

函授大学教材



# 数字电子技术

武汉水利电力学院 陈一尧 编



## 内 容 提 要

本书主要内容包括数字电路基础、逻辑代数、门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、数字信号的产生与变换、MOS管数字集成电路及存储器、可编程数字器件及微处理机的基本原理等部分。

本书以小规模数字集成电路为基点，阐明数字电路的基本原理；以中、大规模数字集成电路为主要内容，介绍实用数字部件的选择与使用。

本书按照函授、自学的特点，将教学内容、教学方法、教学要求融为一体。在讲述基本内容时，指导学习方法，明确学习要求，分阶段配有思考题、习题、测验题，以提高学习效果。

本书可作为电力类、自动化类、仪器仪表类、机械类等专业的函授高等教育的教材，也可作为数字电子技术的自学教材以及需要学习数字电子技术的各专业师生、工程技术人员教材及参考书。

高等学校函授教材

数 字 电 子 技 术

武汉水利电力学院 陈一尧 编

\*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市地质局印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 18.25印张 410千字

1990年11月第一版 1990年11月北京第一次印刷

印数 001—890册

ISBN7-120-01137-5/TM·329

定价 8.40元

# 前言

本书是按照国家教育委员会电工课程教学指导委员会电子技术课程教学指导小组1986年5月制定的电子技术基础课程的教学基本要求,结合函授教学的要求、自学的特点编写的一本“数字电子技术”教材。

本书主要内容包括数字电路基础、逻辑代数、门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、数字信号的产生与变换、MOS管数字集成电路及存储器、微处理器基本原理等部分。为跟上微电子技术飞速发展的形势,编写时以小规模数字集成电路为基点,阐述数字电路的基本原理,以中、大规模集成电路为主要内容,介绍实用数字部件的选择与使用,从而使电子技术的内容从基本电路的设计逐步跨进到数字系统的配接。这样,既有利于打好基础,又有利于实践与开发。按照数字电路的发展现状,本书最后一章引入了数字信息的编程处理方法,可编程数字部件微处理机的内部结构与编程工作的基本原理,为学习后续微机原理等课程打好基础。

本教材在编写过程中力求按照函授教学的要求、自学的特点,将教学内容、教学方法、教学要求融为一体。在阐述基本内容时,指导学习方法,明确学习要求以提高学习效果。为方便自学,编写时还采用了分散难点,突出重点的编排方法。

学习本书的每一章时宜先粗读引言,再通读章节内容,然后按照引言的要求精读章节内容。接着,应以教材章尾的小结为纲,自行做好章节内容的归纳与总结。每章按段安排的思考题与习题,作为加固、加深学习内容的一种重要手段,数量不多,应及时思考与完成,其中部分习题的数据性答案列于附录,供参考。每章末的测验题作为每章学习情况的自我检查内容。

全书由武汉水利电力学院陈一尧教授编写,经国家教育委员会电子线路课程教学指导小组委员,武汉大学张肃文教授审阅,并提出许多宝贵意见。在此,表示衷心的感谢。

本书在前期试用及编写过程中得到本院函授部领导及电子学教研室、应用电子技术教研室全体老师的支持与帮助,在此一并致谢。

本书是编者根据近几年来函授教学的实践,兄弟院校编写的教材及教学经验编写的教材,由于水平有限,加之经验不足,缺点与错误难免,殷切希望读者批评指正。

编 者

1988年11月

# 目 录

## 前 言

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| 第一章 脉冲数字电路基础 .....           | ( 1 )  |
| 第一节 脉冲数字电路及其特点 .....         | ( 1 )  |
| 第二节 数制 .....                 | ( 4 )  |
| 第三节 数制的转换 .....              | ( 7 )  |
| 思考题与习题1-1 .....              | ( 10 ) |
| 第四节 二极管 .....                | ( 11 ) |
| 思考题与习题1-2 .....              | ( 22 ) |
| 第五节 三极管 .....                | ( 22 ) |
| 第六节 三极管的开关特性 .....           | ( 29 ) |
| 思考题与习题1-3 .....              | ( 35 ) |
| 小结 .....                     | ( 37 ) |
| 测验题1 .....                   | ( 37 ) |
| 第二章 门电路 .....                | ( 38 ) |
| 第一节 逻辑电路的一些基本概念 .....        | ( 38 ) |
| 第二节 基本门电路 .....              | ( 40 ) |
| 第三节 三极管与非门 .....             | ( 44 ) |
| 思考题与习题2-1 .....              | ( 47 ) |
| 第四节 三极管—三极管集成逻辑门 (TTL) ..... | ( 47 ) |
| 思考题与习题2-2 .....              | ( 60 ) |
| 第五节 TTL电路的发展及类型 .....        | ( 61 ) |
| 第六节 其他功能的TTL门电路 .....        | ( 64 ) |
| 第七节 TTL门电路的选用 .....          | ( 68 ) |
| 第八节 其它类型的双极型门电路 .....        | ( 69 ) |
| 思考题与习题2-3 .....              | ( 72 ) |
| 小结 .....                     | ( 73 ) |
| 测验题2 .....                   | ( 73 ) |
| 第三章 逻辑代数 .....               | ( 75 ) |
| 第一节 概述 .....                 | ( 75 ) |
| 第二节 逻辑函数 .....               | ( 75 ) |
| 第三节 逻辑函数与逻辑电路的关系 .....       | ( 81 ) |
| 思考题与习题3-1 .....              | ( 83 ) |
| 第四节 逻辑函数的化简 .....            | ( 84 ) |
| 思考题与习题3-2 .....              | ( 94 ) |
| 小结 .....                     | ( 95 ) |
| 测验题3 .....                   | ( 95 ) |

