高等职业教育"十一五"规划教材
高职高专机电类教材系列

邱丽芳/主　编
王　皑/副主编
谭耀辉/主　审

数字电子技术

科学出版社
www.sciencep.com

● 高等职业教育“十一五”规划教材

高职高专机电类教材系列

数字电子技术

邱丽芳　主　编
王　皑　副主编
谭耀辉　主　审

科 学 出 版 社
北　京

内 容 简 介

全书共9章，介绍了数字电路的基础知识、逻辑代数基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、脉冲电路、数模和模数转换和半导体存储器，涵盖了数字电子技术的全部内容，各章配有小结及习题。全书以培养技术应用能力为主线，体现高职高专特色。在内容组织和编写安排上，有难有易，深入浅出，通俗易懂。

本书为高等职业教育“十一五”规划教材，可以作为高等职业院校、高等专科学校、成人高等学校以及本科院校举办的二级职业技术学院的电气、电子、通信、计算机、自动化和机电等专业的“数字电子技术基础”、“数字逻辑电路”、“电子技术基础”（数字部分）课程的教材，也可供从事电子技术方面的工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

数字电子技术/邱丽芳主编. —北京：科学出版社，2008
高等职业教育“十一五”规划教材·高职高专机电类教材系列
ISBN 978-7-03-022475-0

Ⅰ. 数… Ⅱ. 邱… Ⅲ. 数字电路-电子技术-高等学校：技术学校-教材 Ⅳ. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第097060号

责任编辑：庞海龙/ 责任校对：耿 耘
责任印制：吕春珉 / 封面设计：耕者设计工作室

科学出版社出版
北京东黄城根北街16号
邮政编码：100717
http://www.sciencep.com
骏杰印刷厂印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年7月第 一 版 开本：787×1092 1/16
2008年7月第一次印刷 印张：15
印数：1—3 000 字数：356 000

定价：24.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换〈环伟〉）
销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026（VT03）

前　言

“数字电子技术”是一门发展迅速、实践性和应用性很强的技术基础课程。根据数字电路的特点，本书以培养学生的应用能力为目的，在内容安排上突出基本理论、基本概念和基本分析方法，回避了繁琐的电路内部的分析。本书理论与实践紧密结合，从工程的角度出发培养学生应用所学知识解决实际问题的能力，力图使学生学完本教材后能获得作为技术应用型人才所必须掌握的“数字电子技术”的基本知识和实际技能。选材时注意了内容的实用性，突出了应用能力的培养，概念准确，层次分明，文字流畅，图表清晰，深入浅出，通俗易懂。

全书共 9 章。第 1 章为数字电路基础；第 2 章为逻辑代数基础；第 3 章为逻辑门电路；第 4 章为组合逻辑电路；第 5 章为集成触发器；第 6 章为时序逻辑电路；第 7 章为脉冲电路；第 8 章为数模和模数转换；第 9 章为半导体存储器。各章末尾都配备了小结、习题，帮助学生复习和巩固所学知识，以便对所学内容进行掌握和应用。

本书具体编写分工如下：第 1～3 章、参考答案、附录由王皑编写，第 4 章由胡汉辉编写，第 5 章由李德尧编写，第 6 章由陈永荣编写，第 7 章由张宇驰编写，第 8 章由何忠胜编写，第 9 章由邱丽芳编写。谭耀辉认真仔细地审阅了全书，并提出了许多宝贵意见，在此对他表示诚挚的谢意！

由于水平有限，书中存在差错或不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

目　录

第 1 章　数字电路基础

本章介绍有关数字电路的基本概念。首先扼要介绍数字电路的分类、特点、应用，然后讲述十进制、二进制、八进制、十六进制数的运算规则及它们相互间的转换方法，最后介绍了 BCD 码、格雷（Gray）码、校验码。

