

高等学校试用教材

数字逻辑电路

王 楚 沈伯弘 编

高等教育出版社

高等学校试用教材

数字逻辑电路

王楚 沈伯弘 编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书经国家教育委员会高等学校理科无线电专业教材编审委员会审评,由徐惠民同志审阅,同意作为试用教材出版。

全书共九章。前五章是逻辑电路基础,以基本概念和基本原理为主线,讨论逻辑电路的分析与设计的基本方法。第六章是二进制数的各类运算电路,起到承上启下的作用。后三章主要介绍微处理器和程序设计的基本知识,可编程芯片的基本结构与功能。

本书可作为高等院校无线电类专业教材,也可作为大专院校师生和工程技术人员的参考书。

高等学校试用教材

数 字 逻 辑 电 路

王楚 沈伯弘 编

人民教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京第二新华印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 17.5 字数 420 000
1989 年 10 月第 1 版 1989 年 10 月第 1 次印刷

印数 0001—2 650

ISBN7-04-002425-X/TN·125

定价 4.15 元

序

本书是在北京大学无线电电子学系的教学讲义的基础上编写的。按教委理科无线电专业教材编审委员会审定的教学大纲,在学习本课程以前,学生已具备关于门电路及有关的基本知识,也具有使用微型计算机的初步训练。为了便于阅读,本书对重要的基本知识仍做必要的回顾。

本书共九章。前五章是逻辑电路的基础,讨论逻辑电路分析与设计的基本方法。这五章以基本概念和基本原理为主线,而不以是否集成电路或集成电路的规模划分。这种写法的目的,是希望能有助于提高学生的理解能力和科学思维素养,以适应新技术的发展。

微处理器和各种可编程芯片已成为常用的逻辑部件。由于这些器件的广泛应用,简单的程序设计已日益成为电路系统设计的一个部分。本书的后三章介绍关于微处理器和程序设计的基本知识,以及可编程芯片的基本结构与功能。就电路的工作原理来说,这些芯片可视为综合应用基本电路的例子;就电路系统的设计而言,这些芯片的组合关系已经规格化,并使程序设计占有重要的地位,这与前五章又有差别。

审稿人徐惠民同志对本书提出了许多宝贵的意见,作者特在此致谢。

由于作者的水平有限,本书难免有不当或错误之处,我们欢迎大家提出批评或建议。

北京大学无线电电子学系

王 楚 沈伯弘

1988年9月

目 录

第一章 代码与逻辑变量	1
§ 1.1 代码	1
1.1.1 进位计数制——数的幂级数表示法	1
1.1.2 不同进制数码的转换	3
1.1.3 代码的意义	6
§ 1.2 逻辑变量及逻辑运算	8
1.2.1 逻辑数与逻辑变量	8
1.2.2 等式与反变量	9
1.2.3 或运算及与运算	10
1.2.4 同运算及异或运算	12
1.2.5 真值表	13
§ 1.3 逻辑函数的图示	14
1.3.1 逻辑函数的图示方法	14
1.3.2 逻辑运算的几何意义	15
1.3.3 多自变量真值图	17
§ 1.4 门电路之组成	20
1.4.1 开关电路	20
1.4.2 并联电路	24
1.4.3 门的逻辑符号	27
§ 1.5 门电路的基本问题	29
1.5.1 负载与输出级	29
1.5.2 传输延迟时间	35
1.5.3 逻辑电平与噪声容限	42
§ 1.6 动态逻辑电路简述	45
1.6.1 动态有比 MOS 门电路	45
1.6.2 动态无比 MOS 门电路	47

