程教学指导小组组长、清华大学教授童诗白先生对系列教材的编写给予了热情的鼓励和具体指导。1990年7月在太原机械学院召开了系列教材审稿会，北京理工大学、吉林工业大学、合肥工业大学、华东工学院、电子科技大学、上海机械学院、陕西机械学院、江苏工学

院、哈尔滨科学技术大学、哈尔滨电工学院、长春光学精密机械学院、湖北汽车工业学院、南京机械专科学校、太原机械学院等兄弟院校的教师代表参加了会议，由上海机械学院苏杰轩副教授任主审，主持本书的审稿工作，各兄弟院校的代表对初稿进行了认真的审阅，提出了许多宝贵意见，最后由苏杰轩同志写出了详细的教材审查意见。对上述同志以及对本书的编写给予各种支持的同志们在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，加之编写时间仓促，缺点和错误之处难免，诚恳希望各兄弟院校的老师 and 读者提出批评和改进意见，以期在本书再版时能有所改进。

张建华

1990年12月于太原

目 录

第一章 数字电路基础	1
1.1 概述	1
1.2 数制和码制	2
1.2.1 常用计数制及其相互转换	2
一、十进位计数制	2
二、二进位计数制	3
三、八进位计数制和十六进位计数制	4
1.2.2 码制	4
1.3 逻辑代数基础	6
1.3.1 逻辑代数的三种基本运算	6
一、与运算	6
二、或运算	7
三、非运算	7
1.3.2 逻辑代数的基本公式和常用公式	9
一、基本公式	9
二、常用公式	10
1.3.3 逻辑代数的基本规则	11
一、代入规则	11
二、反演规则	11
三、对偶规则	11
1.4 逻辑函数的建立及其表示方法	12
1.5 逻辑函数的化简	13
1.5.1 逻辑函数的最简形式	13
1.5.2 逻辑函数的公式化简法	14
一、并项法	14
二、吸收法	14
三、消去法	14

四、配项法	15
1.5.3 用卡诺图化简逻辑函数	15
一、逻辑函数的最小项及其性质	15
二、用卡诺图表示逻辑函数	16
三、用卡诺图化简逻辑函数	18
1.6 具有任意项逻辑函数的化简	20
习题	22
第二章 逻辑门电路	25
2.1 分立元件门电路	25
2.1.1 半导体二极管和三极管的开关特性	25
一、半导体二极管的开关特性	25
二、半导体三极管的开关特性	26
2.1.2 分立元件门电路	28
一、二极管门电路	28
二、二极管——三极管门电路	29
2.1.3 正逻辑和负逻辑	30
2.2 TTL集成门电路	31
2.2.1 概述	31
2.2.2 TTL与非门的工作原理	31
一、电路结构及工作原理	31
二、电压传输特性	32
三、TTL与非门的噪声容限	33
四、输入特性和输出特性	34
五、TTL与非门的动态特性	36
六、门电路多余输入端的处理	38
2.2.3 集电极开路门和三态门	38
一、集电极开路门(OC)	38
二、三态输出门(TSL)	41
2.2.4 TTL与非门电路的改进	43
2.3 MOS门电路	45
2.3.1 NMOS反相器	45
2.3.2 CMOS反相器	45
一、电路结构及工作原理	45

二、CMOS反相器的传输特性	48
三、CMOS反相器的功率损耗	48
2.3.3 MOS与非门和或非门	50
一、NMOS与非门和或非门	50
二、CMOS与非门和或非门	51
2.3.4 CMOS传输门和双向模拟开关	52
2.3.5 CMOS三态门	53
习题	55
第三章 组合逻辑电路	61
3.1 概述	61
3.2 组合逻辑电路的分析	61
3.2.1 分析组合逻辑电路的一般步骤	62
3.2.2 实用组合逻辑电路的分析	62
一、加法器的分析	62
二、数据选择器的分析	64
三、多路分配器的分析	65
四、数码比较器的分析	66
3.3 组合逻辑电路的设计	70
3.3.1 组合逻辑电路设计的几种方法	70
3.3.2 组合逻辑电路设计的一般步骤	71
3.4 用逻辑门实现组合逻辑电路的设计	71
3.4.1 一般组合逻辑电路的设计	72
一、单输出组合逻辑电路的设计	72
二、多输出组合逻辑电路的设计	73
3.4.2 编码器的设计	75
一、概述	75
二、三位二进制编码器的设计	76
三、二十进制优先权编码器的设计	77
3.4.3 译码器的设计	79
一、概述	79
二、二进制译码器的设计	79
三、二十进制译码器的设计	81
四、七段字形译码器的设计	82