1.1　概　　述

1.1.1　数字信号和数字电路

电子电路中的信号可分为两类。一类是指时间上和数值上都连续变化的信号，称为模拟信号，如正弦交流信号，直流信号，电视的图像、伴音信号以及模拟温度、压力等物理量变化的信号等，如图 1.1（a）所示。用来生产、传输、处理模拟信号的电路称为模拟电路；另一类是指时间上和数值上都不连续变化的离散信号，称为数字信号，如汽车司机在运行里程表上的读数，工厂产品数量的统计等信号，如图 1.1（b）所示。用来生产、传输、处理数字信号的电路称为数字电路。

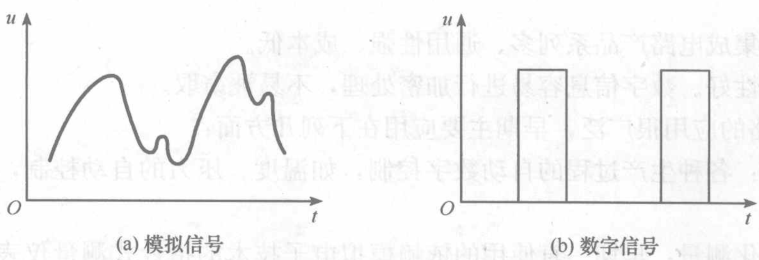

图 1.1　模拟信号和数字信号

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，即工作时在饱和区和截止区之间转换，而放大区只是其过渡状态。

数字电路重点研究电路的输入信号和输出信号之间的逻辑关系，所以在这种电路中就不能采用模拟电路的分析方法，而是采用逻辑代数来作为分析工具。数字电路的研究往往可分为两类：一类是对已有电路逻辑功能的分析，叫逻辑分析；另一种是按一定逻辑功能要求设计出符合功能条件的电路，叫逻辑设计。在数字电路中，常用来表示电路功能的方法有逻辑符号图、真值表、逻辑表达式、波形图等。

1.1.2　数字电路的分类

数字电路按其组成结构不同分为分立元件和集成电路两类。其中，集成电路按集成度大小分为小规模集成电路（small scale integration，SSI，集成度为 1～10 门/片，如

逻辑门电路、集成触发器等）、中规模集成电路（medium scale integration，MSI，集成度为 10～100 门/片，如计数器、译码器等逻辑部件）、大规模集成电路（large scale integergration，LSI，集成度为 100～1000 门/片，如中央控制器、存储器等数字逻辑部件）和超大规模集成电路（very large scale intergration，VLSI，集成度为大于 1000 门/片，如各种型号的单片机等高集成度数字逻辑部件等）。

按半导体的导电类型不同分为双极型和单极型电路。其中双极型电路包括 DTL、TTL、ECL 等；单极型电路包括 NMOS、PMOS、CMOS 等。

按电路逻辑功能的特点分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两大类。

1.1.3 数字电路的优点及应用

与模拟电路相比，数字电路主要有如下优点：

1）便于高度集成化。由于数字电路采用二进制，凡具有两个状态的电路都可用来表示 0 和 1 两个数，因此，基本单元电路的结构简单，允许电路参数有较大的离散性，有利于将众多的基本单元电路集成在同一块硅片上和进行批量生产。

2）工作可靠性高、抗干扰能力强。数字信号是用 1 和 0 来表示信号的有和无，数字电路辨别信号的有和无很容易，从而大大提高了电路的工作可靠性。同时，数字信号不易受到噪声干扰，因此它的抗干扰能力很强。

3）数字信息便于长期保存。借助某种介质（如磁盘、光盘等）可将数字信息长期保存下来。

4）数字集成电路产品系列多、通用性强、成本低。

5）保密性好。数字信息容易进行加密处理，不易被窃取。

数字电路的应用很广泛，早期主要应用在下列几方面：

1）数控：各种生产过程的自动数字控制，如温度、压力的自动控制，数控机床的控制等。

2）数字化测量：早期一直使用的依赖模拟电子技术的指针式测量仪表，现在已由数字式仪表所代替，如数字频率计、数字万用表、数字秤、数字钟等。

3）电子数字计算机：20 世纪 30 年代前后，人们开始将电子技术应用于计算工具，开发电子计算机，但最早采用真空管，即用饱和—截止两状态的数字电路形式，从 20 世纪 50 年代开始，数字电子技术逐渐进入计算机以致完全占领了电子计算机领域。当今人们所熟悉的电子计算机，几乎全都是利用数字电路的计算机了。

