



数字电路

Youdian Gaodeng Xuexiao Zhuanke Jiaocai

邮电高等学校专科教材

余辉定 主编

人民邮电出版社

邮电高等学校专科教材

数 字 电 路

余辉定 主编

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书是经邮电部教学指导委员会审定的高等学校工程通信类、电子类专业的专科教材。

全书共八章,主要内容有:数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、大规模集成电路(RAM、ROM、PLD)、数模与模数转换、集成脉冲电路。各章末均附有习题。

本书除可作为高等学校通信类、电子类专业和其它专业大专层次的教材外,也可供相关专业的工程技术人员参考。

邮电高等学校专科教材

数字电路

余晖定 主编

责任编辑 滑玉

人民邮电出版社出版

北京朝阳门内大街杆杆胡同111号

北京顺义兴华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本: 850×1168 1/32 1995年10月第一版

印张: 12.625 1995年10月第1次印刷

字数: 331 千字 印数: 1—2 000册

ISBN 7-115-05644-7/TN·887

定价: 12.50元

前 言

本书是为通信类和电子类专业电子电路(数字电路部分)课程编写的教材。经邮电部专业基础教学指导委员会审定作为高等院校专科教材推荐出版。

数字电路课程是一门具有很强实践性的重要技术基础课程。考虑到课程的体系与高等理工专科的培养目标,本书在编写时注意突出与当前工程实际相关的内容,强调物理概念和工程计算,以及中、大规模数字集成电路和新型器件及其应用。

本书主要内容为:数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、大规模集成电路(RAM、ROM、PLD)、数模与模数转换、集成脉冲电路等。

本书第一、二、六、八章由余辉定编写,第三、七章由蔡玲玲编写,第四、五章由胡长林编写。

本书在出版过程中得到重庆大学金吉成教授、南京邮电学院陈锡生教授、刘永健教授、奚柏清教授,重庆邮电学院洪生副教授,西安邮电学院胡宏一副教授等同行的指教,作者在此谨向这些同志表示衷心的感谢!由于我们的水平有限,加之编写大专层次的数字电路教材对我们也是一个新的课题,故深盼得到读者和同行的指正。

编 者

一九九五年三月于南京邮电学院

目 录

第一章 数字逻辑基础.....	1
第一节 数制和编码.....	1
一、数字量与数字信号.....	1
二、计数进位制.....	2
三、二进制编码.....	5
第二节 逻辑代数基础.....	8
一、逻辑变量.....	8
二、基本逻辑运算.....	9
三、复合逻辑运算.....	13
四、逻辑函数.....	14
五、逻辑代数的公式和运算规则.....	16
六、逻辑函数的代数表达式.....	20
第三节 逻辑函数的公式化简法.....	24
一、逻辑函数化简的意义和标准.....	24
二、几种常用的公式化简法.....	24
第四节 逻辑函数的卡诺图化简法.....	26
一、最小项的卡诺图.....	26
二、逻辑函数的卡诺图.....	28
三、逻辑函数的卡诺图化简法.....	30
习题.....	36
第二章 逻辑门电路.....	40
第一节 晶体管的开关特性.....	40
一、静态开关特性.....	40
二、瞬态开关特性.....	42

三、三极管反相器负载能力的估算	43
第二节 TTL 集成门电路	44
一、概述	44
二、典型的 TTL 与非门	45
三、TTL 门的电气特性和主要参数	47
四、集电极开路的 TTL 门(OC 门)电路	55
五、三态 TTL 门电路	58
六、其它类型的 TTL 门电路	60
七、其它 TTL 系列和其它双极型门电路	63
八、正逻辑门和负逻辑门	65
第三节 CMOS 集成门电路	66
一、概述	66
二、CMOS 反相器	67
三、CMOS 与非门和或非门	73
四、CMOS 传输门	75
五、CMOS 异或门	76
六、CMOS 三态门和漏极开路门	77
第四节 门电路的使用和连接	79
一、输入和输出端的连接和处理	79
二、TTL 和 CMOS 的接口电路	81
习题	83
第三章 组合逻辑电路	90
第一节 组合逻辑电路的分析与设计	90
一、组合逻辑电路的基本特点	90
二、组合逻辑电路的分析	91
三、混合逻辑的组合电路分析	92
四、组合逻辑电路设计	97
第二节 组合网络的竞争冒险	101
一、竞争冒险的存在	101

