



中国计算机学会教育专业委员会 推荐
全国高等学校计算机教育研究会 出版
高等学校规划教材

数字逻辑与 数字系统

王永军 丛玉珍 主编

计算机学科教学计划1993



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
URL: <http://www.phei.co.cn>

内 容 简 介

本书是根据《计算机学科教学计划 1993》要求编写的。内容包括:数字逻辑基础、逻辑门电路、触发器、时序逻辑电路、运算电路、半导体存储器、脉冲波形的产生与整形、可编程逻辑器件、数/模和模/数转换、数字系统分析与设计,单片机基本结构及应用。

本书加强了中、大规模集成电路内容,对可编程逻辑器件 PAL、GAL 和 FPGA 作了较全面的介绍,并以简易计算机为代表详细地阐述了数字系统的分析与设计方法。

本书可作为计算机类、电子类、自动化类等有关专业的教材及参考书,也可作为有关专业工程技术人员的参考书。

丛 书 名:高等学校规划教材
书 名:数字逻辑与数字系统
著 者:王永军 丛玉珍 主编
责任编辑:赵家鹏
特约编辑:袁 英
印 刷 者:北京市大中印刷厂
出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036 发行部电话:68279077

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:20.5 字数:518.4 千字

版 次:1997 年 5 月第 1 版 1999 年 2 月第 3 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-3847-1
G·287

定 价:22 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

版权所有·翻印必究

出版说明

中国计算机学会教育专业委员会和全国高等学校计算机教育研究会(以下简称“两会”),为了适应培养我国 21 世纪计算机各类人材的需要,根据学科技术发展的总趋势,结合我国高等学校教育工作的现状,立足培养的学生能跟上国际计算机科学技术发展水平,于 1993 年 5 月参照 ACM 和 IEEE/CS 联合教程专题组 1990 年 12 月发表的《Computing Curricula 1991》,制定了《计算机学科教学计划 1993》,并组织编写与其配套的 18 种教材。现推荐给国内有关院校,作为组织教学的参考。

《计算机学科教学计划 1993》是从计算机学科的发展和社会需要出发提出的最基本的公共要求,不是针对某一具体专业(如计算机软件或计算机及应用专业),因此它适用于不同类型的学校(理科、工科及其它学科)、不同专业(计算机各专业)的本科教学。各校可以根据自己的培养目标和教学条件有选择地组织制定不同的教学计划,设置不同的课程。本教学计划的思想是将计算机学科领域的知识,分解为九个主科目(算法与数据结构、计算机体系结构、人工智能与机器人学、数据学与信息检索、人-机通信、数值与符号计算、操作系统、程序设计语言、软件方法学与工程)作为学科的公共要求;对计算机学科的教学归结为理论(数学)、抽象(实验)和设计(工程)三个过程,并强调专业教学一定要与社会需要相结合。另外,还提出了贯穿于计算机学科重复出现的十二个基本概念,在深层次上统一了计算机学科,对这些概念的理解和应用能力,是本科毕业生成为成熟的计算机学科工作者的重要标志。

为了保证这套教材的编审和出版质量,两会成立了教材编委会,制定了编写要求和编审程序。编委会对编者提出的编写大纲进行了讨论,其中一些关键性和难度较大的教材还进行了多次讨论。并且组织了部分编委对教材的质量和进度分片落实,有的教材在编审过程中召开了部分讲课教师座谈会,广泛听取意见。参加这套教材的编审者都是在该领域第一线从事教学和科研工作多年,学术水平较高,教学经验丰富,治学态度严谨的教师。这套教材的出版得到了电子工业出版社的积极支持。他们把这套教材列为出版社的重点图书出版,并制定了专门的编审出版暂行规定和出版流程,组织了专门的编辑和协调机构。

