

高等学校教材

数字 电子技术

张建华 主编

机械工业出版社



TN79

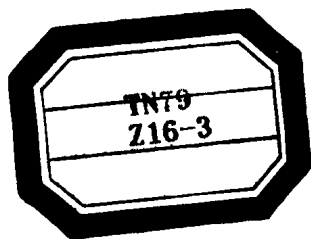
430005

Z16-3

高等学校电子技术基础系列教材之二

数字电子技术

刘全盛 张建华 编
梁韵琴 刘惠贞
张建华 主编
苏杰轩 主审



机械工业出版社

10

241210

本书是原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。它以1993年6月全国高校工科电子技术课程教学指导小组新修订的“教学基本要求”为依据,在内容组织上以讲清组合逻辑电路和时序逻辑电路的分析方法和设计方法为主线来介绍各种逻辑器件的功能及应用,贯彻理论联系实际和少而精的原则,加强了对中规模集成电路的应用、新器件PAL和GAL的介绍。对基本要求中要求必须掌握的基本概念、基本原理和基本分析方法,做到讲深讲透,并注意讲清思路、启发思维,以培养举一反三的能力。

本书篇幅适中、内容较新、可读性强,图形符号采用了新国标,可作为自动化类、电力类专业本科生的教材,也可供相近专业师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/张建华主编.-北京:机械工业出版社
1999.10 重印
高等学校教材
ISBN 7-111-04154-2

I. 数… II. 张… 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(1999)第18181号

出版人:马九荣(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:韩雪清 贡克勤 版式设计:冉晓华 责任校对:陈立耘
封面设计:方芬 责任印制:路琳
北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1999年10月第1版第5次印刷
850mm×1168mm $\frac{1}{32}$ ·10印张·257千字
28 001—35 000册
定价:14.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

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”，贯彻少而精的原则。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，所编内容注意了一定的先进性。④介绍每个问题时尽量注意讲清思路，讲清分析方法，启发学生的思维。⑤注意文字通顺流畅，通俗易懂，便于学生阅读。

本书由哈尔滨电工学院刘全盛编写第1章和第2章；华北工学院张建华编写第3章和第6章的6.3节；吉林工业大学梁韵琴编写第4章、第6章的6.1、6.2节和第8章；北京理工大学刘惠贞编写第5章和第7章，由张建华任主编，负责全书的组织、修改和定稿，华东工业大学苏杰轩任主审。

1991年10月本书首次正式出版后，经部内外30多所院校使用，各校普遍反映较好，并提出了一些宝贵的建议。现根据全国普通高校工科电子技术课程教学指导小组1993年6月新修订的“教学基本要求”、二进制逻辑图形符号新的国家标准，以及各兄弟院校提出的一些好的建议，在保持本书原有特色的基础上进行局部修订，第1、2、3、6、7章由张建华修改，第4、5、8章由刘惠贞修改，全书由张建华统稿，并根据1993年10月协作组工作会议的决定，由机械工业出版社重新出版。

本书的编写得到了清华大学教授童诗白先生的热情鼓励和具

IV

体指导；在审稿过程中北京理工大学、吉林工业大学、合肥工业大学、南京理工大学、电子科技大学、华东工业大学、西安理工大学、江苏理工大学、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、华北工学院等兄弟院校的同行人提出了许多宝贵意见；主审苏杰轩同志写出了详细的书面意见，对以上同志以及对使用本书首版提出意见和建议的各校老师表示衷心的感谢。

限于编者水平，加之修改时间仓促，不足之处仍难免，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作进一步改进。

张建华

1993年11月于太原

目 录

前言

第1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
1. 十进位计数制	2
2. 二进位计数制	3
3. 十六进位计数制	4
1.2.2 码制	4
1.3 逻辑代数基础	5
1.3.1 逻辑代数的三种基本运算	5
1. 与运算	6
2. 或运算	6
3. 非运算	7
4. 复合逻辑运算	7
1.3.2 逻辑代数的基本公式和常用公式	8
1. 基本公式	8
2. 常用公式	9
1.3.3 逻辑代数的基本规则	11
1. 代入规则	11
2. 反演规则	11
3. 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
1. 并项法	14

