

高等学校教材

# 电子技术基础

数字部分

[第三版]

华中工学院电子学教研室 编

康华光 主编

高等教育出版社

本书是在第二版的基础上,经过改革试验、总结提高、修改增删而成的。在修订过程中,依照1987年经国家教委批准的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》,在保证基本教学内容的前提下,为了适应教学上的灵活性和因材施教的需要,本版适当增加了部分加宽加深的选讲内容。

本书分模拟和数字两部分出版。模拟部分包括:半导体二极管和三极管、基本放大电路、场效应管放大器、功率放大器、模拟集成电路、反馈放大器、频率响应与稳定性、信号的运算与处理电路、信号发生器、调制与解调和直流电源。数字部分包括:数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、半导体存储器、脉冲信号的产生与整形和A/D与D/A转换器。

书中通过对各种半导体器件及其电路的分析,阐述了电子技术中的基本概念、基本原理和基本分析方法,介绍了电路实例并附有一定数量的例题、思考题和习题。

本书经高等学校工科电工课程教学指导委员会电子技术课程教学指导小组委托南京工学院李士雄教授主审。

本书可作为高等学校电气类、电子类专业“电子技术基础”课程的教材,也可供从事电子技术的工程技术人员参考。

本书责任编辑 任庆陵

高等学校教材  
电子技术基础

数字部分

[第三版]

华中工学院电子学教研室 编

康华光 主编

\*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

\*

开本 850×1168 1/32 印张 14.25 字数 340 000

1980年1月第1版 1988年10月第3版 1988年10月第1次印刷

印数 0 001— 28 160

ISBN7-04-001622-2/114·97

定价 3.70 元

## 第三版序

自本书第一版问世以来，已经历了近十年。在这期间，电子技术领域发生了迅猛而巨大的变化。新技术革命和教学改革的不深入，促使本教材不断改进完善，第三版现在与读者见面了。

新版是在第二版的基础上，经过改革试验，总结提高、修改增删而成的。在修订工作中，依照 1987 年经国家教委批准的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》，在保证基本教学内容的前提下，为适应电子技术不断发展的新形势和教学上的灵活性以及因材施教的需要，本版适当增加了部分加宽加深的选讲内容，具体考虑如下：

1. 新版在体系上作了较大的调整。在模拟部分中，将“模拟集成电路”一章的位置提前，以致有可能在“反馈放大器”以及后续各章中，均以模拟集成电路为对象进行讨论，这就形成了以模拟集成电路为主干的体系。数字部分则直接以小规模集成电路引路，逐步向中大规模集成电路深入，几乎大部分内容都纳入“组合逻辑”和“时序逻辑”两大类电路之中。

2. 在保证基本理论完整性的原则下，删去或精简了一些分立元件电路内容，增强了集成电路的应用，并引入模拟乘法器、开关电容滤波器、压控振荡器、锁相环、直流变换器、门阵列、算术逻辑单元、动态存储器、集成 A/D 与 D/A 转换器等新技术内容。

3. 为了开拓学生的知识广度，新增了“调制与解调”一章。

4. 本书数字部分的内容安排与讲述方法，注意到了与“微处理器基础”的密切联系，以利于压缩学时，提高教学效果。

5. 为了贯彻理论联系实际的原则，书中以不同的方式，安排了一定数量的电路实例，并注意阅读电子电路图和查阅电子器件手册的训练。

6. 教材正文与例题、习题紧密配合。例题是正文的补充。某些内容则有意地让读者通过习题来掌握，以调节教学节律，利于理解深化。

7. 在编排上，对于加宽加深的内容，均注有\*号，以便于教师选讲和读者自学参考。

本版仍沿用从模拟到数字的体系，若有需要，亦可按数字到模拟的体系讲授，只需将模拟部分的“半导体二极管和三极管”一章移到数字部分之前讲授即可。

参加新版模拟部分修订工作的有汤之璋(第1章)、康华光(第1、2、6、7章)、王岩(第5、8、11章)和陈大钦(第3、4、8、9、10章及附录A)等同志。参加数字部分修订工作的有康华光(第1、2章)，邹寿彬(第3、4、7章)和赵德宝(第5、6章及附录A)等同志。康华光同志为主编，负责全书的组织和定稿。陈大钦和邹寿彬同志分别为模拟和数字部分的副主编，协助主编工作。在修订过程中，得到了汤之璋教授的支持与帮助。赵德宝、肖锡湘同志协助校订了模拟部分的原稿。陈大钦、瞿安连同志协助校订了数字部分的原稿。丁素芳、罗杰、杨晓安和汪菊华等同志绘制了全书的插图。教研室的其他同志也参加了部分工作。