1.6.3 动态移位寄存器	48
§ 1.7 常用的代码	49
1.7.1 有权码和循环码	49
1.7.2 二十进制码(Binary Coded Decimal)	51
1.7.3 字符编码(Alphanumeric Code)	54
1.7.4 汉字编码	58
1.7.5 检错码与纠错码	59
附 录 MOS 门电路符号说明	63
习题	65
第二章 逻辑函数	69
§ 2.1 逻辑代数基础	69
2.1.1 代数的普遍定律	69
2.1.2 对偶性与互补性	72
2.1.3 重叠律与互补律	74
2.1.4 0-1 律——变量与常量运算	75
2.1.5 调换律	76
§ 2.2 逻辑函数	78
2.2.1 逻辑函数之导出	78
2.2.2 译码函数——最小项、最大项	80
2.2.3 编码函数	82
2.2.4 逻辑函数的标准形式	84
2.2.5 逻辑函数的同、异或标准式	87
§ 2.3 逻辑函数的化简	88
2.3.1 吸收律	88
2.3.2 函数化简的基本方法	90
2.3.3 禁止态	92
2.3.4 化简为其它逻辑形式	96
§ 2.4 只含一种形式的自变量的函数	99
2.4.1 封锁概念的引入	99
2.4.2 例	101
2.4.3 异或化简式	103

习题	105
第三章 组合逻辑电路	108
§ 3.1 引言	109
3.1.1 组合逻辑电路之组成	109
3.1.2 控制门	110
3.1.3 混合逻辑图	113
§ 3.2 简单的集成逻辑电路三例	117
3.2.1 优先权排队电路	117
3.2.2 二进制码(B码)与格雷码(G码)变换电路	119
3.2.3 8-4-2-1BCD码七段数字显示译码器	120
§ 3.3 集成数字开关	123
3.3.1 分配器	123
3.3.2 选择器	125
3.3.3 双向模拟数字开关	129
§ 3.4 多变量组合逻辑电路	130
3.4.1 多因变量电路的化简	130
3.4.2 译码矩阵和编码矩阵	131
3.4.3 分组译码	134
3.4.4 子函数矩阵	135
3.4.5 键盘的分组编码	137
§ 3.5 只读存储器	138
3.5.1 只读存储器的分类	138
3.5.2 存储量及时序	142
§ 3.6 ROM 应用之例	145
3.6.1 字符发生器	145
3.6.2 函数(波形)发生器	149
3.6.3 数值运算器	151
§ 3.7 竞争与冒险	154
3.7.1 冒险现象	154
3.7.2 动态冒险	158
3.7.3 静态冒险的判别与消除	159

3.7.4 选通排除冒险	162
习题	163
第四章 反馈与存储器	166
§ 4.1 反馈电路的分析方法	166
4.1.1 反馈与逻辑稳定态	166
4.1.2 状态转换过程	170
4.1.3 状态转换图	173
§ 4.2 门锁及含门锁电路的稳定性	175
4.2.1 R-S 门锁	175
4.2.2 “写入”、“读出”控制	177
4.2.3 含门锁的反馈电路及其稳定性	180
§ 4.3 集成触发器	185
4.3.1 触发器的组成及其描述方法	185
4.3.2 D 触发器	189
4.3.3 T 触发器	191
4.3.4 J-K 触发器	193
§ 4.4 计数器	195
4.4.1 二进制计数器	195
4.4.2 二十进制计数器	199
4.4.3 集成计数器的输入、输出电路	202
4.4.4 置数(置位)	205
4.4.5 时钟	208
§ 4.5 移位寄存器	209
4.5.1 触发器组成的移位寄存器	209
4.5.2 动态移位存储器	211
4.5.3 电荷耦合器件(CCD)	213
§ 4.6 随机存取存储器	218
4.6.1 静态门锁矩阵	218
4.6.2 随机存取存储器(Random Access Memory)	221
4.6.3 动态RAM的存储单元	223
习题	225

第五章 时序逻辑电路的分析与设计	230
§ 5.1 异步时序逻辑电路的逻辑设计.....	230
5.1.1 异步时序逻辑电路的设计方法.....	230
5.1.2 状态的设置与化简.....	234
5.1.3 状态代码.....	236
5.1.4 多余状态.....	238
§ 5.2 复合环形状态转换图.....	240
5.2.1 维持-阻塞电路的设计.....	240
5.2.2 复合环形状态转换图.....	242
§ 5.3 同步时序逻辑电路分析.....	243
5.3.1 同步时序逻辑电路的组成.....	243
5.3.2 不受输入控制的电路.....	245
5.3.3 受输入控制的电路.....	251
§ 5.4 同步时序逻辑电路的逻辑设计.....	254
5.4.1 不受输入控制的电路的逻辑设计.....	254
5.4.2 完全状态转换表的设计.....	258
5.4.3 反馈置位.....	262
5.4.4 受输入控制的电路的逻辑设计.....	265
5.4.5 用 PLA 设计同步时序逻辑电路.....	269
§ 5.5 串行通信接口.....	272
5.5.1 数据的串行传送.....	272
5.5.2 并行-串行变换.....	276
5.5.3 同步信号的接收.....	277
5.5.4 异步信号的接收.....	279
习题.....	280
第六章 二进制数的运算电路	286
§ 6.1 二进制数的机器操作.....	286
6.1.1 机器中的数码.....	286
6.1.2 码型变换与加法运算.....	288
6.1.3 反码.....	290
6.1.4 乘法运算.....	291