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| 第四章 组合逻辑电路 .....              | ( 97 )  |
| 第一节 组合逻辑电路的设计与分析 .....        | ( 97 )  |
| 思考题与习题4-1 .....               | ( 104 ) |
| 第二节 加法器 .....                 | ( 104 ) |
| 第三节 数字比较器 .....               | ( 107 ) |
| 第四节 译码器 .....                 | ( 110 ) |
| 第五节 编码器 .....                 | ( 113 ) |
| 第六节 数据分配器和数据选择器 .....         | ( 115 ) |
| 第七节 数字显示电路 .....              | ( 116 ) |
| 第八节 用中规模集成电路进行的组合逻辑电路设计 ..... | ( 120 ) |
| 思考题与习题4-2 .....               | ( 122 ) |
| 小结 .....                      | ( 123 ) |
| 测验题 4 .....                   | ( 123 ) |
| 第五章 触发器 .....                 | ( 125 ) |
| 第一节 概述 .....                  | ( 125 ) |
| 第二节 基本RS触发器 .....             | ( 126 ) |
| 第三节 同步RS触发器 .....             | ( 129 ) |
| 思考题与习题5-1 .....               | ( 133 ) |
| 第四节 主从触发器 .....               | ( 134 ) |
| 思考题与习题5-2 .....               | ( 138 ) |
| 第五节 维持阻塞触发器 .....             | ( 139 ) |
| 第六节 边沿触发器 .....               | ( 142 ) |
| 思考题与习题5-3 .....               | ( 144 ) |
| 第七节 触发器的脉冲工作特性 .....          | ( 144 ) |
| 第八节 集成触发器的参数及测试方法 .....       | ( 147 ) |
| 思考题与习题5-4 .....               | ( 149 ) |
| 小结 .....                      | ( 149 ) |
| 测验题 5 .....                   | ( 150 ) |
| 第六章 时序逻辑电路 .....              | ( 152 ) |
| 第一节 时序逻辑电路的结构特点 .....         | ( 152 ) |
| 第二节 寄存器 .....                 | ( 153 ) |
| 思考题与习题6-1 .....               | ( 158 ) |
| 第三节 二进制计数器 .....              | ( 159 ) |
| 思考题与习题6-2 .....               | ( 166 ) |
| 第四节 十进制计数器 .....              | ( 166 ) |
| 第五节 时序逻辑电路的分析与设计 .....        | ( 174 ) |
| 第六节 用中规模集成电路进行的时序逻辑电路设计 ..... | ( 183 ) |
| 思考题与习题6-3 .....               | ( 185 ) |
| 小结 .....                      | ( 186 ) |
| 测验题 6 .....                   | ( 187 ) |
| 第七章 数字信号的产生与变换 .....          | ( 188 ) |
| 第一节 单稳态触发器 .....              | ( 188 ) |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 思考题与习题7-1 .....             | (201) |
| 第二节 施密特触发器 .....            | (201) |
| 第三节 多谐振荡器 .....             | (205) |
| 思考题与习题7-2 .....             | (211) |
| 第四节 555 集成定时器的原理及应用 .....   | (212) |
| 第五节 数模与模数转换器 .....          | (216) |
| 思考题与习题7-3 .....             | (217) |
| 小结 .....                    | (217) |
| 测验题 7 .....                 | (218) |
| 第八章 MOS 数字集成电路及半导体存储器 ..... | (219) |
| 第一节 绝缘栅场效应管 .....           | (219) |
| 第二节 MOS 管反相器 .....          | (224) |
| 第三节 MOS 门电路 .....           | (232) |
| 第四节 MOS 触发器 .....           | (234) |
| 第五节 CMOS 数字集成电路的特点及选用 ..... | (236) |
| 思考题与习题8-1 .....             | (238) |
| 第六节 半导体存储器 .....            | (239) |
| 思考题与习题8-2 .....             | (252) |
| 小结 .....                    | (252) |
| 测验题 8 .....                 | (253) |
| 第九章 微处理机 .....              | (254) |
| 第一节 数字信息的编程处理方式 .....       | (254) |
| 第二节 模型计算机 .....             | (256) |
| 第三节 微处理机的结构及工作原理 .....      | (257) |
| 思考题与习题9-1 .....             | (275) |
| 小结 .....                    | (276) |
| 附录一 ASCII 码表 .....          | (277) |
| 附录二 Z-80 指令选列 .....         | (277) |
| 附录三 常用数字集成电路功能及型号选列 .....   | (279) |
| 附录四 部分习题答案 .....            | (280) |
| 主要参考书目 .....                | (283) |