这套教材的编审出版凝聚了参加这套教材编审教师和关心这套教材的教师、参与编辑和出版工作者、以及编委会成员的汗水,他们为此作出了努力。

这套教材还得到电子工业部计算机专业教学指导委员会的支持,其中 11 本被选入 1996~2000 年全国工科电子类专业规划教材。

限于水平和经验,这套教材肯定还会有缺点和不足,希望使用教材的单位、教师 and 同学积极提出批评建议,共同为提高教学质量而努力。

**中国计算机学会教育专业委员会
全国高等学校计算机教育研究会**

教材编审委员会成员名单

- 主任：王义和 哈尔滨工业大学计算机系
- 副主任：杨文龙 北京航空航天大学计算机系(兼北京片负责人)
- 委员：朱家铿 东北大学计算机系(兼东北片负责人)
- 龚天富 电子科技大学计算机系(兼成都片负责人)
- 邵军力 南京通信工程学院计算机系(兼南京片负责人)
- 张吉锋 上海大学计算机学院(兼上海福州片负责人)
- 李大友 北京工业大学计算机系
- 袁开榜 重庆大学计算机系
- 王明君 电子工业出版社
- 朱毅 电子工业出版社(特聘)

前 言

本书是根据《计算机学科教学计划 1993》要求,结合作者多年的教学和科研体会编写而成。内容包括:数字逻辑基础、逻辑门电路、触发器、时序逻辑电路、运算电路、半导体存储器、脉冲波形的产生与整形、可编程逻辑器件、数/模和模/数转换、数字系统分析与设计、单片机基本结构及应用等。

本书在讲清基本概念、基本原理的基础上,突出了分析方法和工程设计应用。根据数字电子技术的发展,加强了中大规模集成电路内容,并对可编程逻辑器件(PAL、GAL 和 FPGA)作了较全面的介绍。通过对“简易计算机”的分析与设计,不仅介绍了用寄存器传送语言来进行数字系统硬件设计的方法,而且使数字逻辑的针对性(尤其是对计算机专业)和实用性得到了加强。最后,针对课程实践性强的特点,除编排了一些实验性习题外,在附录部分还专门编写了实验内容以及选用芯片应注意的问题。

本书由王永军、丛玉珍主编。第一、二、八章由王魁臣编写,第三、五、九章由李新荃编写,第四、六、七章由丛玉珍编写,第十、十一章及附录 B、C、D 由王永军编写,第十二章由李景宏编写,附录 A 由丛玉珍、何玉琴、杨凤芝编写。

本书由东北大学田志芬教授主审;在编写过程中得到了东北大学电子技术教研室许多老师的大力支持和帮助,在此致以衷心的感谢。

本书可作为计算机类、电子类、自动化类等有关专业的教材及参考书。

限于编者水平,时间仓促,书稿虽经多次修改,但一定存在不少缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者

1995 年 3 月

目 录

第一章 数字逻辑基础	(1)
第一节 计数体制	(1)
一、十进制数	(1)
二、二进制数	(1)
三、八进制数和十六进制数	(2)
四、数制间的转换	(2)
第二节 常用编码	(4)
一、二-十进制编码(BCD 码)	(4)
二、循环码	(5)
三、ASCII 码	(5)
第三节 二极管和三极管的开关特性	(5)
一、二极管的开关特性	(5)
二、三极管的开关特性	(6)
第四节 逻辑代数基础	(8)
一、逻辑变量和逻辑函数	(8)
二、基本逻辑运算及基本逻辑门	(9)
三、逻辑代数的基本公式和常用公式	(11)
四、逻辑函数的表示方法	(13)
五、逻辑函数的化简	(13)
第五节 混合逻辑及等效替代法	(21)
一、负逻辑体制逻辑符号	(21)
二、等效逻辑符号替代法	(22)
习题一	(23)
第二章 逻辑门电路	(26)
第一节 分立元件门电路	(26)
一、基本逻辑门电路	(26)
二、与非门、或非门电路	(27)
第二节 TTL 集成逻辑门电路	(28)
一、TTL 与非门的工作原理	(28)
二、TTL 与非门的电压传输特性及抗干扰能力	(30)
三、TTL 与非门的输入特性、输出特性和带负载能力	(31)
四、TTL 与非门的动态特性	(34)
五、TTL 与非门的主要参数	(34)
第三节 其他类型的 TTL 门电路	(35)
一、集电极开路门(OC 门)	(35)
二、三态输出门(TSL 门)	(37)

