

TN01

Y78a

G2

电子技术基础

数字部分

虞光楣



A0979032

北京工业大学出版社

内 容 简 介

本书是按照国家教委批准的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》编写的。

本书分模拟和数字两部分出版。数字部分包括：数字电路基础、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、脉冲波形的产生与整形、数—模和模—数转换器等内容，书中详细分析了数字电路的基本概念、基本原理和基本分析方法，并附有一定量的复习思考题及习题。全书结构严谨，通俗易懂，便于教师讲授和学生自学。

本书可作为高等工科院校电类专业的“电子技术基础”课教材，也可供同类专业工程技术人员参考。

电子技术基础——数字部分

虞光楣 主编

※

北京工业大学出版社出版发行

各地新华书店经销

徐水宏远印刷厂印刷

※

1997年9月第1版 1997年9月第1次印制

787×1092毫米 32开本 16.25印张 360千字

印数：1~3000册

ISBN 7-5639-0568-5/T·53

定价：15.00元

序 言

本书是根据 1987 年修订的《高等工业学校电子技术基础课程教学大纲》(草案)的要求,结合编者多年教学经验编写而成的。全书分两册出版,上册为模拟电子技术基础,下册为数字电子技术基础。本书可供高等工业学校电类各专业用作“电子技术基础”课程的教材,也可供有关工程技术人员自学参考使用。

编者在确定全书结构体系和精选教材内容时,首先确保把基本概念、基本原理和基本分析方法讲深讲透,以便读者举一反三。其次,为适应电子技术的迅速发展,我们注意到教材内容的更新,贯彻以集成电路为主的指导思想,为此,在模拟部分加强了以集成运算放大器为中心的各种典型应用,数字部分则大幅度增加了中规模集成电路的应用。

为了便于教学和帮助读者自学,本书在分析问题时特别注意从物理概念上把问题讲清,删除过于烦琐的数学分析;文字上力求深入浅出,通俗易懂;每章后面都作了简明小结,提出了教学要求,并附有一定数量的课外作业和思考题。因此,本教材也可作为高等工业学校非电类专业和电类专科班的教材。

本书第八、九、十四章由沈明山编写,第十一、十二章

由薛立军编写，其余各章由虞光楣编写。全书由虞光楣担任主编，并负责组织、修改和定稿工作。参加撰稿和制图的人员有韩仕璟、刘红梅等。

本书在编写过程中得到了清华大学童诗白教授的热情指导。北京工业大学陆培新教授担任本书主审，对本书稿进行了认真的审检修改，并对本书的体系结构和内容取舍提出了许多宝贵意见。在此，编者谨致衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中必然有不少不足和错误之处，敬请同行和读者批评指正。

编 者

1996年12月

目 录

第八章 数字电路基础	(1)
内容提要	(1)
8.1 数字电路的特点	(1)
8.2 数制和码制	(3)
8.2.1 数制	(3)
8.2.2 数制之间的转换	(6)
8.2.3 二进制算术运算	(13)
8.2.4 码制	(14)
8.3 逻辑代数基础	(17)
8.3.1 逻辑变量和逻辑函数	(17)
8.3.2 逻辑代数中的三种基本运算	(17)
8.3.3 逻辑代数中的基本公式和定理	(22)
8.3.4 逻辑问题的描述方法	(26)
8.4 逻辑函数的公式化简法	(31)
8.4.1 逻辑函数化简的含义和作用	(31)
8.4.2 逻辑函数的公式化简法	(33)
8.5 用卡诺图化简逻辑函数	(36)
8.5.1 最小项、最大项及函数的两种标准形式	(36)
8.5.2 逻辑函数式的卡诺图表示法	(42)
8.5.3 用卡诺图化简逻辑函数	(46)
8.6 利用无关项化简逻辑函数	(53)
8.6.1 约束项、任意项和逻辑函数式中的无关项	(53)
8.6.2 利用无关项化简逻辑函数	(54)
本章小结	(55)
思考题和习题	(56)
第九章 门电路	(64)