# 第一章 脉冲数字电路基础

本章简要说明数字信号的特征、与数字信号处理相关的计数体制以及处理数字信号的基础器件——二极管、三极管的工作原理及其在数字电路中的开关功能。

学习时,对于数字信号的认识在于弄清典型波形及表征其特征的几个参数;对计数体制应注意位权的概念及不同计数体制之间的换算方法;对于二极管及三极管应着重抓住器件内部物理过程的外部表现,也即对内部物理过程的了解只要能说清外部各电极间电压与电流的关系——即伏安特性即可。不宜花过多的精力去钻研半导体器件的内部结构与工作原理。

## 第一节 脉冲数字电路及其特点

### 一、脉冲信号及脉冲数字电路

电子设备中的电信号一般分成两大类:

一类是连续变化的信号。这类信号将话音的高低、强弱,图象各点亮度的明暗,温度的高低,压力的大小等各种物理量用在时间上是连续变化的电压或电流进行模拟。因此,这类信号通常称为模拟信号,作为这类信号的典型是某一频率的正弦信号。话音的高、低反映为频率的高、低,话音的强、弱反映为幅度的大、小。处理模拟信号的电路称为模拟电路。

另一类是不连续变化的信号。这类信号通常含有脉动、短促、离散的特征,典型的为断续的矩形信号。这类信号的种类很多,图1-1示出常见的几个例子。

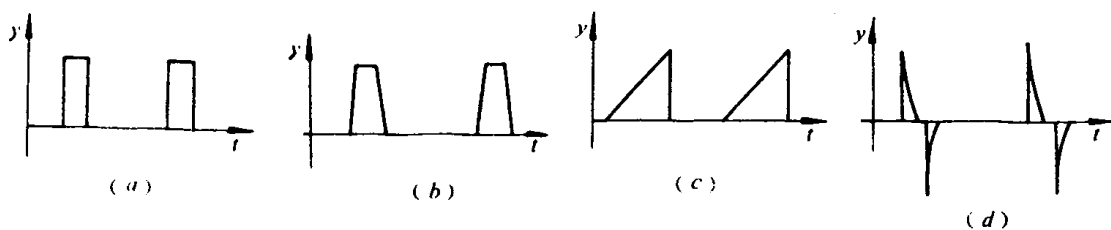


图 1-1 脉冲信号波形举例

(a)矩形波;(b)梯形波;(c)锯齿波;(d)尖顶波

广义地说,人们把这类信号称为脉冲信号(虽然有的并不严格符合脉冲的定义,即信号出现的时间远小于信号间断的时间),产生与变换这些脉冲波形的电路,称为脉冲电路。

上述信号中的矩形波在实用上是不连续变化信号的典型。这种信号只有两种状态特征,通常表现为电流的有、无,电位的高、低。与两种状态相应的常用0、1两个数字表示,有为1,无为0;高为1,低为0;或者有为0,无为1;高为0,低为1;因此这种信

号称为数字信号。对于数字信号，虽然理想情况下希望是矩形波，但是一般不象模拟信号那样注重波形，而是注重状态的区分。波形的不理想只要能表征信号的两种状态区分清楚就可以，必要时可用电路进行处理使其变为接近理想的矩形信号。处理数字信号的电路称为数字电路。

在模拟电路中，人们对典型的模拟信号——正弦波，用幅值（ $A$ ）、频率（ $\omega$ 或 $f$ ）、初相（ $\varphi$ ）这三个量来表示其特征，即 $y = A\sin(\omega t + \varphi)$ ，如图1-2所示。

同样，在数字电路中人们对典型的数字信号——矩形波，也可以用几个参数表示它的特征，如图1-3所示。图中 $V_m$ 称为脉冲幅度； $t_p$ 称为脉冲宽度； $T$ 称为脉冲周期。

图1-3所示信号可以用下式表达：

$$y(t) = \begin{cases} 0 & t_p \leq t < T \\ V_m & 0 \leq t \leq t_p \end{cases}$$

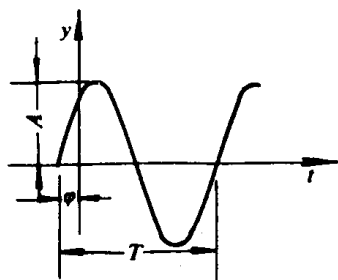


图 1-2 典型模拟信号参数

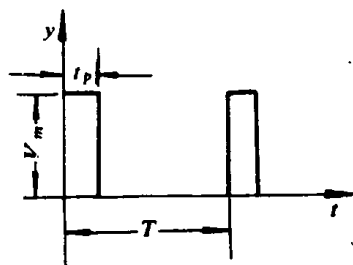


图 1-3 理想数字信号参数

上述的矩形波是理想的数字信号波形，实际上由于电路分布参数、元件特性等因素的影响，实际波形与理想波形有着差距。对于实际波形，为表示其特征，对有关参数给出了定义，如图1-4所示。图中 $V_m$ 称为脉冲幅度； $t_r$ 称为脉冲前沿上升时间，即电压由 $0.1V_m$ 上升到 $0.9V_m$ 所需的时间； $t_f$ 称为脉冲后沿下降时间，即电压由 $0.9V_m$ 下降到 $0.1V_m$ 所需的时间； $t_p$ 称为脉冲宽度，即前沿 $0.5V_m$ 到后沿 $0.5V_m$ 之间的时间； $T$ 称为脉冲周期。