第四节	MOS 逻辑门	(39)
一、	NMOS 门电路	(39)
二、	CMOS 门电路	(41)
习题二		(44)
第三章	组合逻辑电路	(49)
第一节	组合逻辑电路特点	(49)
第二节	小规模集成电路构成的组合电路的分析与设计	(49)
一、	分析方法	(49)
二、	设计方法	(51)
第三节	编码器	(52)
一、	二进制编码器	(53)
二、	二-十进制编码器	(53)
三、	优先编码器	(54)
第四节	译码器	(57)
一、	二进制译码器	(57)
二、	二-十进制译码器	(60)
三、	半导体数码管和七段字形译码器	(61)
第五节	数据分配器	(63)
第六节	数据选择器	(65)
第七节	用中规模集成电路构成的组合电路的设计	(68)
第八节	组合逻辑电路的竞争-冒险	(71)
一、	竞争-冒险的产生	(71)
二、	竞争-冒险的判断	(71)
三、	竞争-冒险的消除	(72)
习题三		(72)
第四章	触发器	(77)
第一节	基本触发器	(77)
一、	门锁电路及基本 RS 触发器	(77)
二、	同步 RS 触发器	(79)
三、	其他功能触发器	(81)
四、	存在问题	(83)
第二节	TTL 集成触发器	(83)
一、	TTL 集成 JK 触发器	(83)
二、	集成 D 触发器	(87)
第三节	MOS 触发器	(88)
第四节	触发器逻辑功能的转换	(89)
第五节	集成触发器的主要参数	(90)
习题四		(91)
第五章	时序逻辑电路	(93)
第一节	时序逻辑电路的特点	(93)
第二节	时序电路逻辑功能表示方法	(94)
一、	状态图	(94)

二、状态表	(95)
第三节 时序电路的分析方法	(95)
第四节 寄存器	(100)
一、数码寄存器	(100)
二、锁存器	(100)
三、移位寄存器	(101)
第五节 计数器	(104)
一、计数器分类	(104)
二、二进制计数器	(106)
三、十进制计数器	(108)
四、可逆计数器	(110)
五、用中规模集成计数器构成任意进制计数器	(111)
六、移位寄存器型计数器	(113)
第六节 顺序脉冲发生器	(115)
第七节 时序逻辑电路的设计方法	(118)
习题五	(123)
第六章 运算电路	(128)
第一节 二进制加法电路	(128)
一、半加器和全加器	(128)
二、串行加法器	(129)
三、并行加法器	(130)
四、BCD 码加法器	(131)
第二节 二进制减法电路	(133)
一、二进制正、负数表示方法	(133)
二、减法电路	(134)
第三节 数值比较电路	(136)
一、比较原理	(136)
二、一位比较器	(136)
三、四位比较器	(136)
第四节 算术逻辑单元(ALU)	(138)
一、ALU 的基本组成原理	(139)
二、集成算术逻辑单元	(140)
习题六	(142)
第七章 半导体存储器	(143)
第一节 概述	(143)
一、半导体存储器的特点及分类	(143)
二、存储器的技术指标	(143)
第二节 只读存储器	(144)
一、固定只读存储器(ROM)	(144)
二、可编程只读存储器	(145)
三、可擦可编程只读存储器	(146)
第三节 随机存取存储器	(148)