4）数字通信：进入 21 世纪以后，“数字化”、“信息”、“数字信息”这些名词已家喻户晓，它标志着数字电子技术还将在更深层次上进入生产、生活的各个领域。

1.2 数制与码制

1.2.1 常用数制

在日常生活中，人们用数字量表示事物的多少时，仅用一位数码往往不够用，所以

经常需要用进位计数的方法组成多位数码使用。我们把多位数码中每一位的构成方法以及从低位向高位的进位规则称为计数进位制，简称数制。

在数字电路中常用的计数进位制除了十进制以外，还有二进制、八进制、十六进制。

1. 十进制数

十进制是以 10 为基数的计数体制，它是人们在日常生活和工作中常用的进位计数制。组成十进制数的符号有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 共 10 个符号，我们称这些符号为数码。在十进制中，每一位可以是 0～9 十个数码中的一个，最高数码为 9，超过 9 就必须用多位数来表示，计数的基数为 10，又称权为 10。其中低位和相邻高位之间的进位关系是“逢十进一”。

十进制数中，数码的位置不同，所表示的值就不相同，如

$$234.56 = 2\times10^2 + 3\times10^1 + 4\times10^0 + 5\times10^{-1} + 6\times10^{-2}$$

一般地说，任意十进制数可表示为

$$(N)_{10} = \sum_{i=n-1}^{-m} k_i \times 10^i = k_{n-1}\times10^{n-1} + \cdots + k_0\times10^0 + \cdots + k_{-m}\times10^{-m} \tag{1.1}$$

式 (1.1) 称为十进制数 $(N)_{10}$ 的权的展开式。k_i 是第 i 位的系数，它可以是 0～9 这十个数码中的任何一个。i 表示该数码所处的位置，位置不同，它所表示的值不同；n 和 m 为正整数，n 表示该十进制数整数部分位数，m 表示小数部分的位数。

2. 二进制数

二进制是数字电路中应用最广的计数制。它是以 2 为计数基数，每位只有 0 和 1 两个数码，低位和相邻高位间的进位关系是“逢二进一”。任何一个二进制数的权展开式为

$$(N)_2 = \sum_{i=n-1}^{-m} k_i \times 2^i = k_{n-1}\times2^{n-1} + \cdots + k_0\times2^0 + \cdots + k_{-m}\times2^{-m} \tag{1.2}$$

式 (1.2) 中 k_i 取 0 或 1 两个数码，2^i 为第 i 位的权值，i 包含从 $n-1$ 到 0 的所有正整数和从 -1 到 $-m$ 的所有负整数，如

$$(1101.11)_2 = 1\times2^3 + 1\times2^2 + 0\times2^1 + 1\times2^0 + 1\times2^{-1} + 1\times2^{-2} = (13.75)_{10}$$

3. 八进制数和十六进制数

八进制数的进位基数为 8，它有 0～7 八个数码，各位数的权值是 8 的幂。低位数和相邻高位数之间的进位关系是“逢八进一”。任何一个八进制数均可展开为

$$(N)_8 = \sum_{i=n-1}^{-m} k_i \times 8^i = k_{n-1}\times8^{n-1} + \cdots + k_0\times8^0 + \cdots + k_{-m}\times8^{-m} \tag{1.3}$$

式 (1.3) 中 k_i 取 0～7 中的某一数码，8^i 为第 i 位的权值，如

$$(123.4)_8 = 1\times8^2 + 2\times8^1 + 3\times8^0 + 4\times8^{-1} = 64 + 16 + 3 + 0.5 = (83.5)_{10}$$

同理，十六进制是以 16 为基数的计数体制。它有 0～9、A、B、C、D、E、F 十六个数码（十进位数的 10～15 分别用 A～F 六个英文字母表示）。低位数与相邻高位数之间的进位关系是“逢十六进一”。任何一个十六进制数可表示为

$$(N)_{16}=\sum_{i=n-1}^{-m}k_i\times 16^i=k_{n-1}\times 16^{n-1}+\cdots+k_0\times 16^0+\cdots+k_{-m}\times 16^{-m} \quad (1.4)$$