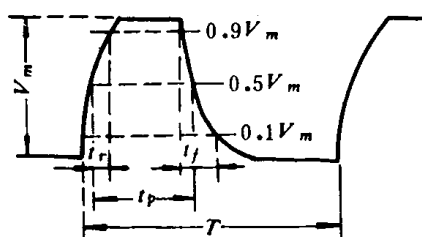


图 1-4 实际数字信号参数

为了表示或研究问题的方便，人们常用梯形波（见图1-1）作为数字信号实际波形的近似表示。

图1-5是目前应用十分广泛的数字频率计的原理框图，通过它可以粗略地了解脉冲数字电路所包含的一些基本内容。

为了用计数方法测量信号的频率，首先必须将幅度可能很小，波形也不呈矩形的被测信号经过放大与整形变换成具有一定幅度的矩形信号。随后将其送入主门，而主门开启的时间（也即允许被测信号通过的时间）由秒脉冲发生器产生并经门控电路转换，输出宽度为1s的脉冲进行控制。送入计数、记忆、显示部分的1s内的脉冲个数在控制单元发出置0→计数→记忆……有节奏的信号控制下，使显示器上不断地显示出每段取样时间（1s）内被测信号起伏变化的次数——频率。

在这个电路中，信号的放大与整形、脉冲的产生、计数过程的控制以及计数、记忆、显示等有关部分是脉冲数字电路研究的一些基本内容。上述频率测量的过程反映了数字信



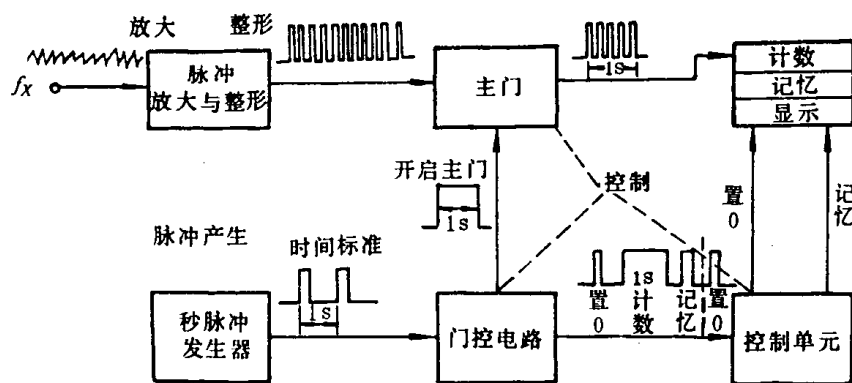


图 1-5 数字频率计的原理框图

号处理的一些基本过程。

## 二、数字电路及数字设备的优点

数字电路构成数字设备，数字设备形成数字系统，它们有着以下几个主要优点：

### （1）稳定性好，精确度高。

数字信号只有两种状态，有、无或高、低，其大小的变化只要不超过表征两种状态的范围就不失其代表的意义。通常，某一电压值以上定义为一个状态，另一电压值以下定义为另一个状态，各允许有相当宽的变化范围。而模拟信号是以不同的量值反映不同的信息状态，故量值要求严格。因此，相比之下，数字量稳定性好，相应的可靠性较高。有些物理量用数字信号处理比用模拟信号处理可获得更为精确的读数。例如，电力部门广泛应用的工频表，指针式的精度约为0.1Hz，且有视差；而数字式的精度可为0.001Hz，且无视差。

### （2）调整容易，使用方便。

数字信号的两种状态，对应于电路、器件的两种状态，即开、关或导通、截止。电路、设备的调整比模拟电路要容易得多，从使用的角度来看，改变电路、设备的状态相应的也方便得多。

### （3）易于标准化，通用化。

后面我们将讲到尽管数字电路、数字设备种类很多，但由于上述数字信号的特点，这些设备可以由若干种（为数不多）组件以各种不同的方式结合构成，而这些组件一般是标准化了的，这就为通用化提供了基础。

应该指出，由于电子电路集成工艺的成熟与进步，数字电子器件的成本降低甚快，促使数字电路、数字设备的优势得到充分发挥。目前数字电子技术正以极快的速度渗透到科学技术的各领域、国民经济的各部门，引起了越来越多的人的兴趣与关注。

## 三、数字电路及脉冲电路的特点

随着电子技术的发展，特别是数字集成电路的出现与发展，使数字电路从理论到实践的各个环节都脱离了脉冲电路，发展成了一门很受人重视的学科——数字电子学或数字电子技术。

脉冲电路中注重脉冲波形的产生与变换。波形是研究的重点，应用的数学工具是微分方程和拉氏变换一类的暂态分析方法。电路是由储能元件电感、电容，开关元件二极管、

三极管及电阻等组成。

数字电路中注重信号的两种状态 1 和 0 之间的变换。状态是研究的重点，应用的数学工具是逻辑代数。电路是由电阻及二极管、三极管等开关元件构成的逻辑门和触发器组成。