6.1.5	定点数与浮点数	294
6.1.6	除法运算	295
§ 6.2	加减运算电路	297
6.2.1	数字比较器与半减器	297
6.2.2	加减器	301
6.2.3	并行进(借)位加减器	303
§ 6.3	算术逻辑单元 (Arithmetic and Logic Unit)	304
6.3.1	全加器实现逻辑运算	304
6.3.2	组合信号的算术运算	307
6.3.3	ALU 电路	308
6.3.4	十进制调整	310
§ 6.4	运算器与控制器	311
6.4.1	微处理器(Microprocessor)	311
6.4.2	位片式运算器(RALU)	313
6.4.3	控制单元(CCU)	316
§ 6.5	模拟量与数字量之间的变换	321
6.5.1	数字/模拟变换	321
6.5.2	采样保持电路	324
6.5.3	逐次比较模拟/数字变换原理	326
习题		330
第七章 CPU 型微处理器及汇编语言程序		332
§ 7.1	CPU 型微处理器	333
7.1.1	CPU 型微处理器的特点	333
7.1.2	8 位 CPU 的基本结构	334
7.1.3	读、写控制	337
7.1.4	其它状态控制信号	343
7.1.5	Z-80CPU 的特点	345
§ 7.2	汇编语言的指令	346
7.2.1	机器指令之组成	346
7.2.2	汇编语言的指令格式	347
7.2.3	寻址方式	349

7.2.4 基本指令简介	353
§ 7.3 运算与转移指令	355
7.3.1 算术逻辑运算指令	355
7.3.2 转移(Jump) 指令	357
7.3.3 移位(Shift) 和循环指令	361
7.3.4 位操作(Bit Manipulation) 指令	365
§ 7.4 循环程序与有关的指令	366
7.4.1 循环程序	366
7.4.2 DJNZ 指令	370
7.4.3 数据块传送指令	371
7.4.4 数据块搜索指令	373
§ 7.5 程序的组成与执行	374
7.5.1 程序段在地址空间的分布	374
7.5.2 子程序调用	376
7.5.3 中断 (Interrupt)	378
§ 7.6 汇编程序的辅助指令	381
7.6.1 伪指令	381
7.6.2 宏汇编和条件汇编简介	384
§ 7.7 几种常用的 CPU 型微处理器	385
7.7.1 8085 型微处理器	386
7.7.2 6800 型微处理器	389
7.7.3 8086 型 16 位 CPU	391
习题	397
第八章 接口电路	403
§ 8.1 并行输入/输出的工作方式	403
8.1.1 I/O 接口电路的作用与无条件传送	403
8.1.2 异步查询传送方式	405
8.1.3 程序中断传送方式	407
8.1.4 通用的并行接口	408
§ 8.2 中断控制电路	410
8.2.1 中断控制和中断程序	410

8.2.2	8214 型中断控制单元	412
8.2.3	8214 的级联	416
§ 8.3	可编程并行接口	418
8.3.1	8255 型可编程并行接口	418
8.3.2	Z80-PIO	422
§ 8.4	可编程串行接口	427
8.4.1	8251 型串行接口的结构	427
8.4.2	8251 的控制字与初始化程序	430
§ 8.5	可编程计数器/定时器	433
8.5.1	Z80-CTC	433
8.5.2	8253 型计数器/定时器	436
§ 8.6	存储器直接存取控制器(DMAC)	441
8.6.1	Z80-DMAC 的结构	441
8.6.2	Z80-DMAC 的指令	444
8.6.3	初始化程序举例	450
8.6.4	两字节数据快速传送	451
习题		452
第九章	简单的微处理器系统	457
§ 9.1	微处理器系统的组成	457
9.1.1	微处理器系统的特点	457
9.1.2	系统的硬件	458
9.1.3	系统的软件	464
§ 9.2	TP-801A 单板机	465
9.2.1	存储器与 CTC	465
9.2.2	显示器与键盘接口	468
9.2.3	键位信息的识别和处理	476
9.2.4	EPROM 的写入(编程)方法	480
9.2.5	音频磁带机接口	483
9.2.6	其它命令键	487
§ 9.3	单片微型计算机	487
9.3.1	单片微型计算机的组成	487