本书由南京工学院李士雄教授主审，负责组织审稿工作的为衣承斌副教授，参加审阅的，模拟部分为衣承斌、陈黎明、陈天授副教授和李桂安讲师；数字部分为丁康源、皇甫正贤副教授，郑虎申、严振祥讲师。在第二版发行期间，承全国许多师生给我们以鼓励，寄来了不少宝贵意见和建议，编者谨此一并致以谢忱。

本版虽有所改进提高，但离教学改革的要求尚远。敬希读者

---

予以批评指正。

编 者

1987年8月于武昌华工园

# 目 录

## 1 数字逻辑基础

引言	1
1.1 数制与码	2
1.1.1 数制	2
1.1.2 二进制码	8
1.2 逻辑函数	11
1.2.1 基本逻辑运算	11
1.2.2 逻辑函数与逻辑问题的描述	15
1.3 逻辑代数的基本定律	17
1.3.1 基本定律和恒等式	17
1.3.2 逻辑代数运算的基本规则	19
1.4 逻辑函数的代数化简法	20
1.5 逻辑函数的卡诺图化简法	23
1.5.1 逻辑函数的最小项及其性质	23
1.5.2 逻辑函数的最小项表达式	25
1.5.3 用卡诺图表示逻辑函数	26
1.5.4 用卡诺图化简逻辑函数	32
1.5.5 未用最项表达的逻辑函数的卡诺图	36
1.5.6 具有无关项的逻辑函数的化简	37
1.6 逻辑函数与逻辑图	38
小结	40
思考题和习题	41
附录I 美国标准信息交换码(ASCII)	43

## 2 逻辑门电路

引言	44
----	----

<b>2.1</b>	<b>二极管的开关特性</b> .....	45
<b>2.2</b>	<b>三极管的开关特性</b> .....	49
2.2.1	三极管的开关作用.....	49
2.2.2	三极管的开关时间.....	52
<b>2.3</b>	<b>基本逻辑门电路</b> .....	55
2.3.1	二极管与门及或门电路.....	55
2.3.2	非门电路——三极管反相器.....	59
2.3.3	复合门电路.....	60
<b>2.4</b>	<b>三极管-三极管逻辑门电路(TTL)</b> .....	62
2.4.1	TTL与非门的工作原理.....	62
2.4.2	TTL与非门的带负载能力.....	67
2.4.3	TTL与非门的电压传输特性及抗干扰能力.....	70
2.4.4	TTL与非门的参数.....	73
2.4.5	抗饱和TTL电路.....	76
2.4.6	集电极开路与非门和三状态与非门.....	78
<b>*2.5</b>	<b>射极耦合逻辑门电路(ECL)</b> .....	85
<b>*2.6</b>	<b>集成注入逻辑门电路(I<sup>2</sup>L)</b> .....	89
<b>2.7</b>	<b>MOS逻辑门电路</b> .....	92
2.7.1	NMOS反相器.....	93
2.7.2	NMOS逻辑门电路.....	100
2.7.3	CMOS逻辑门电路.....	102
2.7.4	CMOS传输门.....	109
<b>2.8</b>	<b>正负逻辑问题</b> .....	111
<b>2.9</b>	<b>逻辑门电路使用中的几个实际问题</b> .....	115
	小结.....	119
	思考题和习题.....	120

### 3 组合逻辑电路

引言.....	130	
<b>3.1</b>	<b>组合逻辑电路的分析和设计方法</b> .....	131
3.1.1	组合逻辑电路的分析方法.....	131

3.1.2 组合逻辑电路的设计方法	132
<b>3.2 编码器和译码器</b>	139
3.2.1 编码器	139
3.2.2 译码器	144
<b>3.3 数据选择器</b>	154
3.3.1 数据选择器的工作原理	154
3.3.2 数据选择器用作逻辑函数产生器	158
<b>3.4 数字比较器</b>	161
<b>3.5 算术运算电路</b>	166
3.5.1 半加器和全加器	166
3.5.2 多位数加法器	170
3.5.3 减法运算	174
3.5.4 集成算术/逻辑单元举例	177
<b>3.6 其它组合逻辑电路: 现场可编程门阵列和现场可编程逻辑阵列</b>	180
<b>3.7 组合逻辑电路中的竞争冒险</b>	184
3.7.1 产生竞争冒险的原因	185
3.7.2 消去竞争冒险的方法	186
<b>小结</b>	188
<b>思考题和习题</b>	189