## 第二节 数 制

在数字电路中，数的计算和处理加工是中心问题。因此，有必要先就在数字电路中常用的几种计数体制，简称数制，作一些介绍。

### 一、十进制数

在我们日常工作与生活中，通常使用的数制是十进制，双手是这种数制的最原始的计算工具。

这种数制有两个主要特点：十个基码（0，1，2，3，4，5，6，7，8，9）；逢十进一。

例如，343.536，每个数码处于不同位置所代表的意义不同，第一个 3 为三百，第三个 3 为三，第五个 3 为百分之三……等等。为了突出不同位置数码的含义，上面的数可写成如下的形式：

$$343.536 = 3 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} \\ + 3 \times 10^{-2} + 6 \times 10^{-3}$$

基码之后的 $10^2$ 、 $10^1$ ……的值称为权，为了突出基码在不同位置时含义的不同，有时权又称为位权，也即表示基码在不同位置时所代表的数值不同。

对于数字电路来说，若采用十进制，则十个基码，要用十个能严格区分的稳定的电路状态与之对应，这不仅技术复杂，而且不经济，因此在数字电路中，不采用这种数制处理信号。

### 二、二进制数

在数字电路中数是以器件的两种相互对立的物理状态来表示的。用这种方法表示数，稳定可靠，经济方便。

与十进制数类似，它的两个主要特点是：两个基码（0，1）；逢二进一。

例如，1101.101是个二进制数，与它对应的十进制数应为：

$$1101.101 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ = 8 + 4 + 0 + 1 + \frac{1}{2} + 0 + \frac{1}{8} = 13.625$$

与十进制数相似，在这里 $2^3$ 、 $2^2$ 、 $2^1$ 、 $2^0$ 、……即 8、4、2、1……称之为二进制的权。

为了便于区别不同的数制，常在数字之后另加标识用的下标 2 或 B，10 或 D，分别表示二进制数或十进制数。上例数字分别为  $(1101.101)_2$ ， $(13.625)_{10}$ ；或  $(1101.101)_B$ ， $(13.625)_D$ 。

电路使用的二进制数和人熟悉的十进制数之间的沟通是用一定位数的二进制码组合对

应表示一个十进制码。十进制数的十个基码，若用三位二进制码来表示则不够，因为三位二进制码只能组合出八种状态，而用四位二进制数则可以组合出十六种状态。这样，就可从中取出十种来表示对应的十个基码。这称为十进制数的二进制编码，简称BCD码。由于从十六种中取出十种的方法可以有许多种，对应的BCD码就有多种，表1-1列出了其中的几种。在这些BCD码中，比较常用的为按8421位权编码的表示方法，称为8421BCD码。由于这种编码方法便于记忆，两者之间的转换也很方便，因此应用广泛，故一般提到BCD码，若未加特别声明，系指8421BCD码。

表 1-1 BCD 编 码 表

| 十进制码 | 8421码 | 2421码 | 5421码 | 余3码  |
|------|-------|-------|-------|------|
| 0    | 0000  | 0000  | 0000  | 0011 |
| 1    | 0001  | 0001  | 0001  | 0100 |
| 2    | 0010  | 0010  | 0010  | 0101 |
| 3    | 0011  | 0011  | 0011  | 0110 |
| 4    | 0100  | 0100  | 0100  | 0111 |
| 5    | 0101  | 1011  | 1000  | 1000 |
| 6    | 0110  | 1100  | 1001  | 1001 |
| 7    | 0111  | 1101  | 1010  | 1010 |
| 8    | 1000  | 1110  | 1011  | 1011 |
| 9    | 1001  | 1111  | 1100  | 1100 |
| 权    | 8421  | 2421  | 5421  |      |

这种编码方法与十进制数之间的对应转换关系举例如下：

$$(5203)_{10} = (0101 \ 0010 \ 0000 \ 0011)_{\text{BCD}}$$

$$(1001 \ 1000 \ 0011 \ 0010)_{\text{BCD}} = (9832)_{10}$$

### 三、十六进制数

与前类似，它的两个主要特点是：十六个基数（0，1，2，3，4，5，6，7，8，9，A，B，C，D，E，F）；逢十六进一。

例如，F3D.C8这个十六进制数，它的对应的十进制数应为：

$$F3D.C8 = 15 \times 16^2 + 3 \times 16^1 + 13 \times 16^0 + 12 \times 16^{-1} + 8 \times 16^{-2}$$

$$= 3901.78125$$

与十进制数相似，在这里 $16^2, 16^1, \dots$ 称为十六进制的权。

对于这种数制常在数字之后另加下标16或H标示，对于十六进制数F3D.C8可写为 $(F3D.C8)_{16}$ 或 $(F3D.C8)_H$ 。

二进制、十进制、十六进制数码的对应关系见表1-2。由表1-2可以看出，四位二进制数可用一位十六进制数表示，故十六进制数常用于表示、记忆一串与四位成整数倍的二进制数。因此，十六进制是二进制的扩展。