2. 吸收法	14
3. 消去法	14
4. 配项法	15
1.5.3 用卡诺图化简逻辑函数	15
1. 逻辑函数的最小项及其性质	15
2. 用卡诺图表示逻辑函数	17
3. 用卡诺图化简逻辑函数	19
1.6 具有任意项逻辑函数的化简	21
习题	22
第2章 集成逻辑门电路	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
1. 半导体二极管的开关特性	25
2. 半导体三极管的开关特性	26
2.1.2 分立元件门电路	28
1. 二极管门电路	28
2. 二极管-三极管门电路	29
2.1.3 二进制逻辑图形符号	30
1. 二进制逻辑单元的组成	30
2. 逻辑状态与逻辑电平	30
3. 逻辑约定及其图形符号	31
2.2 TTL 集成门电路	33
2.2.1 概述	33
2.2.2 TTL 与非门的工作原理	33
1. 电路结构及工作原理	33
2. 电压传输特性	34
3. TTL 与非门的噪声容限	35
4. 输入特性和输出特性	36
5. TTL 与非门的动态特性	39
6. 门电路多余输入端的处理	40
2.2.3 集电极开路门和三态门	41
1. 集电极开路门 (OC)	41

2. 三态输出门 (TSL)	44
2.2.4 TTL 与非门电路的改进	46
2.3 MOS 门电路	48
2.3.1 NMOS 反相器	48
2.3.2 CMOS 反相器	49
1. 电路结构及工作原理	49
2. CMOS 反相器的传输特性	49
3. CMOS 反相器的功率损耗	51
2.3.3 MOS 与非门及或非门	54
1. NMOS 与非门及或非门	54
2. CMOS 与非门及或非门	55
2.3.4 CMOS 传输门和双向模拟开关	55
2.3.5 CMOS 三态门	57
习题	58
第 3 章 组合逻辑电路	65
3.1 概述	65
3.2 组合逻辑电路的分析	65
3.2.1 分析组合逻辑电路的一般步骤	66
3.2.2 几种常用组合逻辑电路的分析	66
1. 加法器的分析	66
2. 数据选择器的分析	68
3. 多路分配器的分析	70
4. 数码比较器的分析	71
3.3 组合逻辑电路的设计	75
3.3.1 组合逻辑电路设计的几种方法	75
3.3.2 组合逻辑电路设计的一般步骤	76
3.4 用逻辑门实现组合逻辑电路的设计	77
3.4.1 一般组合逻辑电路的设计	77
1. 单输出组合逻辑电路的设计	77
2. 多输出组合逻辑电路的设计	78
3.4.2 编码器的设计	81
1. 概述	81

2.	3 位二进制编码器的设计	81
3.	二-十进制优先权编码器的设计	82
3.4.3	译码器的设计	84
1.	概述	84
2.	二进制译码器的设计	84
3.	二-十进制译码器的设计	86
4.	七段字形译码器的设计	88
3.4.4	组合逻辑电路中的竞争与冒险	97
1.	竞争、冒险产生的原因	97
2.	逻辑冒险及其消除方法	98
3.	功能冒险及其抑制措施	99
3.5	用 MSI 实现组合逻辑电路设计	100
3.5.1	用数据选择器实现多种组合逻辑功能	100
1.	用数据选择器实现逻辑函数	100
2.	用双 4 选 1 数据选择器构成 1 位全减器	103
3.	等值数码比较器	104
3.5.2	用译码器实现多种组合逻辑功能	105
1.	用译码器实现逻辑函数	105
2.	用二进制译码器作各种 BCD 码译码器	106
3.	用译码器作多路分配器	107
3.5.3	用全加器实现多种组合逻辑功能	108
1.	用全加器实现编码转换	108
2.	8421BCD 码加法器	110
	习题	112
第 4 章 集成触发器		116
4.1	概述	116
4.2	基本 RS 触发器	116
4.2.1	用与非门构成的基本 RS 触发器	116
1.	电路组成	116
2.	工作原理	117
4.2.2	集成基本 RS 触发器	119
4.3	时钟触发器	121

4.3.1	同步 RS 触发器	121
1.	电路组成	121
2.	工作原理	121
3.	触发方式	123
4.	关于空翻现象	124
4.3.2	主从结构触发器	124
1.	主从 RS 触发器	124
2.	主从 JK 触发器	127
3.	主从 T 和 T' 触发器	131
4.3.3	边沿触发器	132
1.	TTL 边沿触发器	132
2.	CMOS 边沿触发器	137
4.4	触发器逻辑功能的转换	140
4.4.1	由 D 触发器转换为其它逻辑功能的触发器	141
1.	从 D 触发器到 JK 触发器的转换	141
2.	从 D 触发器到 T、T' 触发器的转换	141
4.4.2	由 JK 触发器转换为其它逻辑功能的触发器	142
1.	从 JK 触发器到 D 触发器的转换	142
2.	从 JK 触发器到 T、T' 触发器的转换	142
	习题	143
第 5 章	时序逻辑电路	150
5.1	概述	150
5.2	时序逻辑电路的分析	151
5.2.1	分析时序逻辑电路的一般步骤	151
5.2.2	寄存器和移位寄存器的分析	152
1.	概述	152
2.	寄存器的分析 (CT74LS175)	152
3.	移位寄存器的分析	154
5.2.3	计数器的分析	162
1.	概述	162
2.	同步计数器的分析	162
3.	异步计数器的分析	168