内容提要	(64)
9.1 半导体二极管和三极管的开关特性.....	(64)
9.1.1 二极管的开关特性	(64)
9.1.2 半导体三极管的开关特性	(68)
9.2 分立元件门电路.....	(72)
9.2.1 二极管门电路	(72)
9.2.2 二极管—三极管门电路 (DTL 门电路)	(79)
9.3 TTL 集成门电路	(81)
9.3.1 TTL 与非门的工作原理	(81)
9.3.2 集电极开路门 (OC 门)	(96)
9.3.3 三态输出门电路 (TSL)	(100)
9.3.4 TTL 与非门电路的改进系列.....	(103)
9.4 C MOS 门电路	(110)
9.4.1 C MOS 反相器的工作原理	(110)
9.4.2 C MOS 与非门、或非门	(124)
9.4.3 C MOS 传输门和双向模拟开关	(126)
9.4.4 漏极开路的 C MOS 门电路	(130)
9.4.5 C MOS 电平变换器	(131)
9.4.6 三态输出的 C MOS 门电路	(132)
*9.4.7 改进的 C MOS 门电路	(137)
9.5 光电隔离式传输门电路	(138)
思考题和习题.....	(148)
第十章 组合逻辑电路	(164)
内容提要.....	(164)
10.1 组合逻辑电路的分析和设计.....	(164)
10.1.1 组合逻辑电路的基本特点	(164)
10.1.2 组合逻辑电路的分析	(165)
10.1.3 组合逻辑电路的设计	(168)
10.2 加法器.....	(172)
10.2.1 半加器	(172)
10.2.2 全加器	(173)

10.2.3	多位二进制的加法运算电路	(176)
10.2.4	全加器中规模集成电路的应用举例	(176)
10.3	数值比较器	(178)
10.3.1	一位数值比较器	(178)
10.3.2	多位二进制数值比较器	(179)
10.4	编码器	(184)
10.4.1	二进制编码器	(186)
10.4.2	优先编码器	(188)
10.5	译码器	(190)
10.5.1	二进制译码器	(191)
10.5.2	显示译码器	(195)
10.6	数据选择器	(202)
10.7	用 MSI 设计组合逻辑电路	(204)
10.7.1	用 MSI 译码器实现多种逻辑函数	(205)
10.7.2	用 MSI 数据选择器实现多种逻辑函数	(208)
10.8	组合电路中的竞争冒险	(212)
10.8.1	产生竞争冒险的原因	(212)
10.8.2	消除竞争冒险的常用方法	(214)
	本章小结	(215)
	思考题和习题	(215)
第十一章	集成触发器	(222)
	内容提要	(222)
11.1	概述	(222)
11.2	基本 RS 触发器	(223)
11.3	同步触发器	(227)
11.3.1	各类逻辑功能触发器	(228)
11.3.2	同步触发器的空翻现象	(236)
11.3.3	解决空翻问题的触发器	(237)
11.4	触发器逻辑功能的转换	(249)
	本章小结	(252)

思考题和习题	(253)
第十二章 时序逻辑电路	(260)
内容提要	(260)
12.1 概述	(260)
12.2 时序逻辑电路的分析方法	(262)
12.3 典型时序电路分析	(265)
12.3.1 寄存器	(265)
12.3.2 计数器	(271)
12.4 时序逻辑电路的一般设计方法	(288)
12.5 MSI 芯片及其应用	(299)
12.5.1 集成寄存器芯片及其应用	(300)
12.5.2 集成计数器芯片及其应用	(309)
本章小结	(320)
思考题和习题	(321)
第十三章 大规模集成电路	(326)
内容提要	(326)
13.1 概述	(326)
13.2 只读存储器	(327)
13.2.1 固定 ROM	(330)
13.2.2 PROM 和 EPROM	(331)
13.2.3 用 ROM 实现组合逻辑函数	(335)
13.3 随机存取存储器	(342)
13.3.1 RAM 的结构和工作原理	(342)
13.3.2 RAM 的扩展	(350)
13.4 可编程逻辑器件	(353)
13.4.1 PLD 的结构和类型	(354)
13.4.2 PLD 的应用	(364)
本章小结	(370)
思考题和习题	(370)
第十四章 脉冲波形的产生和整形	(374)