二、逻辑冒险和功能冒险	102
三、克服冒险的措施	104
第三节 编码器	106
一、二进制编码器	106
二、八线——三线优先编码器	108
三、二—十进制优先编码器	111
第四节 译码器	112
一、变量译码器	113
二、码制变换译码器	117
三、数字显示译码器	121
第五节 数值比较器	127
一、一位数值比较器	127
二、集成四位数值比较器	128
第六节 加法器	131
一、全加器	131
二、多位加法器	133
第七节 奇偶发生器/检验器	136
一、九位奇偶发生器/检验器	136
二、奇偶检验系统	137
第八节 数据选择器	139
一、四选一数据选择器	139
二、八选一数据选择器	140
三、数据选择器构成的函数发生器	142
习题	149
第四章 集成触发器	154
第一节 基本RS触发器	154
一、工作原理	154
二、触发器功能的描述	157
第二节 钟控D触发器	159

第三节 TTL 主从触发器	161
一、主从 RS 触发器	161
二、主从 JK 触发器	163
第四节 边沿型触发器	166
一、维持-阻塞 D 触发器	166
二、下降沿触发的边沿 JK 触发器	170
第五节 CMOS 边沿触发器	171
一、CMOS 边沿 D 触发器	171
二、CMOS 边沿 JK 触发器	174
* 第六节 触发器类型的转换	175
习题	178
第五章 时序逻辑电路	183
第一节 时序电路的特点及分析方法	183
一、时序逻辑电路的特点与分类	183
二、时序电路的分析方法	184
第二节 寄存器和移位寄存器	190
一、寄存器和移位寄存器	190
二、中规模集成移位寄存器	194
第三节 同步计数器	199
一、二进制和十进制同步计数器	199
二、同步计数器的设计	203
三、中规模集成同步计数器	206
第四节 异步计数器	209
一、二进制异步计数器	210
二、十进制异步计数器	212
三、中规模集成异步计数器	214
第五节 任意进制计数/分频电路	218
一、用异步复零法构成任意进制计数器	219
二、用同步置数法构成任意进制计数器	225

第六节 移存型计数器	231
一、触发器构成的移存型计数器	231
二、中规模集成器件构成的移存型计数器	233
第七节 序列信号发生器	238
一、序列信号发生器的分析	238
二、给定序列信号时的序列发生器的设计	239
三、只给出序列长度的序列发生器的设计	243
第八节 分配器	249
一、脉冲分配器	249
二、节拍分配器	250
习题	257
第六章 大规模集成电路——RAM、ROM、PLD	268
第一节 半导体存储器	268
一、概述	268
二、随机存储器(RAM)	269
三、只读存储器(ROM)	274
第二节 可编程逻辑器件 PLD	284
一、概述	284
二、可编程阵列逻辑器件 PAL	288
三、通用阵列逻辑器件 GAL	292
第三节 PLD 器件的开发	301
一、PLD 器件的开发过程	301
二、GAL 器件开发举例	303
习题	311
第七章 数模和模数转换	312
第一节 数模(D/A)转换	312
一、D/A 转换器的基本工作原理	312
二、D/A 转换器	314
三、D/A 转换器的主要技术指标	321

第二节 模数(A/D)转换	323
一、抽样与保持	323
二、量化与编码	325
三、A/D 转换器	327
四、A/D 转换器的主要技术指标	336
* 第三节 集成 D/A 转换器(DAC0832)	336
一、参数特性及管脚说明	337
二、DAC0832 与单片机的接口	340
* 第四节 集成 A/D 转换器(ADC0801)	341
一、参数特性	342
二、ADC0801 与单片机的接口	343
习题	344
第八章 脉冲单元电路	346
第一节 多谐振荡器	346
一、电容正反馈多谐振荡器	347
二、环型多谐振荡器	351
三、石英晶体多谐振荡器	353
四、矩形脉冲参数	354
第二节 单稳态触发器	355
一、用门电路组成的单稳态触发器	356
二、集成单稳态触发器	358
三、单稳态触发器的应用	362
第三节 施密特触发器	364
一、门电路组成的施密特触发器	366
二、集成施密特触发器	368
三、施密特触发器的典型应用	370
第四节 555 集成定时器及其应用	372
一、555 集成定时器	372
二、555 定时器接成多谐振荡器	374