4. 移位计数器的分析.....	173
5.2.4 顺序脉冲发生器.....	177
1. 计数器型顺序脉冲发生器.....	177
2. 移位寄存器型顺序脉冲发生器.....	178
5.3 时序逻辑电路的设计.....	179
5.3.1 时序逻辑电路设计的几种方法.....	179
5.3.2 时序逻辑电路设计的一般步骤.....	180
5.3.3 用SSI实现同步时序逻辑电路设计的几个实例	181
1. 111数据检测器的设计	181
2. 同步计数器的设计.....	184
3. 报纸零售机的设计.....	186
5.3.4 用MSI实现时序逻辑	190
1. 用MSI计数器实现任意进制计数器	190
2. 计数器作乘、除法运算.....	200
3. 寄存器的应用.....	203
4. 综合应用.....	205
习题	209
第6章 大规模集成电路	218
6.1 概述	218
6.2 存储器.....	219
6.2.1 读写存储器RAM	219
1. RAM的结构	220
2. 静态存储单元.....	223
3. 动态存储单元.....	225
6.2.2 只读存储器ROM	227
1. ROM的结构	227
2. PROM.....	230
3. EPROM	232
6.3 可编程逻辑器件PLD	233
6.3.1 概述.....	233
6.3.2 可编程只读存储器PROM	235
6.3.3 可编程逻辑阵列PLA	238

1. 用 PLA 实现组合逻辑电路的设计	238
2. 用 PLA 实现时序逻辑电路的设计	239
6.3.4 可编程阵列逻辑 PAL	240
1. 与或输出型	242
2. 带反馈型结构	243
3. 具有反馈的寄存器输出	243
4. 具有异或功能及反馈的寄存器输出	243
6.3.5 通用阵列逻辑 GAL	245
1. 基本组成	248
2. 输出逻辑宏单元 OLMC 的结构	248
3. 输出逻辑宏单元 OLMC 的功能配置	252
4. GAL 器件的编程	256
习题	256
第 7 章 A/D 与 D/A 转换器	258
7.1 概述	258
7.2 D/A 转换器	259
7.2.1 倒 T 型电阻网络 D/A 转换器	259
7.2.2 集成 D/A 转换器及主要技术参数	261
1. 集成 D/A 转换器	261
2. 主要技术参数	262
7.3 A/D 转换器	263
7.3.1 A/D 转换的一般步骤及分类	263
1. A/D 转换的一般步骤	263
2. A/D 转换器的分类	266
7.3.2 逐次渐近型 A/D 转换器	266
7.3.3 双积分型 A/D 转换器	269
习题	273
第 8 章 脉冲波形的产生与整形	275
8.1 概述	275
8.2 集成 555 定时器	276
8.2.1 电路结构及工作原理	276
1. 电路结构	276

2. 工作原理.....	278
8.2.2 应用电路实例.....	279
1. 用 555 定时器构成施密特触发器.....	279
2. 用 555 定时器构成单稳态触发器.....	281
3. 用 555 定时器构成多谐振荡器.....	283
8.3 多谐振荡器.....	287
8.3.1 环形振荡器.....	287
1. 最简单的环形振荡器.....	287
2. 带 RC 延迟电路的环形振荡器.....	288
3. 调频范围更宽的环形振荡电路.....	291
8.3.2 晶体振荡器.....	292
1. 石英晶体的基本特性.....	292
2. CMOS 石英晶体多谐振荡器.....	292
3. TTL 石英晶体多谐振荡器.....	293
8.4 脉冲整形电路.....	294
8.4.1 用门电路构成施密特触发器.....	294
1. TTL 与非门组成的施密特触发器.....	295
2. TTL 集成施密特触发门电路.....	296
3. 集成施密特触发器应用举例.....	296
8.4.2 用门电路构成单稳态触发器.....	297
1. TTL 与非门组成的单稳态触发器.....	297
2. CMOS 集成单稳态触发器.....	300
3. 集成单稳态触发器应用举例.....	301
习题.....	302
参考文献	305

第 1 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其变化都是连续的，用以传递、加工和处理模拟信号的电路叫模拟电路；另一类信号是数字信号，数字信号的特征是，无论从时间上或从大小上看其变化都是离散的，或者说是非连续的，传递、加工和处理数字信号的电路叫数字电路。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，凡具有两个稳定状态的元件，其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，对电路中各元件参数的精度要求不高，允许有较大的分散性，只要能正确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储，使大量可贵的信息资源得以妥善保存，使用方便。