3.4.4 组合逻辑电路中的竞争与冒险	90
一、竞争、冒险产生的原因	90
二、逻辑冒险及其消除方法	91
三、功能冒险及其抑制措施	92
3.5 用MSI实现组合逻辑电路设计	93
3.5.1 用数据选择器实现多种组合逻辑功能	94
一、用数据选择器实现逻辑函数	94
二、用双四选一数据选择器构成一位全减器	96
三、等值数码比较器	97
3.5.2 用译码器实现多种组合逻辑功能	98
一、用译码器实现逻辑函数	98
二、用二进制译码器作各种BCD码译码器	100
三、用译码器作多路分配器	100
3.5.3 用全加器实现多种组合逻辑功能	102
一、用全加器实现代码转换	102
二、8421BCD码加法器	104
习题	106
第四章 集成触发器	109
4.1 概述	109
4.2 基本RS 触发器	109
4.2.1 用与非门构成的基本RS 触发器	109
一、电路组成	109
二、逻辑功能	110
4.2.2 集成基本RS 触发器	112
4.3 时钟触发器	113
4.3.1 同步RS 触发器	114
一、电路组成	114
二、逻辑功能分析	114
三、触发器初始状态的预置	115
四、关于空翻现象	116
4.3.2 主从结构触发器	117
一、电路组成	117
二、逻辑功能分析	117

三、主从JK触发器	118
四、集成主从JK触发器	122
4.3.3 边沿触发器	124
一、TTL边沿触发器	124
二、CMOS边沿触发器	128
4.4 触发器逻辑功能的转换	131
4.4.1 由D触发器转换为其他逻辑功能的触发器	132
4.4.2 由JK触发器转换为其他逻辑功能的触发器	133
习题	133
第五章 时序逻辑电路	141
5.1 概述	141
5.2 时序逻辑电路的分析	142
5.2.1 分析时序逻辑电路的一般步骤	142
5.2.2 寄存器和移位寄存器的分析	143
一、概述	143
二、寄存器的分析 (T1175)	143
三、移位寄存器的分析	145
5.2.3 计数器的分析	150
一、概述	150
二、同步计数器的分析	150
三、异步计数器的分析	156
四、移位计数器的分析	161
5.2.4 顺序脉冲发生器	164
一、计数器型顺序脉冲发生器	165
二、移位寄存器型顺序脉冲发生器	166
5.3 时序逻辑电路的设计	167
5.3.1 时序逻辑电路设计的几种方法	167
5.3.2 时序逻辑电路设计的一般步骤	167
5.3.3 用SSI实现同步时序逻辑电路设计的几个实例	168
一、111数据检测器的设计	168
二、同步计数器的设计	171
三、报纸零售机的设计	173
5.3.4 用MSI实现时序逻辑	176

一、用MSI计数器实现任意进制计数器	176
二、计数器作乘、除法运算	186
三、寄存器的应用	188
四、综合应用	191
习题	191
第六章 大规模集成电路	202
6.1 概述	202
6.2 存储器	203
6.2.1 读写存储器RAM	203
一、RAM的结构	204
二、静态存储单元	208
三、动态存储单元	209
6.2.2 只读存储器ROM	211
一、ROM的结构	212
二、PROM	215
三、EPROM	216
6.3 可编程逻辑器件PLD	218
6.3.1 概述	218
6.3.2 可编程只读存储器PROM	220
6.3.3 可编程逻辑阵列PLA	223
一、用PLA实现组合逻辑电路的设计	223
二、用PLA实现时序逻辑电路的设计	225
6.3.4 可编程阵列逻辑PAL	226
一、与或输出型	226
二、带反馈型结构	226
三、具有反馈的寄存器输出	227
四、具有异或功能及反馈的寄存器输出	229
6.3.5 通用阵列逻辑 GAL	231
一、基本组成	233
二、输出逻辑宏单元OLMC的结构	233
三、输出逻辑宏单元OLMC的工作模式	236
四、GAL的编程	236
习题	239