内容提要	(374)
14.1 概述	(374)
14.2 施密特触发器	(375)
14.2.1 用门电路组成的施密特触发器	(376)
14.2.2 集成施密特触发器	(381)
14.2.3 施密特触发器应用举例	(382)
14.3 单稳态触发器	(384)
14.3.1 用门电路组成的单稳态触发器	(385)
14.3.2 用施密特触发器构成的单稳态触发器	(390)
14.3.3 集成单稳态触发器	(391)
14.3.4 单稳态触发器的应用	(399)
14.4 多谐振荡器	(401)
14.4.1 简单的多谐振荡器	(401)
14.4.2 石英晶体多谐振荡器	(412)
14.5 555集成定时器	(413)
14.5.1 555集成定时器的电路结构及工作原理	(414)
14.5.2 555集成定时器的应用举例	(418)
本章小结	(429)
思考题和习题	(434)
第十五章 数—模和模—数转换器	(444)
内容提要	(444)
15.1 概述	(444)
15.2 D/A 转换器	(446)
15.2.1 权电阻网络 D/A 转换器	(446)
15.2.2 权电流网络 D/A 转换器	(449)
15.2.3 梯形电阻网络 D/A 转换器	(450)
15.2.4 D/A 转换器的输出方式	(453)
15.2.5 D/A 转换器的转换精度和速度	(460)
15.2.6 D/A 转换器的应用	(464)
15.3 A/D 转换器	(470)

15.3.1	量化和编码	(470)
15.3.2	直接比较式 A/D 转换器	(472)
15.3.3	间接比较式 A/D 转换器	(480)
15.3.4	采样保持电路	(486)
15.3.5	A/D 转换器的转换精度和转换速度	(489)
15.4	典型的集成 D/A 和 A/D 转换器	(491)
	本章小结	(501)
	思考题和习题	(502)

第八章 数字电路基础

内容提要

本章首先介绍了数字电路的特点，然后介绍了数制和码制，最后讲述了逻辑代数基础。

本章的重点内容是：常用数制和数制间的相互转换；常用的编码；逻辑代数基本公式、定理；逻辑问题的描述方法；真值表、逻辑表达式、卡诺图和逻辑图；逻辑函数的化简与变换方法。

本章讲述的概念、理论和方法是数字电路的基础。

8.1 数字电路的特点

前面几章中，我们讨论了模拟电路和模拟信号。模拟信号是在时间上和数值上都是连续变化的信号；从本章开始将要讨论的数字信号是在时间上、幅值上都是离散的、不连续的信号。我们将用于产生、加工和处理模拟信号的电子电路称为模拟电子电路，简称模拟电路；而将用于产生、加工和处理数字信号的电子电路称为数字电子电路，简称数字电路。

数字电路可以进行算术运算。它在进行算术运算时，都采用二进制的形式，因为二进制数只有0和1两个数符，可用电路的两种截然不同的状态来很容易地进行表述。例如，共射接法的NPN三极管在饱和导通时输出的低电平可表示“0”状

态，截止时输出的高电平表示“1”状态。管子的这种工作情况又叫做开关状态，即在稳定时三极管或处于饱和区，或处于截止区，放大区只是一种过渡状态。所以，数字电路又有开关电路之称。

数字电路还可以进行逻辑运算与判断，即有“逻辑思维”的功能。此时，它进行的所谓“二值逻辑运算”，仍是利用管子的“饱和”和“截止”两种对立状态，代表逻辑变量的两种取值：“假”和“真”，“0”和“1”，此时，电路的输出与输入之间是逻辑关系，故数字电路又称为“数字逻辑电路”。