## 4 时序逻辑电路

<b>引言</b>	196
<b>4.1 触发器</b>	197
4.1.1 基本电路	197
4.1.2 <i>RS</i> 主从触发器	202
4.1.3 <i>JK</i> 主从触发器和 <i>JK</i> 边沿触发器	206
4.1.4 <i>D</i> 边沿触发器	212
*4.1.5 集成触发器的脉冲工作特性	214
4.1.6 <i>TTL</i> 集成触发器的主要参数	217
4.1.7 <i>CMOS</i> 触发器	219



<b>4.2 移位寄存器</b> .....	225
4.2.1 移位寄存器的工作原理.....	225
4.2.2 并行输入/并行输出单向移位寄存器.....	228
4.2.3 双向移位寄存器.....	230
4.2.4 动态 MOS 移位寄存器.....	234
<b>4.3 二进制计数器</b> .....	237
4.3.1 异步二进制递增计数器.....	237
4.3.2 同步二进制计数器.....	241
4.3.3 可预置的集成四位同步二进制计数器.....	244
<b>4.4 BCD 码十进制计数器</b> .....	249
4.4.1 8421 码异步十进制递增计数器.....	250
4.4.2 8421 码同步十进制递增计数器.....	252
4.4.3 集成同步十进制可逆计数器.....	253
<b>*4.5 时序逻辑电路的分析与设计</b> .....	257
4.5.1 状态图和状态表.....	258
4.5.2 同步时序逻辑电路的分析.....	260
4.5.3 同步时序逻辑电路的设计.....	264
4.5.4 异步时序逻辑电路的设计.....	271
<b>小结</b> .....	274
<b>思考题和习题</b> .....	274

## 5 半导体存储器

<b>引言</b> .....	286
<b>5.1 随机存取存储器(RAM)</b> .....	287
5.1.1 静态 RAM.....	287
5.1.2 动态 RAM.....	297
<b>5.2 只读存储器(ROM)</b> .....	306
5.2.1 ROM 的结构及工作原理.....	306
5.2.2 EPROM 的实例.....	312
*5.2.3 ROM 的应用.....	315
<b>*5.3 电荷耦合器件(CCD)</b> .....	319

小结.....	326
思考题和习题.....	327

## 6 脉冲信号的产生与整形

引言.....	330
6.1 单稳态触发器.....	330
6.1.1 微分型单稳态触发器.....	330
6.1.2 集成单稳态触发器.....	335
6.1.3 单稳态触发器的应用.....	337
6.2 多谐振荡器.....	340
6.2.1 自激多谐振荡器.....	340
6.2.2 石英晶体振荡器.....	343
6.3 施密特触发器.....	345
6.4 定时器.....	351
6.4.1 555 定时器电路.....	352
6.4.2 定时器应用举例.....	353
小结.....	360
思考题和习题.....	361

## 7 A/D 与 D/A 转换器

引言.....	368
7.1 D/A 转换器.....	369
7.1.1 D/A 转换的基本方法.....	369
7.1.2 D/A 转换器的输出方式.....	374
7.1.3 D/A 转换器的主要技术参数.....	378
7.1.4 集成 D/A 转换器举例.....	379
7.2 A/D 转换器.....	384
7.2.1 并行 A/D 转换器.....	384
7.2.2 逐次逼近 A/D 转换器.....	387
7.2.3 双积分式 A/D 转换器.....	391

---

7.2.4 A/D 转换器的主要技术参数	397
<b>7.3 采样-保持电路</b>	<b>397</b>
7.3.1 采样-保持(S/H)的基本概念	397
7.3.2 集成采样-保持器举例	400
小结	402
思考题和习题	403
附录A 数字集成电路应用实例	408
附录B 参考文献及进一步阅读资料	427
索引(汉英对照)	430

# 1 数字逻辑基础

**引言** 电子电路中的信号可分为两类：一类是时间的连续函数，称为**模拟信号**，例如，模拟语音的音频信号，模拟图象的视频信号以及模拟温度、压力等物理量变化的信号等。另一类是时间和幅度都是离散的**数字信号**，例如，汽车司机在运行速度表上的读数，工厂产品数量的统计等，均属数字信号。处理模拟信号的电路为**模拟电路**，如交、直流放大器，滤波器，信号发生器等，这已在本书的模拟部分进行了详细的讨论。处理数字信号的电路称为**数字电路**，这是本书数字部分所要讨论的内容。