三、555 定时器接成单稳态触发器	376
四、555 定时器接成施密特触发器	377
五、利用 555 定时器构成锯齿电压发生器	378
习题	380
附录	386

第一章 数字逻辑基础

数字电路是用来对数字信息进行存储、变换和控制的电子电路。数字电路的逻辑功能依赖于电路所具有的逻辑关系。本章着重讨论对数字电路逻辑关系进行分析的基本方法。

第一节 数制和编码

一、数字量与数字信号

通常把随时间作连续变化的物理量称为模拟量，用模拟量表征的信号称为模拟信号。在某一瞬间，模拟信号可以是某一数值区间内的任何值。而数字量在时间上和数值上都是不连续的，其变化总是发生在一系列离散的瞬间，其数值大小和增减变化总是一个最小数量单位的整数倍。例如，对工厂生产线输出的产品进行计数，总是在每个产品输出瞬间进行，其计数值总是一个产品（最小数量单位）的整数倍。因此，小于这个最小数量单位值的变化没有任何物理意义。

用数字量表征的信号称为数字信号。由 0 和 1 组成的二值数字信号最为常见，如图 1.1.1 所示。其中 U_H 称为高电平，用数字“1”表征； U_L 称为低电平，用数字



图 1.1.1 最常见的数字信号

“0”表征。则图 1.1.1 所示信号表示的数字信息是 10011。

通常把工作于数字信号下的电子电路称为数字电路。

二、计数进位制

计数进位制简称为数制。在数字领域中常用的数制有十进制、二进制、八进制、十六进制等。

1. 十进制

十进制最为人们熟悉，它具有 0、1、……、9 共 10 个数码，低位数码到相邻高位数码的进位是逢十进一。例如，对十进制数 158，有

$$(158)_D = 1 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 8 \times 10^0$$

式中，左边为数的位置计数形式，右边是数的多项式形式。我们用下标“D”或下标“10”表示这是一个十进制数。

对于有 n 位整数的任意十进制数，有

$$(d_{n-1}d_{n-2}\cdots d_0)_D = \left(\sum_{i=0}^{n-1} d_i \times 10^i \right)$$

通常称 10^i 为该十进制数第 i 位数码 d_i 的位权，这个“10”即为十进制数的基数。显然，每一位数码的位权说明该位数码在数中的“份量”。将位置计数形式的数写成各位数码与其位权之积的和，即能将位置计数形式展开为多项式形式。

2. 二进制

二进制是在数字电路中广泛应用的一种数制。它只有 0、1 两个数码，进位规律是逢二进一。二进制的基数为 2，故其第 i 位数码的位权是 2^i 。对一个 n 位整数的二进制数，其展开式为

$$(b_{n-1}b_{n-2}\cdots b_0)_B = b_{n-1} \times 2^{n-1} + b_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + b_0 \times 2^0 = \sum_{i=0}^{n-1} b_i \times 2^i$$

通常以下标“B”或下标“2”或直接在数后加写“B”表示这是二进制数。例如

$$\begin{aligned}(10011110)_B &= (10011110)_2 \\ &= 10011110B \\ &= 1 \times 2^7 + 0 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 \\ &\quad + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = (158)_{10}\end{aligned}$$

3. 八进制

八进制数具有 0、1、……7 共八个数码，基数为 8，进位是逢八进一，其第 i 位数码的位权是 8^i 。

对于一个 n 位八进制整数，有

$$\begin{aligned}(q_{n-1}q_{n-2}\cdots q_0)_Q &= q_{n-1} \times 8^{n-1} + q_{n-2} \times 8^{n-2} + \cdots + q_0 \times 8^0 \\ &= \sum_{i=0}^{n-1} q_i \times 8^i\end{aligned}$$