十六进制数的位数与对应的十进制数之间的关系如表1-3所示。表1-3说明一位十六进制数最大的基码“F”相当于十进制数的“15”，两位十六进制数“FF”相当于十进制数的“255”……其余依此类推。

表 1-2 二进制、十进制、十六进制数码对照表

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

表 1-3 多位十六进制与十进制数码对照表

| 位 数 | 十六进制 | 十 进 制           | 位 数 | 十六进制 | 十 进 制                |
|-----|------|-----------------|-----|------|----------------------|
| 1   | F    | $2^4 - 1 = 15$  | 3   | FFF  | $2^{12} - 1 = 4095$  |
| 2   | FF   | $2^8 - 1 = 255$ | 4   | FFFF | $2^{16} - 1 = 65535$ |

下面再列出一些常用的多位二进制数与其对应的二进制数的组合数目及其简称（1024 简称为 1 K，其余类推），如表1-4所示。表1-4说明  $n$  位二进制所包含的 0、1 组合的数目为从  $n$  个 0 按数值递增排列直至  $n$  个 1 的数目，共计为  $2^n$  个。例如当  $n = 10$  时，组合的数目为 1024 个。为方便记忆，将其简称为 1 K， $n = 10$  以上的  $2^n$  的十进制数的简称，列于表1-4的右侧。

表 1-4 多位二进制数与十进制数对照表

| 二进制位数 | 二进制数的组合数目       | 简 称 | 二进制位数 | 二进制数的组合数目        | 简 称  |
|-------|-----------------|-----|-------|------------------|------|
| 10    | $2^{10} = 1024$ | 1 K | 14    | $2^{14} = 16384$ | 16 K |
| 11    | $2^{11} = 2048$ | 2 K | 15    | $2^{15} = 32768$ | 32 K |
| 12    | $2^{12} = 4096$ | 4 K | 16    | $2^{16} = 65536$ | 64 K |
| 13    | $2^{13} = 8192$ | 8 K |       |                  |      |

#### 四、字母与符号的二进制代码

在数字电路、数字系统中传输和处理的是二进制信息，所以对于字母、符号需采用一定位数的二进制编码来表示，目前广泛采用的字母、符号的二进制编码为美国标准信息变换码，简称ASCII码（读作“阿斯克码”），我国信息处理交换用字符码（SJ939-75）与其相应。由于字母、符号数量较多，故用七位二进制编码。而在数字系统中作为信息的处理单元常用八位二进制码，故一般常在上述七位二进制码之前以0填充使其成为八位二进制码。

例如十进制基码“0”的ASCII码为0110000，再在第一位之前以0填充，“0”就表示为00110000 = 30H。

同理，“9”表示为00111001 = 39H；“A”表示为01000001 = 41H；“Z”表示为01011010 = 5AH。

各种字母、符号的二进制编码可查阅附录一ASCII码表。

### 第三节 数制的转换

#### 1. 二进制转换为十进制

要将二进制数转换为十进制数，可按二进制的位权展开相加即得。

例如， $(11011.101)_2 = 16 + 8 + 2 + 1 + 0.5 + 0.125 = 27.625$ 。

#### 2. 十进制转换为二进制

这是上述运算的逆运算，若能记住“位权”推算也是很容易的。

例如， $(129)_{10} = (?)_2$ 。

由于已知 $2^7 = 128$ ， $2^0 = 1$ ，所以 $129 = 2^7 + 2^0$ 。

可见最低位为1，最高位为第八位，其值为1，其余中间各位均为0。由此可得，

$$(129)_{10} = (10000001)_2。$$

十进制转换为二进制的一般方法为：

(1) 对整数，以2连除，取余数。

此法是将待转换的十进制数作为被除数除以2，其余数即为转换所得二进制数的最低位，然后再将其商作为被除数，仿上过程直至商数为0。

例如， $(53)_{10} = (?)_2$ 。

|                          |  |    |       |    |    |
|--------------------------|--|----|-------|----|----|
| 2                        |  | 53 |       | 余数 | 低位 |
| 2                        |  | 26 | ..... | 1  |    |
| 2                        |  | 13 | ..... | 0  |    |
| 2                        |  | 6  | ..... | 1  |    |
| 2                        |  | 3  | ..... | 0  |    |
| 2                        |  | 1  | ..... | 1  |    |
|                          |  | 0  | ..... | 1  | 高位 |
| $(53)_{10} = (110101)_2$ |  |    |       |    |    |

(2) 对小数，以2连乘，取整数。

连乘取整的过程与上相似，读者不难由下面的例子看懂其过程。

例如， $(0.8125)_{10} = (?)_2$ 。

|      |        |       |   |
|------|--------|-------|---|
|      | 0.8125 |       |   |
|      | × 2    | 整数    |   |
| 取整数后 | 1.6250 | ..... | 1 |
|      | 0.625  |       |   |
|      | × 2    |       |   |
| 取整数后 | 1.250  | ..... | 1 |
|      | 0.25   |       |   |
|      | × 2    |       |   |
| 取整数后 | 0.50   | ..... | 0 |
|      | 0      |       |   |
|      | × 2    |       |   |
| 取整数后 | 1.00   | ..... | 1 |
|      | 0.00   |       |   |