一、静态 RAM	(148)
二、动态 RAM	(149)
三、集成 RAM 简介	(151)
四、RAM 的扩展	(151)
习题七	(152)
第八章 脉冲波形的产生和整形	(154)
第一节 集成 555 定时器及应用	(154)
一、电路组成及工作原理	(154)
二、集成 555 定时器的应用	(155)
第二节 门电路构成的矩形波发生器及整形电路	(159)
一、多谐振荡器	(159)
二、单稳态触发器	(162)
三、施密特触发器	(163)
习题八	(165)
第九章 可编程逻辑器件和现场可编程门阵列器件	(167)
第一节 概述	(167)
第二节 PLD 逻辑表示法	(168)
第三节 可编程逻辑阵列(PLA)	(169)
一、PLA 的分类	(169)
二、FPLA 的阵列结构	(169)
三、用 FPLA 实现逻辑函数	(171)
第四节 可编程阵列逻辑(PAL)	(172)
一、PAL 的门阵列结构	(172)
二、PAL 的输出与反馈结构	(173)
三、PAL 的与阵列编程例说明	(176)
第五节 通用阵列逻辑(GAL)	(177)
一、GAL 的结构及其工作原理	(177)
二、GAL 的编程	(183)
第六节 现场可编程门阵列 FPGA 器件	(195)
一、概述	(195)
二、FPGA 的结构及工作原理	(196)
三、FPGA 的工作模式	(204)
四、FPGA 开发过程	(207)
五、开发系统和对硬件的要求简介	(208)
习题九	(209)
第十章 数/模和模/数转换	(210)
第一节 数/模转换器(DAC)	(210)
一、二进制权电阻 DAC	(210)
二、 $R-2R$ 倒 T 型电阻网络 DAC	(211)
三、DAC 的主要技术指标	(213)
四、集成 DAC	(213)
五、D/A 转换器应用举例	(215)

第二节 模/数转换器(ADC)	(218)
一、几个基本概念	(219)
二、并行比较 ADC	(221)
三、反馈比较式 ADC	(223)
四、双积分 ADC	(226)
五、ADC 的主要技术指标	(228)
六、集成 ADC 举例	(228)
第三节 A/D 转换器应用举例	(230)
习题十	(232)
第十一章 数字系统分析与设计	(235)
第一节 数字系统概述	(235)
第二节 数字系统设计语言——寄存器传送语言	(235)
一、基本语句	(236)
二、设计举例	(239)
第三节 简易计算机的功能分析与电路设计	(244)
一、简易计算机功能分析与框图设计	(245)
二、简易计算机控制器设计	(247)
三、简易计算机部件逻辑图设计	(250)
四、简易计算机的实现	(256)
习题十一	(260)
第十二章 单片机的基本结构及应用	(261)
第一节 概述	(261)
第二节 MCS-96 系列单片机的类型和主要性能	(261)
第三节 MCS-96 系列单片机的基本结构和功能	(262)
一、结构框图	(262)
二、引脚功能	(262)
三、中央处理单元 CPU	(264)
四、存储器空间及存储器、I/O 口的扩展	(264)
五、中断系统	(267)
六、定时器	(268)
七、高速输入 HSI	(269)
八、高速输出 HSO	(270)
九、A/D 转换器	(270)
十、脉冲宽度调制输出 PWM	(271)
十一、串行输入输出 SIO	(272)
第四节 MCS-96 系列单片机指令系统特点	(273)
第五节 8098 单片机在数据采集系统中的应用	(274)
一、与 A/D 转换器有关的寄存器	(274)
二、冲天炉工艺概述	(275)
三、硬件设计	(275)
四、软件设计	(276)
习题十二	(279)

附录 A 实验内容	(281)
一、逻辑的功能验证及应用电路实验	(281)
二、组合电路功能验证及应用电路实验	(282)
三、触发器功能验证及应用电路实验	(283)
四、时序电路功能验证及应用电路实验	(285)
五、脉冲波形的产生和整形电路实验	(286)
六、运算电路实验	(287)
七、综合性实验	(288)
附录 B 传输线	(296)
一、传输线的基本原理	(297)
二、传输线对数字电路工作的影响	(301)
附录 C 数字系统的可靠性	(303)
一、可靠度和失效率	(303)
二、可靠度和平均寿命	(306)
三、系统的可靠性估计	(306)
附录 D 数字集成电路命名方法及使用注意事项	(307)
一、数字集成电路命名方法	(307)
二、数字集成电路使用中应注意的问题	(309)
三、数字集成电路的接口	(311)
参考文献	(313)

第一章 数字逻辑基础

本章主要介绍计数体制,常用编码,二极管及三极管的开关特性和逻辑代数基础。这些内容是学习其他一些有关章节的基础知识,是研究逻辑电路的重要数学工具。下面分别进行介绍。