在用位置计数形式写八进制数时，通常以下标“Q”或下标“8”或直接在数后加写“Q”表示这是一个八进制数。例如

$$\begin{aligned}(236)_Q &= (236)_8 = 236Q \\ &= 2 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 6 \times 8^0 = (158)_{10}\end{aligned}$$

4. 十六进制

十六进制有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F，共 16 个数码符号，其中 A~F 等六个符号分别表示 10~15。十六进制的基数为十六，其进位规律为逢十六进一，其第 i 位数码的位权是 16^i 。 n 位整数的十六进制数可表示为

$$\begin{aligned}(h_{n-1}h_{n-2}\cdots h_0)_H &= h_{n-1} \times 16^{n-1} + h_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + h_0 \times 16^0 \\ &= \sum_{i=0}^{n-1} h_i \times 16^i\end{aligned}$$

用位置计数形式写十六进制数时，用下标“H”或下标“16”或直接在数后加写“H”表示该数是十六进制数。例如

$$\begin{aligned}(9E)_H &= (9E)_{16} = 9EH \\ &= 9 \times 16^1 + 14 \times 16^0 = (158)_{10}\end{aligned}$$

比较二进制、八进制、十六进制可以发现，用这些进制表示同一个数值，八进制和十六进制要比二进制简单多了。因此在书写计算机程序时，八进制尤其是十六进制得到了广泛使用。

5. 不同数制间的转换

同一个数，可以根据需要，从一种数制形式转换为另一种数制形式。下面介绍转换的方法，为简单起见，仅讨论整数形式数的转换。

(1) 非十进制数转换为十进制数

这只需将该数写成按位权展开的多项式形式并按十进制求和, 即可得到该数的十进制形式。表 1.1.1 为十进制数 0~15 与对应的二进制、八进制、十六进制数间的对照表。

表 1.1.1 十、二、八、十六进制对照表

十进制	二进制	八进制	十六进制	十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0000	0	0	8	1000	10	8
1	0001	1	1	9	1001	11	9
2	0010	2	2	10	1010	12	A
3	0011	3	3	11	1011	13	B
4	0100	4	4	12	1100	14	C
5	0101	5	5	13	1101	15	D
6	0110	6	6	14	1110	16	E
7	0111	7	7	15	1111	17	F

(2) 十进制数转换为二进制数

设十进制整数 $(M)_{10}$ 可转换为二进制整数 $b_{n-1}b_{n-2}\cdots b_0$, 则有

$$(M)_{10} = 2 \times (b_{n-1} \times 2^{n-2} + b_{n-2} \times 2^{n-3} + \cdots + b_1) + b_0$$

将上式两边除以 2, 商为 $b_{n-1} \times 2^{n-2} + b_{n-2} \times 2^{n-3} + \cdots + b_1$, 余数为 b_0 , 即 $\frac{M}{2}$ 的余数即为所转换的二进制数的最低位 (LSB), 即 b_0 。

显然, 将商式再除 2 并求余数, 即可得到 b_1 , 由此类推, 用连续除 2 求余数的方法可依次求得所转换的二进制数各位数码, 直到最高位的 b_{n-1} (MSB)。例如, 将 $(158)_D$ 转换为二进制数, 可按下述求得:

$$\begin{array}{rcl}
 2 \overline{) 158} & & \\
 \underline{2 79} & & \text{余数} = 0 = b_0 \\
 2 \overline{) 79} & & \text{余数} = 1 = b_1 \\
 \underline{2 39} & & \text{余数} = 1 = b_2 \\
 2 \overline{) 39} & & \text{余数} = 1 = b_3 \\
 \underline{2 19} & & \text{余数} = 1 = b_4 \\
 2 \overline{) 19} & & \text{余数} = 0 = b_5 \\
 \underline{2 9} & & \text{余数} = 0 = b_6 \\
 2 \overline{) 9} & & \text{余数} = 1 = b_7 \\
 \underline{2 4} & & \\
 \underline{2 2} & & \\
 \underline{2 1} & & \\
 0 & &
 \end{array}$$