高位  
↓  
低位

可得:  $(0.8125)_{10} = (0.1101)_2$ 。

某些数用 2 连乘, 尾数可能不为零, 遇此情况应根据精度要求, 达到一定位数后, 舍去后面的数即可。

例如,  $(0.39)_{10} = (0.01100011110\cdots)_2$ , 现取  $(0.39)_{10} = (0.0110001)_2$ , 显然, 舍去部分为  $(0.00000001110\cdots)_2$ , 它小于保留的最小一位数  $0.0110001$ 。

在这里应该说明的是, 上述转换规则的导出是个简单的数学问题, 读者可自行思考, 这里不予赘述。

当一个十进制数既有整数又有小数时, 可按上法分别换算, 然后相加。

例如,  $(12.125)_{10} = (1100.001)_2$ 。

### 3. 十六进制转换为二进制

由于十六进制本身就是四位二进制, 故要将十六进制数转换为二进制数, 可将十六进制的每位, 用四位二进制表示, 由高到低顺序排列即得。

例如,  $(4AD)_{16} = (010010101101)_2 = (10010101101)_2$ 。

上例中最高位的“0”是多余的, 故可弃去。

### 4. 二进制转换为十六进制

这是上述转换的逆应用, 其方法为: 整数由小数点向左, 每四位一组, 若最高位不足四位左侧以 0 补齐。小数由小数点向右, 每四位一组, 若最低位不足四位右侧以 0 补齐。

例如,  $(1101111100011.100101111)_2$   
= 0001 1011 1110 0011. 1001 0111 1000  
= 1 B E 3 9 7 8  
=  $(1BE3.978)_{16}$ 。

### 5. 十六进制与十进制之间的转换

据前介绍不难理解, 十六进制与十进制之间的转换原理和方法跟二进制与十进制之间的转换是类似的, 即: 十六进制转换为十进制, 只要将它按权展开, 然后相加即得。而十进制转换为十六进制, 只要将整数和小数分别不断用十六连除、连乘, 所得余数、整数相合就是。

### 6. 二进制数的运算

二进制数的四则运算十分简单, 规则如下:

(1) 加法, 逢二进一。

$$0+0=0 \quad 1+0=1 \quad 0+1=1 \quad 1+1=(1)0$$

(2) 减法, 借一当二。

$$0-0=0 \quad 1-0=1 \quad 1-1=0 \quad (1)0-1=1$$

(3) 乘法。

$$0 \times 0 = 0 \quad 1 \times 0 = 0 \quad 0 \times 1 = 0 \quad 1 \times 1 = 1$$

(4) 除法。除法是乘法的逆运算, 一般在运算中两数相除, 实际上施行的是乘法与减法运算。

例如,  $100011 : 101 = 111$ 。

$$\begin{array}{r}
 111 \\
 101 \overline{) 100011} \\
 \underline{101} \phantom{000} \\
 111 \\
 \underline{101} \phantom{00} \\
 101 \\
 \underline{101} \phantom{0} \\
 0
 \end{array}$$

## 7. 二进制数的负数及运算

与十进制数一样，二进制数有正数也有负数。在数字电路中它是用二进制数之前增加一个特定的符号位来标示，通常规定以 0 表示正数，以 1 表示负数。

例如带符号的二进制八位数，第一位为符号位，其余七位为数值位。

$$\underline{0} \ 0101011 = +0101011$$

$$\underline{1} \ 1010001 = -1010001$$

在数字电路里为简化对带符号数的运算，引入了原码、反码、补码三种表示方法。正数的原码、反码、补码的表示方法是相同的。

例如， $-0101011$  的原码、反码、补码均为  $00101011$ 。

而负数的原码、反码、补码三者的表示方法则各不相同。

(1) 原码为给定的二进制数本身。

例如， $-0010001$  的原码为  $10010001$ 。

(2) 反码为将各数值位中的“1”变“0”，“0”变“1”。

例如， $-0010001$  的反码为  $11101110$ 。

(3) 补码为将原码的反码加 1。

例如， $-0010001$  的补码为  $11101111$ 。

简言之，负数的补码求法是：原码求反加 1。

利用二进制数的补码，可将二进制数的减法运算变为简单的加法运算。

例如， $43_{(10)} - 17_{(10)} = 43_{(10)} + (-17)_{(10)}$

将其变成二进制形式进行计算，即：

$$\begin{array}{r}
 43_{(10)} = 00101011 \\
 -17_{(10)} = 10010001 \\
 10010001 \text{ 的补码为 } 11101111
 \end{array}$$