9.3.2 MCS-48 指令系统简介.....	492
9.3.3 MCS-48 系列的扩展.....	495
9.3.4 MCS-48 系列其它扩展举例.....	500
§ 9.4 系统的总线.....	504
9.4.1 总线的作用.....	504
9.4.2 RS-232 - C.....	505
9.4.3 IEEE-488 仪器 总线.....	507
9.4.4 S-100 总线.....	510
9.4.5 多总线 (Multibus).....	513
附录 Intel Hex 数据块 格式.....	516
习题.....	517
附录一 Z-80 指令表.....	522
附录二 MCS-48 指 令 表.....	532
附录三 部分国家标准逻辑元件图形符号 和沿用符号对照表.....	539
主要参考文献.....	545

第一章 代码与逻辑变量

提 要

本章是准备知识,重点是代码与逻辑运算的概念,以及门电路的分析方法。

§ 1.1 从进位计数制出发,介绍代码的概念,并说明数制变换实际上是一种代码变换。

§ 1.2 着重从因果关系说明逻辑数、逻辑函数的意义。读者应尽量用逻辑推理来理解简单的公式。§ 1.3 的要点是逻辑运算的几何意义。

§ 1.4 介绍用等效开关电路分析门电路的方法,读者应多练习用这种方法分析实际电路。

§ 1.5 为使用逻辑电路的基本常识。§ 1.6 简单介绍了动态逻辑电路,但这只是关于新器件的一些常识。§ 1.7 是为后面有关章节准备资料,暂时可不深究。

§ 1.1 代 码

1.1.1 进位计数制——数的幂级数表示法

人们常用十进制计数法表示数,简称为十进制数。十进制数有0~9十个基本符号,表示从零开始递增的十个正整数,它们叫做基数。基数符号的各种不同排列,表示不同的数。排列在特定位置的基数符号表示的数,是该基数与某一特定数的积,这个特

定数就叫做这个位置的权。例如，通常所说的“个位”、“十位”，便是指该位置的权为“1”、“10”。

十进制计数法规定，以小数点作为确定基数符位置的标志。基数符在排列中的位置可用整数 i 表示，小数点左边第一位的位置数为 $i=0$ ，每左移一位则位置数加 1，每右移一位则位置数减 1。所谓十进制计数法，是规定 i 位置的权为

$$Q_i = 10^i$$

一种特定排列表的数，是各位置上的符号表示的数和对应权乘积之和。例如，十进制符号“507.12”表示的数为

$$N = 5 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 1 \times 10^{-1} + 2 \times 10^{-2}$$

就是说，进位计数法是用特定的幂级数表示数。所谓“十进制”，是指权为以十为底的方幂，且必对应应有十个基本数。

一般地说，若有正整数 $R (R \geq 2)$ ，也可以 R^i 为权，以 R 个符号表示基数 $0 \sim (R-1)$ ，则数 N 可用幂级数表示为

$$N = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i R^i \quad (1.1.1)$$

利用上式中的基数符 a_i ，可将 N 记为

$$N = (a_{n-1}a_{n-2} \cdots a_0 \cdot a_{-1} \cdots a_{-m+1}a_{-m})_R$$

或

$$N = a_{n-1}a_{n-2} \cdots a_0 \cdot a_{-1} \cdots a_{-m+1}a_{-m} \pmod{R}$$

这种计数法叫做“ R 进制”计数法，式(1.1.1)为其定义式， R 称为计数法的模(mod)。在数 N 的两种表示法中，用下角标或(mod= R)来标明模，在不致混淆时也可不标明模。显然，十进制计数法是 $R=10$ 时的进位计数法。还应注意，以上只是正数表示法，作为一个完整的计数法，还需规定负数的表示方法。