第七章 A/D与D/A转换器	240
7.1 概述	240
7.2 D/A转换器	241
7.2.1 倒T型电阻网络D/A转换器	241
7.2.2 集成D/A转换器及主要技术参数	243
一、集成D/A转换器	243
二、主要技术参数	244
7.3 A/D转换器	245
7.3.1 A/D转换的一般步骤及分类	245
一、A/D转换的一般步骤	245
二、A/D转换器的分类	247
7.3.2 逐次渐近型A/D转换器	248
7.3.3 双积分型A/D转换器	251
习题	255
第八章 脉冲波形的产生与整形	257
8.1 概述	257
8.2 集成555定时器	258
8.2.1 电路结构及工作原理	259
一、电路结构	259
二、工作原理	261
8.2.2 应用电路实例	262
一、用555定时器构成施密特触发器	262
二、用555定时器构成单稳态触发器	263
三、用555定时器构成多谐振荡器	266
8.3 多谐振荡器	270
8.3.1 环形振荡器	270
一、最简单的环形振荡器	270
二、带RC延迟电路的环形振荡器	271
三、调频范围更宽的环形振荡电路	274
8.3.2 晶体振荡器	275
一、石英晶体的基本特性	275
二、CMOS石英晶体多谐振荡器	275
三、TTL石英晶体多谐振荡器	277

8.4 脉冲整形电路	278
8.4.1 用门电路构成施密特触发器	278
一、TTL与非门组成的施密特触发器	278
二、TTL集成施密特触发门电路	280
三、集成施密特触发器应用举例	280
8.4.2 用门电路构成单稳态触发器	280
一、TTL与非门组成的单稳态触发器	280
二、CMOS集成单稳态触发器	284
三、集成单稳态触发器应用举例	285
习题	286
参考文献	289

第一章 数字电路基础

1.1 概 述

在电子技术中，被传递、加工和处理的信号可以分为两大类：一类信号是模拟信号，这类信号的特征是，无论从时间上或从信号的大小上看都是连续变化的，用以传递、加工和处理模拟信号的电路叫做模拟电路；另一类信号是数字信号，数字信号的特征是，无论从时间上或大小上看都是离散的，或者说都是不连续的，传递、加工和处理数字信号的电路叫做数字电路。

与模拟电路相比，数字电路具有以下一些特点：

(1) 在数字电路中一般都采用二进制，因此凡元件具有的两个稳定状态都可用来表示二进制的两个数码，故其基本单元电路简单，对电路中各元件精度要求不很严格，允许元件参数有较大的分散性，只要能区分两种截然不同的状态即可。这一特点，对实现数字电路集成化是十分有利的。

(2) 抗干扰能力强、精度高。由于数字电路传递加工和处理的是二值信息，不易受外界的干扰，因而抗干扰能力强。另外它可用增加二进制数的位数来提高电路的精度。

(3) 数字信号便于长期存贮，使大量可贵的信息资源得以保存。

(4) 保密性好，在数字电路中可以进行加密处理，使一些可贵的信息资源不易被窃取。

(5) 通用性强，可以采用标准化的逻辑部件来构成各种各样的数字系统。

由于数字电路具有上述特点，发展十分迅速，因而在电子数字计算机、数控技术、通讯设备、数字仪表以及国民经济其他各

部门都得到了越来越广泛的应用。

1.2 数制和码制

一个数通常可以用两种不同的方法来表示：一种是按“值”表示。所谓按“值”表示，即选定某种进位制来表示出某个数值。这就是所谓的数制。按“值”表示时需要解决三个问题，一是恰当地选择“数字符号”及其组合规则；二是确定小数点的位置；三是正确表示出数的正、负符号。另一种是按“形”表示，所谓按“形”表示，就是按照一定的编码方法来形式地表示出某个数的值。采用按“形”表示时，先要确定编码规则，然后按此编码规则编出一组代码，并给每个代码赋以一定的含意。这就是所谓的码制。本章将介绍数字电路中常用的几种数制和码制。

1.2.1 常用计数制及其相互转换

同一数量可以用不同进位的计数制来计量，人们习惯于使用十进位计数制，而在数字电路中常采用二进位计数制、八进位计数制和十六进位计数制。下面将分别讨论各种进位计数制及其相互转换的规律。

一、十进位计数制

十进位计数制简称十进制，它是用0、1、2、3、4、5、6、7、8、9等十个数字符号的不同组合来表示一个数，当任何一位的数比9大1时，则向相邻高位进1，本位复0，叫做“逢十进一”。任何一个十进制数都可以用其幂的形式表示。例如：

$$\begin{aligned} 125.68 &= 1 \times 100 + 2 \times 10 + 5 \times 1 + 6 \times 0.1 + 8 \times 0.01 \\ &= 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

显然，任意一个十进制数 N ，可以表示为

$$\begin{aligned} (N)_{10} &= k_{n-1} \times 10^{n-1} + K_{n-2} \times 10^{n-2} + \dots + K_1 \times 10^1 + K_0 \\ &\quad \times 10^0 + K_{-1} \times 10^{-1} + K_{-2} \times 10^{-2} + \dots + K_{-m} \times 10^{-m} \end{aligned} \quad (1.1-1)$$