数字电路的上述特点决定了它有一套特殊的分析方法，其中主要分析工具是逻辑代数。描述电路逻辑功能的主要方法是真值表、逻辑函数式、卡诺图、逻辑电路图、状态转换图和波形图等。

数字电路的一般框图如图8-1所示，其输入与输出的数据以及控制与操作的变量都是数字信号。该电路中含有对数字信号进行传送、逻辑运算、控制、计数、寄存、显示以及信号的产生、整形、变换等不同功能的数字电路部件。

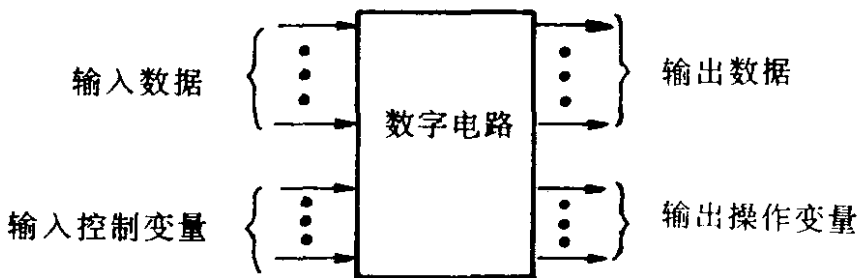


图8-1 数字电路一般框图

数字电路结构简单，容易制造，便于集成和系列化生产，成本低廉，使用方便；由数字电路组成的数字系统，工作准

确可靠，精度高；数字电路在自动控制、通信、计算机、仪器、文化生活等各个领域得到了广泛的应用。数字电子计算机是数字电路典型的应用实例。

数字电路既是开关电路，也是逻辑电路。在学习中应充分注意数字电路自身的特点，它与前面模拟电路的学习相比，从电路的工作状态、组成结构、研究对象和分析方法等方面都有很大的不同，在学习和应用时应予以注意。只有这样，才能学好数字电路。

8.2 数制和码制

8.2.1 数制

用数字量表示物理量的大小时，通常采用进位计数的方法组成多位数码计数。我们把**多位数码中每一位的构成方法以及低位与高位间的进位、借位规则称为数制**。在生产实践中人们习惯于各种计数制，例如：8、12、16、24、60等进制，但最常用的是**十进制(Decimal)**。

在数字电路中采用的是**二进制(Binary)**。我们将十进制与二进制计数进行对比(见表8-1)，以便掌握数制的一般构成方法，从而为掌握二进制数的特点打下基础。

由表8-1可知，不同进位制，其数字符号(简称**数符**)的个数不同，即“**基数**”不同。基数是 R ，就是 R 进制，大于基数的数，用多位有序数表示，运算中当低位向高一位进位(或借位)时，遵循“**逢基数进一**”(或“**借一当作基数**”)。在一个多位 R 进制数中，每个数位都对应着一个固定值，称为“**位权**”(简称“**权**”)，用 R^i 表示。可见，“**基数**”、每一位的

“数符”（系数）及“位权”是进位制的“要素”。

表8-1 十进制与二进制计数对比

比较内容	十进制 (Decimal)	二进制 (Binary)
数字符号	0、1、2、3、4、 5、6、7、8、9	0、1
进位规律	逢10进一（借1当10）	逢2进1（借1当2）
基数 R	10	2
权 R^i	10^i	2^i
按权展开实例	$(902)_{10} = (9 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 2 \times 10^0)_{10} = (900 + 0 + 2)_{10}$	$(1011)_2 = (1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0)_{10} = (8 + 0 + 2 + 1)_{10}$
优点	人们熟悉,习惯;位数少	在数字电路用开关元件易实现且稳定;计算规则简单
缺点	计算规则复杂;数字电路难以实现	人们不习惯,需要转换;位数较多