## 1. 数字电路举例

数字电路大致包括信号的产生、放大、整形、传送、控制、记忆、计数及运算等内容。下面以数字频率计为例说明其基本结构。

图 1.0.1 表示一个数字频率计的方框图，它是用来测量周期信号频率的。被测信号假定为正弦波，它的频率为  $f_x$ 。为了要把被测信号的频率用数字直接显示出来，首先要经过放大与整形电路，使被测信号变换为频率与它相同的矩形脉冲信号，然后把它送到门电路的一个输入端  $A$ 。门电路是用来控制电路的**开通与关断**的一种电路。在图 1.0.1 中，门电路的开与关是由加到  $B$  端的秒脉冲信号所控制的。秒脉冲把门打开一秒钟，在这段时间内，矩形脉冲通过门电路进入计数器，计数器累计的信号个数就是被测信号在一秒钟内重复的次数，也就是信号的频率。最后通过数字显示电路和显示器直接显示出来。

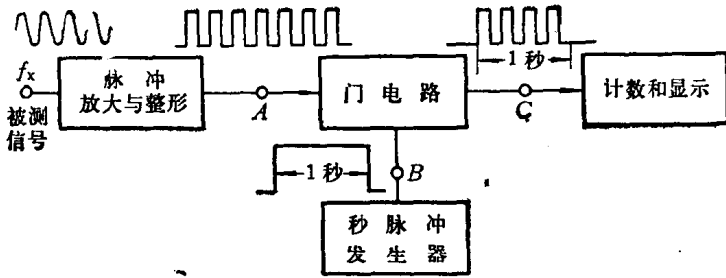


图 1.0.1 数字频率计方框图

在上述简单的实例中,它包含有被测信号的放大与整形、脉冲信号的产生、控制以及计数、显示等典型的数字单元电路,可见,数字电路包含的内容是很广泛的。

## 2. 数字电路的特点

数字电路的工作信号是不连续变化的数字信号,所以在数字电路中工作的半导体管多数工作在开关状态,即工作在饱和区和截止区,而放大区只是其过渡状态。

数字电路的主要研究对象是电路的输入和输出之间的逻辑关系,因而在这种电路中就不能采用模拟电路的分析方法,例如,微变等效电路法等就不适用了。这里的主要分析工具是逻辑代数,表达电路的功能主要是真值表、逻辑表达式及波形图等。

## 1.1 数制与码

### 1.1.1 数制

数字电路中经常遇到计数问题。在日常生活中,我们习惯于用十进制数,而在数字系统中多采用二进制数,有时也采用八进制数和十六进制数。

## 1. 十进制数

大家都熟悉,十进制是用十个不同的数码 0, 1, 2, 3, …, 9 来表示数的。任何一个数都可以用上述十个数码按一定规律排列起来表示,其计数规律是“逢十进一”,即  $9 + 1 = 10$ , 这右边的“0”为个位数,左边的“1”为十位数,也就是  $10 = 1 \times 10^1 + 0 \times 10^0$ 。所谓十进制就是以 10 为基数的计数体制。

这样,每一数码处于不同的位置时(数位),它代表的数值是不同的。例如,数 234 可写为

$$234 = 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 4 \times 10^0$$

上述十进制数表示法,也可扩展到表示小数,不过这时小数点以右的各位数码要乘以基数的负幂次,例如,数 3.142 表示为

$$3.142 = 3 \times 10^0 + 1 \times 10^{-1} + 4 \times 10^{-2} + 2 \times 10^{-3}$$

一般地说,任意十进制数可表示为

$$(N)_{\text{D}} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times 10^i \quad (1.1.1)$$

式中  $K_i$  为基数“10”的第  $i$  次幂的系数。

从计数电路的角度看来,采用十进制是不方便的。因为构成计数电路的基本想法是把电路的状态跟数码对应起来,而十进制的十个数码,必须由十个不同的而且能严格区分的电路状态与之对应,这样将在技术上带来许多困难,而且也不经济。因此在计数电路中一般不直接采用十进制。

## 2. 二进制数

二进制数与十进制数的区别在于数码的个数和进位的规律不同,十进制数用十个数码,并且“逢十进一”;而二进制数则用两个数码 0 和 1,并且“逢二进一”即  $1 + 1 = 10$ (读为“壹零”)。必须注

---

① 下标 D(Decimal)表示十进制。

意，这里的“10”与十进制数的“10”是完全不同的，它并不代表“拾”。右边的“0”表示 $2^0$ 位数，左边的“1”表示 $2^1$ 位数，也就是 $10 = 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0$ 。因此，所谓二进制就是以2为基数的计数体制，二进制数可表示为

$$(N)_{\text{B}}^{\text{①}} = \sum_{i=0}^{\infty} K_i \times 2^i \quad (1.1.2)$$

这样，我们可将任一个二进制数转换为十进制数，例如，二进制数1001转换为十进制数等于

$$1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 9$$

由于二进制具有一定的优点，因此它在计算技术中被广泛采用。

(1) 二进制的数字装置简单可靠，所用元件少；二进制只有两个数码0和1，因此它的每一位数都可以用任何具有两个不同稳定状态的元件来表示，如三极管的饱和与截止，继电器接点的闭合和断开，灯泡的亮和不亮等。只要规定其中一种状态表示1，另一种状态表示0，就可以表示二进制数。这样，数码的存储和传送，就可以用简单而可靠的方式进行。