这个过程直到商为 0 才止，并且最高位 b_{n-1} 一定是 1。由上面运算可得

$$(158)_{10} = (10011110)_2$$

(3) 二进制、八进制、十六进制间的转换

由表 1.1.1 可见，一位八进制数对应三位二进制数，一位十六进制数对应四位二进制数，据此，八进制及十六进制与二进制间相互转换不难实现。

例如，将二进制数 $(10101110)_2$ 分别转换为八进制数和十六进制数。

$$\begin{array}{ccc} (010, 101, 110)_2 & & (1010, 1110)_2 \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow & & \downarrow \quad \downarrow \\ (2 \quad 5 \quad 6)_8 & & (A \quad E)_{16} \end{array}$$

$$\therefore (10101110)_2 = (256)_8 = (AE)_{16}$$

将二进制整数由最低位开始划分为三位或四位一组转换为八进制或十六进制数时，若分组不足三位或四位时，应以 0 数码补足，如上例中虚点线所示。

再例如，将 $(326)_8$ 和 $(4F)_{16}$ 分别转换为二进制数。

$$\begin{array}{ccc} (3 \quad 2 \quad 6)_8 & & (4 \quad F)_{16} \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow & & \downarrow \quad \downarrow \\ (011 \ 010 \ 110)_2 & & (0100 \ 1111)_2 \end{array}$$

$$\therefore (326)_8 = (11010110)_2, (4F)_{16} = (1001111)_2$$

注意转换后的二进制整数最高位 0 是无意义的，应除去。

三、二进制编码

在数字系统中，用 0 和 1 组成的二进制数码不仅可以用来表示数值大小，还可以用来表示特定的信息，这一过程称为二进制编码。编码得到的二进制数码称为代码。常见的二进制编码有二—十进制码（又称 BCD 码），循环码、奇偶校验码等。

1. BCD 码

在二进制中，一位代码只有 0、1 两种组态，可以方便地由开关电路的“开”与“关”两状态模拟。但人们熟悉的是十进制，兼顾两者便有了用二进制代码对十进制数的编码——二—十进制码 (Binary Coded Decimal Codes)，简称为 BCD 码。

表示十进制数字 0~9，需要用四位二进制码。由于四位二进制码共有 16 种组态，从中取出十种来表示 0~9 有许多种方案，故 BCD 码有多种形式。常见的 BCD 码如表 1.1.2 所示。

表 1.1.2 几种常用的 BCD 码

十进制数	8421 码	2421 码	5421 码	余 3 码	单位间距码
0	0000	0000	0000	0011	0000
1	0001	0001	0001	0100	0001
2	0010	0010	0010	0101	0011
3	0011	0011	0011	0110	0010
4	0100	0100	0100	0111	0110
5	0101	1011	1000	1000	0111
6	0110	1100	1001	1001	0101
7	0111	1101	1010	1010	0100
8	1000	1110	1011	1011	1100
9	1001	1111	1100	1100	1000

BCD 码可分为有权码和无权码。

8421 码是最常用的一种有权 BCD 码。和四位二进制数一样，它由高位到低位的位权分别是 8、4、2、1，便于记忆。

2421 码和 5421 码也是有权 BCD 码，它们的位权分别是 2、4、2、1 和 5、4、2、1。2421 码有两种，表 1.1.2 中列出的 2421 码称为 2421 (B) 码，这是一种自补码。将一个十进制数 d (例如 3) 所对应的 2421 (B) 码各位取反，即 0 变为 1；1 变为 0，所得的另一组 2421 (B) 码所对应的十进制数正好是 $(9-d)$ 。

有权 BCD 码各位 1 代码位权之和即为所表示的十进制数。

余 3 码属于无权码。这种代码组成的四位二进制数正好比它所代表的十进制数多 3，故叫做余 3 码。这也是一种自补码。此外，两