式（1.4）中 k_i 取 0～F 中的某一数码，16^i 为第 i 位的权值，如

$$(4B.AF)_{16}=4\times 16^1+11\times 16^0+10\times 16^{-1}+15\times 16^{-2}=(75.68359375)_{10}$$

表 1.1 列出了二进制、八进制、十进制和十六进制不同数制的对照关系。

表 1.1　十进制、二进制、八进制、十六进制对照表

十进制	二进制	八进制	十六进制	十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0000	0	0	8	1000	10	8
1	0001	1	1	9	1001	11	9
2	0010	2	2	10	1010	12	A
3	0011	3	3	11	1011	13	B
4	0100	4	4	12	1100	14	C
5	0101	5	5	13	1101	15	D
6	0110	6	6	14	1110	16	E
7	0111	7	7	15	1111	17	F

1.2.2　不同数制间的转换

1. 2^n 进制数转换成十进制数

二进制、八进制、十六进制转换成十进制时，只要将它们按权展开，求出各加权系数的和，便得到相应进制数对应的十进制数。

【例 1.1】将下列二进制、八进制、十六进制数转换为十进制。

解：

$$\begin{aligned}(11010.101)_2&=1\times 2^4+1\times 2^3+1\times 2^1+1\times 2^{-1}+1\times 2^{-3}\\&=16+8+2+0.5+0.125\\&=(26.625)_{10}\\(125.46)_8&=1\times 8^2+2\times 8^1+5\times 8^0+4\times 8^{-1}+6\times 8^{-2}\\&=64+16+5+0.5+0.09375\\&=(85.59375)_{10}\\(4CF)_{16}&=4\times 16^2+12\times 16^1+15\times 16^0\\&=(1231)_{10}\end{aligned}$$

2. 十进制数转换成 2^n 进制数

十进制数分整数部分和小数部分，因此，需将整数和小数分别进行转换，再将转换结果按顺序排列起来，就得到该十进制数转换的完整结果。

1）整数部分的转换：采用除基取余法。所谓除基取余法即用目的数制的基数去除十进制整数，第一次所得的余数为目的数的最低位，把得到的商再除以该基数，所得的余数为目的数的次低位，依此类推，直至商为 0 时，所得的余数为目的数的最高位。

2）小数部分的转换：采用乘基取整法，即用该小数去乘目的数制的基数，第一次

乘得结果的整数部分为目的数的最高位（小数部分的最高位），将乘得结果的小数部分再乘基数，所得结果的整数部分作为目的数的第二位，依此类推，直至小数部分为 0 或达到要求精度为止。

【例 1.2】 把 $(37)_{10}$ 转换成二进制数、八进制数、十六进制数。

解：

		余数	
2	37	1	最低位
2	18	0	
2	9	1	
2	4	0	
2	2	0	
2	1	1	最高位
	0		

$(37)_{10}=(100101)_2$

		余数	
8	37	5	最低位
8	4	4	最高位
	0		

$(37)_{10}=(45)_8$

		余数	
16	37	5	最低位
16	2	2	最高位
	0		

$(37)_{10}=(25)_{16}$

【例 1.3】 把 $(0.675)_{10}$ 转换成二进制数、八进制数、十六进制数均精确到小数后四位。

解：

二进制数	取　整	八进制数	取　整	十六进制数	取　整	
0.675×2＝1.350	1	0.675×8＝5.400	5	0.675×16＝10.800	10	最高位
0.350×2＝0.700	0	0.400×8＝3.200	3	0.800×16＝12.800	12	↓
0.700×2＝1.400	1	0.200×8＝1.600	1	0.800×16＝12.800	12	
0.400×2＝0.800	0	0.600×8＝4.800	4	0.800×16＝12.800	12	
0.800×2＝1.600	1	0.800×8＝6.400	6	0.800×16＝12.800	12	
$(0.675)_{10}=(0.1010)_2$		$(0.675)_{10}=(0.5315)_8$		$(0.675)_{10}=(0.\mathrm{ACCD})_{16}$		