第一节 计数体制

在日常生活中人们习惯于使用十进制数,而在数字系统中常采用二进制数、八进制数和十六进制数。本节首先从人们最熟悉的十进制数开始分析,进而引出各种不同的进位计数制。

一、十进制数

一个十进制数具有两个特点,一个是用十个不同的数字符号 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 来表示,通常把这十个数字符号称为数码;另一个是它逢“十”进位。因此,同一个数码在一个数中处在不同的位置(或数位)代表的数值是不同的。例如,6666.66 这个数中,小数点左边的第一位 6 代表个位,就是它本身的数值 6(或 6×10^0);小数点左边第二位 6 代表十位,它的数值为 6×10^1 ;小数点左边第三位代表百位,它的数值为 6×10^2 ;小数点左边第四位代表千位,它的数值为 6×10^3 ;而小数点右边第一位 6,它的数值为 6×10^{-1} ;而小数点右边的第二位 6,它的数值为 6×10^{-2} 。因此,这个数可以写成:

$$6666.66 = 6 \times 10^3 + 6 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2}$$

上式中 6、6、6、6、6 这些数码均称为系数, 10^3 、 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 是每位数对应的权,这里 10 称为十进制数的基数,权乘以系数称为加权系数,所以一个十进制数的数值就是以 10 为基数的加权系数和。任意一个十进制数 M_{10} , 都可以表示为:

$$M_{10} = a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \dots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} \\ + a_{-2} \times 10^{-2} + \dots + a_{-m} \times 10^{-m} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i$$

式中的 i 表示数中的第 i 位; a_i 表示第 i 位的数码(系数),它可以是 0~9 中的任意一个, n 、 m 为正整数, n 为小数点左边的位数, m 为小数点右边的位数, 10 为计数制的基数, M 的下标为 10, 表示 M 是一个十进制数。基数和 M 的下标是一致的。如果 M 是 R 进制数,则写成 M_R 。以 R 为基数的 n 位整数, m 位小数的 R 进制数,则其按权展开式可写为:

$$M_R = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i R^i$$

二、二进制数

与十进制数类似,它也有两个主要特点:一个是用两个不同的数字符号 0 和 1 来表示;再一个是它逢“二”进位,当 1+1 时,本位复 0,向高位进 1(1+1=10)。因此,同一个数码在不同的数位所代表的值也是不同的。例如: $(1001)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = (8+0+0+$

$$1)_{10} = (9)_{10}; (11011.101)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ = (27.625)_{10}$$

任意一个二进制数 M_2 , 都可表示为:

$$M_2 = a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \dots + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0 + a_{-1} \times 2^{-1} \\ + a_{-2} \times 2^{-2} + \dots + a_{-m} \times 2^{-m} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i$$

式中 a_i 只能是 0 或 1, n, m 为正整数, n 为小数点左面的位数, m 为小数点右面的位数, 2 是进位制的基数, 故称二进制数。

在数字系统中采用二进制是比较方便的, 因为二进制只有两个数码 0 和 1, 因此它的每一位数都可以用某些元件所具有的两个不同的稳定状态来模拟。如三极管的饱和导通与截止, 某些器件输出电压的低与高等两个稳定状态, 只要其中一种状态表示 1, 而另一种状态则表示 0。于是, 就可以表示二进制数了。

三、八进制数和十六进制数

(一) 八进制数

八进制数有两个特点, 一个是用八个数码符号 0、1、2、3、4、5、6、7 来表示数值; 另一个是逢“八”进位, 即 $7+1=10$ 。

任意一个八进制数 M_8 , 可以表示为:

$$M_8 = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 8^i$$

式中 a_i 可取 0~7 之间的任意一个数值, n, m 为正整数, n 为小数点左边的位数, m 为小数点右边的位数, 8 为基数, 故称八进制数。

(二) 十六进制数

十六进制数亦有两个特点: 一个是用十六个数码符号 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 来表示数值; 再一个是逢“十六”进位, 即 $F+1=10$ 。它的表达式为:

$$M_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 16^i$$

式中 a_i 可取 0~F 之间的值, n, m 为正整数, n 为小数点左边的位数, m 为小数点右边的位数, 16 为基数, 故称十六进制数。

综上所述四种计数制, 它们的特点类似, 可以概括为:

1. 每一种计数制都有一个固定的基数 R , 它的每一位可取 R 个数码符号中的其中任意一个数码。
2. 它们是逢“ R ”进位的。因此, 它的每一个数位 i , 对应一个固定的值 R^i , R^i 就是该位的“权”, 小数点左边各位的权依次是基数 R 的正次幂; 而小数点右边各位的权依次是基数 R 的负次幂。显然, 若小数点向左移一位, 则等于减小了 R 倍; 若小数点向右移一位, 则等于增加了 R 倍。

四、数制间的转换

(一) 二进制与十进制之间的转换

1. 二进制数转换成十进制数

通常的方法是用加权系数之和而求得:

$$M_2 = (11011.101)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = (27.625)_{10}$$

2. 十进制数转换成二进制数

把十进制数 25.625 转换成二进制数,其方法是:把数的整数部分连续除以 2 取余数作为二进制数整数;小数部分连续乘以 2 取整数作为二进制数小数。

2	25	
2	12	余 1 = a ₀
2	6	余 0 = a ₁
2	3	余 0 = a ₂
2	1	余 1 = a ₃
	0	余 1 = a ₄

	0.625	
×	2	
	1.250	a ₋₁ = 1
	0.250	
×	2	
	0.500	a ₋₂ = 0
	0.500	
×	2	
	1.000	a ₋₃ = 1

则 $(25.625)_{10} = (11001.101)_2$

(二) 二进制与八进制之间的转换

1. 二进制数转换成八进制数

把二进制数 101011011.110101110 转换成八进制数要分别进行对整数和小数的转换。整数的转换可从最低位(小数点左第一位)开始,每三位分为一组,每组用一位等价八进制数来替代;小数的转换可从小数点右面第一位开始,每三位分为一组,最后不足三位的补零,然后顺序写出对应的八进制数即可。

$$\begin{array}{ccccccc} 101 & 011 & 011 & \cdot & 110 & 101 & 110 \\ 5 & 3 & 3 & \cdot & 6 & 5 & 6 \end{array}$$

则 $(101011011.110101110)_2 = (533.656)_8$

2. 八进制数转换成二进制数

八进制数转换成二进制数,其过程只要将每位八进制数用等价的三位二进制数表示即可。

例如, $(564.321)_8 = (101110100.011010001)_2$

(三) 二进制与十六进制之间的转换

1. 二进制数转换成十六进制数

二进制数转换成十六进制数,其方法是将二进制数的整数部分由小数点向左,每四位分一组,最后不足四位的前面补零;小数部分由小数点向右,每四位分一组,最后不足四位的后面补零,然后把每四位二进制数用等价的十六进制数来代替,即可转换为十六进制数。例如, $(1101110.1101110)_2$ 转换成十六进制数:

$$\begin{array}{cccc} 0110 & 1110 & \cdot & 1101 & 1100 \\ 6 & E & \cdot & D & C \end{array}$$

则 $(1101110.1101110)_2 = (6E.DC)_{16}$

2. 十六进制数转换成二进制数

转换方法与上述过程相反,每位十六进制数用四位二进制数替换即可。例如, $(1BE3.97)_{16}$ 转换成二进制数,其转换过程如下:

$$\begin{array}{ccccccc} 1 & B & E & 3 & \cdot & 9 & 7 \\ 0001 & 1011 & 1110 & 0011 & \cdot & 1001 & 0111 \end{array}$$

则 $(1BE3.97)_{16} = (1101111100011.10010111)_2$

第二节 常用编码

什么是编码？一般来说，用文字、符号或者数码来表示某种信息（数值、语言、操作命令、状态）的过程叫编码。在数字系统或计算机中是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。因为二进制代码只有“0”和“1”两个数字，电路上实现起来最容易。

一、二-十进制编码(BCD 码)