若在式(1.1.1)中， R^i 的系数为 B_j ，且 B_j 为不小于 R 的数，且必有非负数 C_j ，使

$$B_j = R + C_j$$

则 $B_j R^j$ 表示的数为

$$B_j R^j = (R + C_j) R^j = R^{j+1} + C_j R^j \quad (1.1.2)$$

上式表明, 若系数为 R 则向高位进 1。这就是 R 进制计数法的进位、借位规则, 简称为“逢 R 进一”。由此可见, 在进位计数制中, 系数只能是小于 R 的正整数, 也就是可用基数符表示系数。

日常用的计数制, 除十进制外还有十二进制、二十四进制、六十进制等。在机器中则常用二进制, 因二进制仅需两个基数符号, 便于用电路的两种物理状态来表示。与二进制密切联系的有八进制和十六进制。在 R 不大于 10 时, 常用阿拉伯基数符作为基数符号, 使与十进制基数符有相同的含义。在 R 大于 10 时, 还要再规定一些符号。例如, 对于十六进制数, 还规定用“ A ”、“ B ”、“ C ”、“ D ”、“ E ”、“ F ”六个符号, 依次表示 10~15 六个基数。

综上所述, “数”要通过有特定含义的符号才能表示出来。人们只是通过对符号的理解, 才知道符号表示的具体的“数”。表示数的符号, 叫做数的代码, 简称数码。

1.1.2 不同进制数码的转换

人们习惯于理解十进制数码。若要将 R 进制数码, 转换为等值的十进制数码, 则只要按 (1.1.1) 式将模 R 和基数符用十进制码表示, 再按十进制运算规则运算即可得到。

【例 1.1】 将 $(AE7)_{16}$ 表示为等值的十进制数码。

解 $(AE7)_{16} = 10 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 7 \times 16^0 = (2791)_{10}$

要将十进制数 N 表示为 R 进制数, 需要进一步理解 (1.1.1) 式。(1.1.1) 式中的系数 a_i 必不大于 $R-1$, 且最高次的系数 a_{n-1} 至少为“1”。因此

$$R^{n-1} \leq N \leq \sum_{i=-m}^{n-1} (R-1)R^i = R^n - R^{-m}$$

因而必有

$$R^n > N \geq R^{n-1} \quad (1.1.3)$$

由(1.1.3)式得

$$n > \lg N / \lg R \geq n-1 \quad (1.1.4)$$

故只要给定 $(N)_{10}$, 就可由(1.1.4)式得到它的 R 进制数码的最高位数。在确定了最高位之后, 用最高位的权 R^{n-1} 除 N , 其整数商为最高位的系数, 余数为其余各位和。再由余数仍按此式得次高位系数……。依此, 可得所需的各位基数符。

[例 1.2] 用十六进制数码表示 $(2803)_{10}$ 。

解 $\lg 2803 / \lg 16 \approx 2.86$

由(1.1.4)式知 $n=3$, 最高位之权为 $16^2=256$

$$2803 \div 256 = 10 \text{ 余 } 243 \quad (R=10)$$

$$243 \div 16 = 15 \text{ 余 } 3$$

由上述运算得

$$(2803)_{10} = (\text{AF}3)_{16}$$

若有小数 N , 因

$$N = a_{-1}R^{-1} + a_{-2}R^{-2} + a_{-3}R^{-3} + \dots$$

最高位之权为 R^{-1} , 除以 R^{-1} 变为乘 R

$$N \div R^{-1} = NR = a_{-1} + a_{-2}R^{-1} + a_{-3}R^{-2} + \dots$$

由此可见, N 与 R 相乘后, a_{-1} 就为积的整数部分。去掉 a_{-1} 之后再乘 R , 积的整数部分又为 a_{-2} , 反复使用这种算法, 最终得到各小数的基数符。

综上所述, 在不同的进位制之间进行转换时, 对小数部分和整数部分分别采用不同的算法。另外, 在有小数时, 转换后的小数位数可能位数很多, 宜按要求的精度确定最低位, 以避免不必要的繁琐