注意： 在将十进制小数转换成二进制小数时，一般保留 4 位小数，第 5 位小数则采取“零舍一入”的原则。由此可知，十进制小数有时不能用二进制小数精确地表示出来，这时只能根据精度要求，求到一定的位数，近似地表示。在将十进制小数转换成八进制小数时，若保留 4 位小数则第 5 位小数采取“三舍四入”，在将十进制小数转换成十六进制小数时，若保留 4 位小数则第 5 位小数采取“七舍八入”。

十进制数转换成二进制数也可以采用下面拆分法，把一个十进制数拆成 2^N 数的和值，再写出相应的二进制数。

【例 1.4】 把 $(107.794)_{10}$ 转换成二进制数，精确到小数后四位。

解：

$(107.794)_{10}=2^6+2^5+2^3+2^1+2^0+2^{-1}+2^{-2}+0.044=(1101011.1100)_2$

说明：由于 0.044 小于 $2^{-4}=0.0625$，故省略去。

3. 2^n 进制数之间的转换

1）二进制数与八进制数之间转换：由于八进制数的基数 $8=2^3$，所以每位八进制数用三位二进制数构成。若二进制数转换为八进制数，整数部分从低位开始，每三位二

进制数为一组，最后不足三位的，则在高位加 0 补足三位为止；小数点后的二进制数则从高位开始，每三位二进制数为一组，最后不足三位的，则在低位加 0 补足三位，然后用对应的八进制数来代替，再按顺序排列写出对应的八进制数。

【例 1.5】 试将二进制数 $(1010111100.10111011)_2$ 转换成八进制数。

解：

$$\begin{array}{cccccccc} 001 & 010 & 111 & 100 & \cdot & 101 & 110 & 110 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 1 & 2 & 7 & 4 & \cdot & 5 & 6 & 6 \end{array}$$

所以

$$(1010111100.10111011)_2=(1274.566)_8$$

将一个八进制数转换成二进制数时，只要把每位八进制数用三位二进制数来代替，再按原来的顺序排列起来，便得到了相应的二进制数。

【例 1.6】 试将八进制数 $(7425.631)_8$ 转换成二进制数。

解：

$$\begin{array}{cccccccc} 7 & 4 & 2 & 5 & \cdot & 6 & 3 & 1 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 111 & 100 & 010 & 101 & \cdot & 110 & 011 & 001 \end{array}$$

所以

$$(7425.631)_8=(111100010101.110011001)_2$$

2）二进制数与十六进制数之间的转换：由于十六进制数的基数 $16=2^4$，故每位十六进制数用 4 位二进制数构成。若二进制数转换为十六进制数，整数部分从低位开始，每 4 位二进制数为一组，最后不足 4 位的，则在高位加 0 补足 4 位为止；小数部分从高位开始，每 4 位二进制数为一组，最后不足 4 位的，在低位加 0 补足 4 位，然后用对应的十六进制数来代替，再按顺序写出对应的十六进制数。

【例 1.7】 试将二进制数 $(1100101011100.011011011)_2$ 转换成十六进制数。

解：

$$\begin{array}{cccccccc} 0001 & 1001 & 0101 & 1100 & \cdot & 0110 & 1101 & 1000 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 1 & 9 & 5 & C & \cdot & 6 & D & 8 \end{array}$$

所以

$$(1100101011100.011011001)_2=(195C.6D8)_{16}$$

将一个十六进制数转换成二进制数时，只要把每位十六进制数用四位二进制数来代替，再按原来的顺序排列起来便得到了相应的二进制数。

【例 1.8】 试将十六进制数 $(3AB4.6FD)_{16}$ 转换成二进制数。

解：

$$\begin{array}{cccccccc} 3 & A & B & 4 & \cdot & 6 & F & D \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 0011 & 1010 & 1011 & 0100 & \cdot & 0110 & 1111 & 1101 \end{array}$$