两数相加：

$$\begin{array}{r}
 00101011 \\
 + 11101111 \\
 \hline
 100011010
 \end{array}$$

去掉进位数 1， $00011010 = +26$ 。

又例如， $17_{(10)} - 43_{(10)} = 17_{(10)} + (-43)_{(10)}$ 。

$43_{(10)}$  的二进制数的补码为  $11010101$ ，则：

$$\begin{array}{r} 00010001 \\ + 11010101 \\ \hline 11100110 \end{array}$$

所得结果为负数的补码：11100110。

为求其原码，应对其再次求补，故得结果为： $10011010 = -26_{(10)}$ 。

在这里通过例子验证带符号二进制数的有关定义和运算规则的正确性，以便学会运算。至于定义和运算规则的由来在此不作论证。

#### 8. 二进制的优缺点

从广义来说，凡符合 $2^n$ （ $n$ 为1，2，……正整数）的关系的进制均为二进制，故上述的二进制、十六进制均为二进制。

采用二进制的优点是：

（1）装置简单可靠。

工作于互相对立的两个状态的器件好选择，好调整。例如继电器的通、断两个状态，三极管的导通、截止两个状态，调试方便、工作可靠。

（2）运算规则简单。

采用二进制的缺点是：

（1）位数多，字码长。

例如， $(99)_{10} = (1100011)_2$ 。

同样是一位数，十进制是一位，而二进制则可能为1至4位，有时使用与记忆颇感不便。

（2）增加转换设备。

数字设备对信息的处理为二进制，而按人的习惯，输入及输出的信息为十进制，故其间需增加转换设备。

### 思考题与习题 1-1

1. 脉冲数字信号具有什么特点？
2. 理想数字信号和实际数字信号的特性参数各有哪些？
3. 脉冲数字电路包含有哪些基本内容？
4. 在数字电路中，数字、字母和符号各用什么方法表示？
5. 将下列十进制数转换为二进制数。

27 127 539 0.5625 99.875 102.84（误差小于 $1/2^4$ ）

6. 将下列二进制数转换为十进制数。

1011 101001 0.1101 1110.11 10101.001

7. 用BCD码表示下列各数。

$(324)_{10}$   $(0.24)_{10}$   $(37.86)_{10}$

8. 用二进制数表示下列十六进制数。

35 F5 31E 0101 2FA7 BFFF



9. 将下列十进制数转换为十六进制数。

45    129    5345    65535

10. 将下列十六进制数转换为十进制数。

96    3AB    2000    4AFF

11. 用带符号的八位二进制数计算下列十进制数。

85 - 36    12 - 96    67 - 119

## 第四节 二 极 管

为了解作为开关元件的半导体二极管、三极管的特性,必须首先了解半导体材料的特性,然后才能进一步了解二极管、三极管的工作原理。

### 一、半导体基础知识

#### (一) 本征半导体

导电能力介于导体与绝缘体之间的物质,例如锗、硅,称为半导体。纯净的半导体称为本征半导体。半导体有许多独特的性质,其中有两点应该特别引起注意: 1) 由于半导体对价电子的束缚较弱,当其受到光和热的作用时,价电子释放,从而使其导电能力增强。2) 在纯净的半导体中掺入微量的其它物质(称为杂质),会使其导电能力显著增加。上述第一点从原子的结构容易理解;而第二点,杂质为什么会对半导体的导电能力发生巨大的影响?这要从半导体的物质结构谈起。

常用的半导体材料锗和硅都是晶体结构,因此人们把由其制成的管子称为半导体管或晶体管。在锗或硅的晶体内原子是有规律的整齐地排列着的,如图1-6(a)所示。每个硅原子受邻近4个原子的束缚,4个价电子与周围4个原子的4个价电子构成共价键,共价键使原子之间的结合紧密。

在绝对零度( $0\text{ K} = -273\text{ }^{\circ}\text{C}$ )时,由于共价键的束缚,本征半导体中没有自由电子,

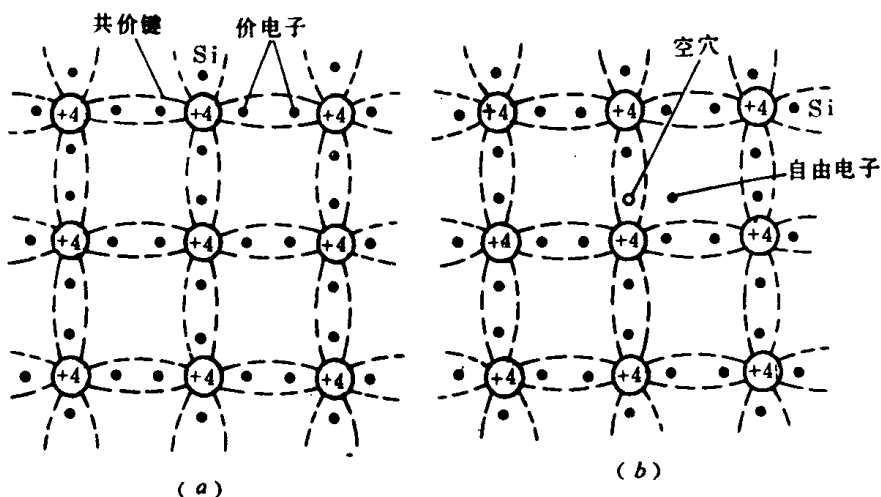


图 1-6 硅晶体的共价键结构

(a)本征硅晶体的共价键结构;(b)受激发硅晶体产生的电子—空穴对