(2) 二进制的基本运算规则简单，运算操作简便。

但是，采用二进制也有一些缺点。用二进制表示一个数时，位数多，例如，十进制数49表示为二进制数时，即为110001，使用起来不方便也不习惯。因此，在运算时原始数据多用人们习惯的十进制数，在送入机器时，就必须将十进制的原始数据转换成数字系统能接受的二进制数。而在运算结束后，再将二进制数转换为十进制数，表示最终结果。

### 3. 十六进制数和八进制数

由于使用二进制数经常是位数很多，不便书写和记忆，因此在

① 下标B(Binary)表示二进制。

数字计算机的资料中常采用十六进制或八进制来表示二进制数。上述十进制和二进制数的表示法可以推广到十六进制和八进制。

十六进制数采用十六个数码，而且“逢十六进一”这种数制中有十六个不同的数字：0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A(对应于十进制中的10)、B(11)、C(12)、D(13)、E(14)、F(15)。它是以十六为基数的计数体制。例如，将十六进制数4E6转换为十进制数：

$$4 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 6 \times 16^0 = 1254$$

十六进制与二进制之间的转换也比较方便。例如，(0101 1001)<sub>B</sub>写成十六进制数是

$$\begin{aligned} (0101 \ 1001)_B &= [(1 \times 2^2 + 1 \times 2^0) \times 16^1 \\ &\quad + (1 \times 2^3 + 1 \times 2^0) \times 16^0]_D \\ &= (59)_H \textcircled{1} \end{aligned}$$

可以看出，每四位二进制数对应于一位十六进制数，如

$$(1001 \ 1100 \ 1011 \ 0100 \ 1000)_B = (9CB48)_H$$

同理，对于八进制数，可将三位二进制数分为一组，对应于一位八进制数。对于上述二进制数，可写成

$$(10 \ 011 \ 100 \ 101 \ 101 \ 001 \ 000)_B = (2345510)_O \textcircled{2}$$

为便于对照，将十进制、二进制、八进制及十六进制之间的关系列于表 1.1.1 中。

#### 4. 二进制数与十进制数之间的转换

现以二、十进制之间的转换为例来说明不同数制之间的转换方法。

既然同一个数可以用二进制和十进制两种不同形式来表示，那么两者之间就必然有一定的转换关系。对于整数可写成

① 下标 H(Hexadecimal)表示十六进制。(59)<sub>H</sub>又可写成 59H。

② 下标 O(Octal)表示八进制。为了更清楚起见，某些文献中也用下标 2、8、10 及 16 分别表示二进制、八进制、十进制及十六进制。



表 1.1.1 几种数制之间的关系对照表

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	0 0 0 0 0	0	0
1	0 0 0 0 1	1	1
2	0 0 0 1 0	2	2
3	0 0 0 1 1	3	3
4	0 0 1 0 0	4	4
5	0 0 1 0 1	5	5
6	0 0 1 1 0	6	6
7	0 0 1 1 1	7	7
8	0 1 0 0 0	10	8
9	0 1 0 0 1	11	9
10	0 1 0 1 0	12	A
11	0 1 0 1 1	13	B
12	0 1 1 0 0	14	C
13	0 1 1 0 1	15	D
14	0 1 1 1 0	16	E
15	0 1 1 1 1	17	F
16	1 0 0 0 0	20	10
17	1 0 0 0 1	21	11
18	1 0 0 1 0	22	12
19	1 0 0 1 1	23	13
20	1 0 1 0 0	24	14

$$(N)_D = b_n \times 2^n + b_{n-1} \times 2^{n-1} + \cdots + b_1 \times 2^1 + b_0 \times 2^0 \quad (1.1.3)$$

式中  $b_n, b_{n-1}, \cdots, b_1, b_0$  是二进制数各位的数字。将等式两边分别除以 2, 得

$$\frac{1}{2}(N)_D = b_n \times 2^{n-1} + b_{n-1} \times 2^{n-2} + \cdots + b_1 \times 2^0 + \frac{b_0}{2} \quad (1.1.4a)$$

由此可知, 将十进制数除以 2, 其余数为  $b_0$ 。将式(1.1.4a)的商再除以 2, 得