设 N 是 R 进制的数, 记为 N_R , 其基数是 R , 第 i 位的位权是 R^i , 则 N_R 可按位权展开

$$N_R = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i R^i \quad (8-1)$$

式中: K_i 为第 i 位的数符 (即第 i 位“位权”前的系数); i 表示数位, 即 $n-1, n-2, \dots, 1, 0, -1, -2, \dots, -m$; n 为 N_R 的整数部分的位数; m 为 N_R 的小数部分的位数。

式 (8-1) 是各种进位制数按权展开的一般表达式, 也是各种进位制数之间相互转换的重要依据。

一、十进制数的一般表达式

$$\begin{aligned} N_{10} &= \sum_{i=-m}^{n-1} D_i 10^i \\ &= D_{n-1} \times 10^{n-1} + \dots + D_0 \times 10^0 + \\ &\quad + D_{-1} \times 10^{-1} + \dots + D_{-m} \times 10^{-m} \end{aligned} \quad (8-2)$$

式中： D_i 为第 i 位的系数，它可能是 0, 1, 2, ..., 8, 9 这十个数符中的任何一个。

[例8-1] 把 $N_{10} = (8069.75)_{10}$ 写成展开式。

$$\begin{aligned} \text{解：} (8069.75)_{10} &= 8 \times 10^3 + 0 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + \\ &\quad + 7 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

二、二进制数的一般表达式

在数字电路中应用最广的是二进制。我们有

$$\begin{aligned} N_2 &= \sum_{i=-m}^{n-1} B_i \cdot 2^i \\ &= B_{n-1} \times 2^{n-1} + \dots + B_0 \times 2^0 + \\ &\quad + B_{-1} \times 2^{-1} + \dots + B_{-m} \times 2^{-m} \end{aligned} \quad (8-3)$$

式中： B_i 为第 i 位的系数，它只能取 0 或 1 两个数码中的一个，基数是 2，遵循“逢二进一”。

[例8-2] 把 $N_2 = (1011.01)_2$ 写成按权展开式。

$$\begin{aligned} \text{解：} (1011.01)_2 &= 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + \\ &\quad + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \end{aligned}$$

实际上，展开后求和的结果将是用十进制表示的数，故式 (8-3) 不妨写作

$$N_2 = \left(\sum_{i=-m}^{n-1} B_i \cdot 2^i \right)_{10} \quad (8-3-1)$$

三、八进制数的一般表达式

八进制有 0~7 八个数码，基数是 8，低位与相邻高位之间

进位或借位时为“逢八进一，借一当作八”。八进制数的一般表达式为

$$N_8 = \sum_{i=-m}^{n-1} Q_i \cdot 8^i \quad (8-4)$$

式中， Q 为八进制数的数符。

[例8-3] 将 $(317.05)_8$ 按权展开。

$$\begin{aligned} \text{解: } (317.05)_8 &= 3 \times 8^2 + 1 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + \\ &+ 0 \times 8^{-1} + 5 \times 8^{-2} \end{aligned}$$

四、十六进制数的一般表达式

十六进制数的每一位有十六种可能出现的状态，分别用 $0 \sim 9, A, B, C, D, E, F$ 表示。它们与十进制数的等价关系如表8-2所示。

表8-2 十六进制数符与十进制数的关系

十六进制数符	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
十进制数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

十六进制的基数为16，进位或借位遵循“逢十六进一，借一当作十六”，其一般表达式为

$$N_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \cdot 16^i \quad (8-5)$$

式中， K 为十六进制的数符。

[例8-4] 将 $(6A.8F)_{16}$ 按权展开。

$$\text{解: } (6A.8F)_{16} = 6 \times 16^1 + A \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} + F \times 16^{-2}$$

8.2.2 数制之间的转换

人们习惯于十进制数，而数字系统和计算机采用的是二进制，因此，不同数制之间需要相互转换。转换时应遵循两个