所以

$$(3AB4.6FD)_{16} = (11101010110100.011011111101)_2$$

1.2.3 码制

数码不仅可以表示数量的大小，也可以表示不同的事物。当表示事物时它们没有表示数量的含义，只表示不同事物的代号而已，这时这些数码称为代码。在数字系统中，由0和1组成的二进制数码不仅可以表示数值的大小，还可以表示特定的信息。

1. 二—十进制代码

用4位二进制数组成一组代码来表示0～9十个数字，这种代码称为二—十进制代码（binary coded decimal），简称BCD码。由于十进制数有十个不同的数码，因此，需用4位二进制数来表示。而4位二进制代码有16种不同的组合，从中取出10种组合来表示0～9十个数可有多种方案，所以二—十进制代码也有多种方案。表1.2给出了几种常用的BCD码。

表1.2 常用的BCD码

十进制整数	有权码			无权码
	8421码	5421码	2421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	1000	1011	1000
6	0110	1001	1100	1001
7	0111	1010	1101	1010
8	1000	1011	1110	1011
9	1001	1100	1111	1100

（1）8421码

8421码是BCD代码中最常用的一种代码。该码共有4位，其位权值从高位到低位分别为8、4、2、1，故称8421码。8421码与十进制数之间的关系是4位二进制代码表示1位十进制数，它属于有权码，每个代码的各位数值之和就是它表示的十进制数。如8421 BCD码0110按权展开式为

$$0\times8+1\times4+1\times2+0\times1=6$$

所以，8421BCD码0110表示十进制数6。

（2）5421码与2421码

5421码与2421码它们也是有权码，该码从高位到低位的权值分别为5、4、2、1和2、4、2、1，也是4位二进制代码表示1位十进制数，每组代码各位加权系数的和为其表示的十进制数。如5421码1011按权展开式为

$$1\times5+0\times4+1\times2+1\times1=8$$

所以，5421BCD码1011表示十进制数8。

2421码中0和9、1和8、2和7、3和6、4和5互为反码，即两码对应位取值相反。和2421（B）码的编码状态不完全相同。如2421码1101按权展开式为

$$1\times2+1\times4+0\times2+1\times1=7$$

所以，2421BCD码1101表示十进制数7。

（3）余3码

这种代码没有固定的权值，称为无权码。余3码的编码规则与8421码不同，如果把每一个余3码看作二进制数，则它的数值要比它所表示的十进制数码多3，故而将这种代码称为余3码。

2. 格雷码

格雷码是一种无权码，其特点是任意两组相邻代码之间只有一位不同，其余各位都相同，而0和最大数（2^N-1）之间也仅有一位不同，通常又叫格雷循环码或反射码。用格雷码计数时，每次状态更新仅有一位代码发生变化，格雷码的这个特性使它在形成和传输过程中引起的误差较小，或在出现误差时容易发现并进行校正。表1.3为4位格雷码的编码表。

表1.3　4位格雷码的编码表

十进制数	二进制码	格雷码	十进制数	二进制码	格雷码
0	0000	0000	8	1000	1100
1	0001	0001	9	1001	1101
2	0010	0011	10	1010	1111
3	0011	0010	11	1011	1110
4	0100	0110	12	1100	1010
5	0101	0111	13	1101	1011
6	0110	0101	14	1110	1001
7	0111	0100	15	1111	1000

格雷码可以由自然二进制码转换而来。转换的方法是：从最低位开始相邻两位二进数码相加，但不进位，结果作为格雷码的最低位，依此类推，直到最高位加完，格雷码的最高位与二进制码的最高位相同，例如

$$(11)_{10}=(1011)_2=(1110)_G\quad(25)_{10}=(11001)_2=(10101)_G$$

3. 校验码

在数字系统中采用大量的二进制数码组表示各种不同的特定的信息。当数码位数较多时较难反映出该数码组是否出错，因此希望有出错概率较少，或较易发现出错的代码，奇偶校验码是用来检验二进制信息在传送过程中出现错误的代码。

奇偶校验码由两部分组成：一部分是需要传送的信息本身，为位数不限的二进制代码；另一部分为奇偶校验位，它的作用是使信息码和校验位中1的总数为奇数或偶数。