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。可以采用标准的逻辑部件和可编程逻辑器件来构成各种各样的数字系统，设计方便，使用灵活。

由于数字电路具有上述特点，其发展十分迅速，因而在电子计算机、数控技术、通信技术、数字仪表以及国民经济其它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，即选定某种进位制来表示某个数的值，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，就是用一组编码来形式地表示出某些数的值。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义，这就是所谓的码制。本节将简要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

同一个数可以采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和十六进位计数制。下面将分别讨论各种进位计数制的计数规则及其互相转换的规律。

1. 十进位计数制

十进位计数制简称十进制，它用 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

$$(N)_{10} = K_{n-1} \times 10^{n-1} + K_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + K_1 \times 10^1 + K_0 \times 10^0 + K_{-1} \times 10^{-1} + K_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + K_{-m} \times 10^{-m}$$

式中 n 、 m 为正整数， K_i 为系数，是十进制十个数字符号中的某一个，10 是进位基数， 10^i 是十进制数的位权 ($i = n-1, n-2, \cdots, 1, 0, -1, \cdots, -m$)，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。

对任意 R 进位制数 $(N)_R$ 可表示为

$$(N)_R = K_{n-1} \times R^{n-1} + K_{n-2} \times R^{n-2} + \dots + K_1 \times R^1 + K_0 \times R^0 \\ + K_{-1} \times R^{-1} + K_{-2} \times R^{-2} + \dots + K_{-m} \times R^{-m}$$

式中 R 为进位基数、 R^i 为位权, K_i 为相应的系数。

2. 二进位计数制

二进位计数制简称二进制, 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, 并向相邻高位进1, 即 $1+1=10$ (读作“壹零”)。二进制数可表示为

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

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 $2^{n-1}, \dots, 2^1, 2^0, 2^{-1}, \dots, 2^{-m}$, 一个二进制数可按位权展开转换为十进制数, 例如:

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

十进制数也可转换为二进制数, 转换时其整数部分和小数部分应分别进行。整数部分可采用连续除2取余数法, 最后得到的余数为二进制数整数部分的高位; 小数部分采用连续乘2取整数法, 最先得到的整数为二进制数小数部分的高位。例如将十进制数13.625转换为二进制数

2	13		0.625	
	6	余 1 K_0	$\times 2$	
	3	余 0 K_1	1.250	$K_{-1} = 1$
	1	余 1 K_2	$\times 2$	
	0	余 1 K_3	0.5	$K_{-2} = 0$
			$\times 2$	
			1.0	$K_{-3} = 1$

$$13.625\text{D} = 1101.101\text{B}$$

⊖ 系Binary的缩写。

⊕ 系Decimal的缩写。

3. 十六进位计数制

由于多位二进制数不便识别和记忆，因此在一些计算机的资料中常采用十六进制数来表示二进制数。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 $F + 1 = 10$ 。

十六进制的进位基数 $16 = 2^4$ ，因此，二进制数与十六进制数之间的转换非常简便，二进制数转换为十六进制数时，整数部分从低位起每4位数分成一组，最高位一组如不够4位时以零补足，小数部分从高位起每4位分成一组，最低位如不够4位时也以零补足，然后依次以1位十六进制数替换4位二进制数即可，例如：

$$1100110101.11011\text{ B} = 335.\text{D8H}^{\ominus}$$

将十六进制数转换为二进制数时，其过程相反，即用4位二进制数替换1位十六进制数，例如：

$$28\text{A.DH} = 1010001010.1101\text{ B}$$

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，它们都可用多位二进制数来表示，这种多位二进制数叫做代码，给每个代码赋以一定的含义叫编码。若需编码的信息数量为 N ，则用作代码的一组二进制数的位数 n 应满足 $2^n \geq N$ 。

在数字电路中常使用二-十进制码(BCD码)，所谓二-十进制码，就是用4位二进制数的代码来表示1位十进制数。4位二进制数共有十六种不同的组合可作为代码，而十进制数的十个数字符号只需用其中的十种组合来表示，因而从十六种组合中选用哪十种组合的编码方案有很多种，常用的几种二-十进制编码表如表1-1所示。由表中可以看出，同一代码在不同的编码中具有不同的含义，如0100代码，在8421码、2421码和余3循环码中代表十进制数4，在余3码中代表1，在格雷码中代表7。如果某一编码的每位二进制数都具有一固定的权值，这类编码称为有权码，

[⊖] 系Hexadecimal的缩写。