十进制数是用 0~9 十个数字符号组成的，为此可用四位二进制数的十六种组合作为代码，取其中十种组合来表示 0~9 这十个数字符号。通常，把用四位二进制数的代码来表示一位十进制数，这种关系称为二-十进制编码。也叫做 BCD 码。任取哪十种组合，是有多种方案的，这就形成了各种不同的 BCD 码，常用的几种 BCD 码，列于表 1-1 中。

表 1-1 常用的几种 BCD 码

编码种类 十进制数	8421 码	余 3 码	2421 码 (A)码	2421 码 (B)	5421 码	余 3 循环码
0	0000	0011	0000	0000	0000	0010
1	0001	0100	0001	0001	0001	0110
2	0010	0101	0010	0010	0010	0111
3	0011	0110	0011	0011	0011	0101
4	0100	0111	0100	0100	0100	0100
5	0101	1000	0101	1011	1000	1100
6	0110	1001	0110	1100	1001	1101
7	0111	1010	0111	1101	1010	1111
8	1000	1011	1110	1110	1011	1110
9	1001	1100	1111	1111	1100	1010
权	8421		2421	2421	5421	

(一) 8421 码

这种编码是使用最多的一种 BCD 码，是个有权码，其各位的权分别是（从最高有效位开始至最低有效位）8、4、2、1。如果把每一个代码都看成是一个四位二进制数，这个代码的数值恰好等于它所代表的十进制数的大小。

(二) 余 3 码

因为每一个余 3 码所表示的四位二进制数的数值要比它所对应的十进制数恰好多 3，所以这种编码叫做余 3 码。从编码表中可以看到，0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5，这五对代码是互补的。例如，2 中的 0 变 1、1 变 0 就可得到 7；7 中的 0 变 1、1 变 0 就可得到 2。这种互补性有利于进行减法运算，在此不进行讨论。

二、循环码

四位循环码如表 1-2 所示。从表中可以看到相邻两组代码间只有一位取值不同,而其他位均相同。再有每一位代码从上到下的排列顺序都是以固定的周期进行循环的,右起第一位的循环周期是“0110”、第二位的循环周期是“00111100”、第三位的循环周期是“0000111111110000”等等。从表中还可以看到,以十六种组合的中间为轴,最高位由 0 变 1,其余三位均与轴对称组合相同。这种编码是一种无权码,又叫做反射码或格雷码。

表 1-2 四位循环码

十进制数	循环码
0	0 0 0 0
1	0 0 0 1
2	0 0 1 1
3	0 0 1 0
4	0 1 1 0
5	0 1 1 1
6	0 1 0 1
7	0 1 0 0
8	1 1 0 0
9	1 1 0 1
10	1 1 1 1
11	1 1 1 0
12	1 0 1 0
13	1 0 1 1
14	1 0 0 1
15	1 0 0 0

三、ASCII 码

ASCII 是美国信息交换标准码的简称(American National Standard Code for Information Interchange)。它的编码表如表 1-3 所示,是一组七位代码,用来表示十进制数、英文字母及专用符号。

表 1-3 ASCII 码

字符 b_7, b_6, b_5 b_4, b_3, b_2, b_1	000	001	010	011	100	101	110	111
0 0 0 0	NUL	DLE	SP	0	@	P	\	p
0 0 0 1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0 0 1 0	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0 0 1 1	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0 1 0 0	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0 1 0 1	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0 1 1 0	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0 1 1 1	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1 0 0 0	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1 0 0 1	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1 0 1 0	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1 0 1 1	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1 1 0 0	FF	FS	,	<	L	\	l	!
1 1 0 1	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1 1 1 0	SO	RS	.	>	N	↑	n	~
1 1 1 1	SI	US	/	?	O	↓	o	DEL

第三节 二极管和三极管的开关特性

一、二极管的开关特性

在数字电路中,二极管经常工作在开关状态(导通和截止状态交替工作),下面略述二极管在开关状态下的工作特点。

(一) 二极管导通条件及导通时特点

在硅二极管两端外加正向电压 V_F , 并把 $V_F \geq 0.7V$ 作为硅二极管的导通条件。且近似认为二极管一旦导通, 它的正向管压降 V_D 保持在 $0.7V$ 不变, 相当一个开关闭合后有个 $0.7V$ 的压降(锗管为 $0.2V$)。这就是把二极管导通看作开关闭合时的特点。