式中, n, m 为正整数; K_i 为系数, 是十进制数 $0 \sim 9$ 中的某一个, 10 是进位基数, 10^i 是十进制数的位权 ($i = n-1, n-2, \dots, 1, 0, -1, \dots, -m$) 表示系数 K_i 在十进制数中的地位。例如 10^2 前的 1 表示是 100。

对于任意 R 进制数 $(N)_R$ 可表示为

$$(N)_R = K_{n-1}R^{n-1} + K_{n-2}R^{n-2} + \dots + K_1R^1 + K_0R^0 + K_{-1}R^{-1} + K_{-2}R^{-2} + \dots + K_{-m}R^{-m} \quad (1.1-2)$$

式中 R 为计数的基数, R^i 为位权。 K_i 为相应位的系数。

二、二进制计数制

二进制计数制简称二进制, 它只有两个数字符号 0 和 1。其计数规律为“逢二进一”。当 $1+1$ 时, 本位复 0, 并向高位进 1, 即 $1+1=10$ (读作“壹零”)。一般二进制数可表示为

$$(N)_2 = K_{n-1} \times 2^{n-1} + K_{n-2} \times 2^{n-2} + \dots + K_1 \times 2^1 + K_0 \times 2^0 + K_{-1} \times 2^{-1} + K_{-2} \times 2^{-2} + \dots + K_{-m} \times 2^{-m} \quad (1.1-3)$$

式中 K_i 为系数; 2 为进位基数; 2^i 是位权。不同位数的位权分别为 $2^0, 2^1, 2^2, \dots, 2^{-1}, 2^{-2}, \dots$, 一个二进制数可按位权展开转换为十进制数。例如:

$$1101.101 \text{ B} \text{①} = (1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}) = 13.625 \text{ D} \text{②}$$

十进制数也可转换为二进制数, 整数部分可采用连续除 2 取余数法; 小数部分可采用连续乘 2 取整数法。例如, 将十进制数 13.625 转换为二进制数:

$ \begin{array}{r} 2 \overline{) 13} \\ \underline{2 } \\ 2 \overline{) 6} \text{ 余 } 1 \ K_0 \\ \underline{2 } \\ 2 \overline{) 3} \text{ 余 } 0 \ K_1 \\ \underline{2 } \\ 2 \overline{) 1} \text{ 余 } 1 \ K_2 \\ \underline{0} \\ 0 \text{ 余 } 1 \ K_3 \end{array} $	$ \begin{array}{r} 0.625 \\ \times \quad 2 \quad K_{-1}=1 \\ \hline 1.25 \\ 0.25 \\ \times \quad 2 \quad K_{-2}=0 \\ \hline 0.5 \\ 0.5 \\ \times \quad 2 \quad K_{-3}=1 \\ \hline 1.0 \end{array} $
---	--

① 系BiNary的缩写。② 系Decimal的缩写

故 $13.625D = 1101.101B$

三、八进位计数制和十六进位计数制

由于多位二进制数不便识别和记忆，因此在计算机的资料中常采用八进制数或十六进制数来表示二进制数。

1. 八进制数有八个数字符号：0、1、2、3、4、5、6、7，其计数规律为逢八进一，即 $7 + 1 = 10$ 。

八进制的基数是 2^3 ，因此二进制数与八进制数之间的转换非常简便。二进制数转换为八进制数时，从低位起每三位数分成一组，最高位不够三位数的补零，然后顺序写出对应的八进制数即可。例如：

$$1100110101111B = 14657Q^{①}$$

八进制数转换为二进制数时，其过程相反。用三位二进制数来替换一位八进制数，例如：

$$425Q = 100010101B$$

2. 十六进制数有十六个数字符号：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F。其计数规律为逢十六进一，即 $F + 1 = 10$ 。

十六进制的基数是 2^4 ，因此二进制数与十六进制数之间的相互转换也非常简便。二进制数转换为十六进制数时，从低位起每四位数分成一组，最高位不够四位数补零，然后顺序写出对应的十六进制数即可。例如：

$$1100110101111B = 19AFH^{②}$$

十六进制数转换为二进制数时，其过程相反。用四位二进制数替换一位十六进制数。

例如： $28ADH = 10100010101101B$

1.2.2 码 制

数字系统处理的信息，一类是数值，另一类是文字和符号，

① Q 系 Octal 开头字母 O 的代用符号

② H 系 Hexadecimal 的缩写