(二) 二极管截止条件及截止时的特点

当硅二极管两端外加的正向电压 V_F 小于死区电压 $0.5V$ (或外加反向电压 V_R) 时, 二极管电流 I_D 很小 ($I_D \approx 0$), 相当于硅二极管截止。所以把 $V_F \leq 0.5V$ 作为硅二极管的截止条件(锗管 $V_F \leq 0.1V$)。硅二极管处于截止状态时, 其电流 I_D 看成零, 相当于开关断开。这就是把硅二极管截止看作开关断开时的特点。

(三) 二极管反向恢复时间 t_{re}

图 1-1(a) 所示二极管电路, 其输入电压 v_1 为如图(b)所示矩形波。在 $0 \sim t_1$ 的时间内输入电压为 $+V_F$, 二极管正向导通, 有正向电流 I_F 流过。在 t_1 时刻输入电压由 $+V_F$ 跳变到 $-V_R$, 在理想情况下, 二极管应立刻截止, 只有很小的反向饱和电流 I_R , 电流 i 的波形如图(c)所示。两种状态的相互转换不需要时间。但实际情况是二极管并不会立刻截止, 而是仍然导通的, 在 t_1 时刻产生一个很大的反向电流, 只有经过时间 t_{re} 后二极管才恢复到截止状态。电流 i 的实际波形如图(d)所示。时间 t_{re} 称为反向恢复时间。

为什么会出很大的反向电流呢? 原因是由于当二极管正向导通时, 多数载流子不断向对方区域扩散, 在 PN 结的两侧存储大量扩散过去的载流子,

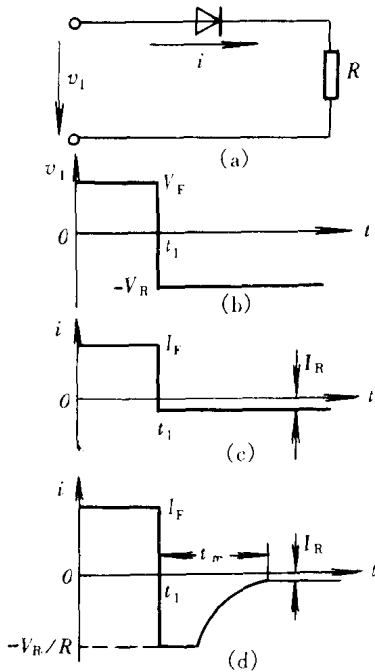


图 1-1 二极管开关特性

(a) 二极管电路 (b) 输入电压波形
(c) 理想电流波形 (d) 实际电流波形

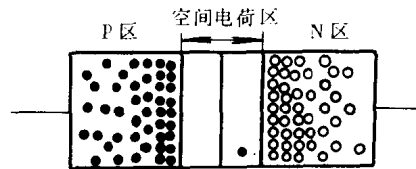


图 1-2 P 区和 N 区少数存储情况

如图 1-2 所示。P 区中的多数载流子空穴

扩散到 N 区后, 成为 N 区中的少数载流子; N 区中的多数载流子电子扩散到 P 区后, 成为 P 区中的少数载流子。因此, 一旦外加电压反向时, 它们就会形成较大的反向漂移电流 V_R/R , 如图 1-1(d) 所示。只有经过一段反向恢复时间, 在 PN 结的两侧存储的载流子消散后, 二极管才进入截止状态。

反向恢复时间 t_{re} 一般为纳秒数量级, 它是开关二极管特有的参数, 用来衡量开关速度的快慢。 t_{re} 值愈小, 开关速度愈快, 允许信号频率愈高。

二、三极管的开关特性

在数字电路中, 三极管经常工作在截止状态(相当于开关打开)和饱和状态(相当于开关闭合), 并且经常在这两个状态之间进行快速转换。把这种工作情况称为三极管工作在开关状态。