第 1 章

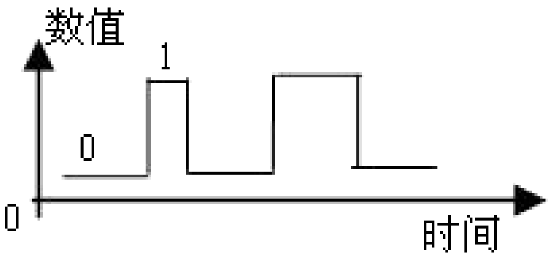
数制与编码

模拟信号与数字信号的概念

模拟（Analog）信号是指该信号的幅度量值随着时间的延续（变化）而发生连续变化的信号。

数字（Digital）信号是指该信号的幅度量值随着时间的延续（变化）而发生不连续的，具有离散特性变化的信号。

数字电路与模拟电路的区别

电路类型	数字电路	模拟电路
研究内容	输入信号与输出信号间的逻辑关系	如何不失真地进行信号的处理
信号的特征	 时间上离散，但在数值上是单位量的整数倍	 在时间上和数值上是连续变化的电信号
分析方法	逻辑代数	图解法，等效电路，分析计算

数字电路的特点

- 稳定性好
- 容易设计
- 信息处理能力强
- 精度高
- 保真度好
- 便于存储
- 便于自动化设计
- 功耗小

- 1.1 模拟信号与数字信号
- **1.2 数字系统中的数制**
- 1.3 不同数制间的转换
- 1.4 数字系统中数的表示方法和格式

十进制数

$$(N)_{10} = a_{n-1}10^{n-1} + \cdots + a_1 10^1 + a_0 10^0 + a_{-1}10^{-1} + \cdots a_{-m}10^{-m}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i$$

$358.67 = 3\times10^2+5\times10^1+8\times10^0+6\times10^{-1}+7\times10^{-2}$

十进制数用D，或10表示 ➡ $(N)_{10}$ ，$(418)_{10}$

二进制用B，或2表示 ➡ $(11011.101)_2$ ，$(1101)_B$

十六进制数用H表示 ➡ $(89A.4)_H$

二进制数

$$(N)_2 = a_{n-1}2^{n-1} + \cdots + a_1 2^1 + a_0 2^0 + a_{-1}2^{-1} + \cdots a_{-m}2^{-m}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i$$

$$(11010.101)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

表 1-2　二进制算术运算规则

二进制的加法规则	二进制的减法规则	二进制的乘法规则
$0+0=0$	$0-0=0$	$0\times0=0$
$1+0=1$	$0-1=1$（有借位）	$1\times0=0$
$0+1=1$	$1-0=1$	$0\times1=0$
$1+1=10$	$1-1=0$	$1\times1=1$

$$11110 \div 101 = 110$$

$$\begin{array}{r} 110 \\ 101\overline{)11110} \\ \underline{101} \\ 101 \\ \underline{101} \\ 0 \end{array}$$

十六进制数

0 , 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 , 8 , 9 , A , B , C , D , E , F

$$(N)_{16} = a_{n-1}(16)^{n-1} + \cdots + a_1(16)^1 + a_0(16)^0 + a_{-1}(16)^{-1} + \cdots + a_{-m}(16)^{-m}$$

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

$$(7F9)_{16} = 7\times16^2 + F\times16^1 + 9\times16^0$$

八进制数

$$(N)_8 = a_{n-1}8^{n-1} + \cdots + a_1 8^1 + a_0 8^0 + a_{-1}8^{-1} + \cdots a_{-m}8^{-m}$$
$$= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 8^i$$

$(617)_8$ $(521)_0$

- 1.1 模拟信号与数字信号
- 1.2 数字系统中的数制
- **1.3 不同数制间的转换**
- 1.4 数字系统中数的表示方法和格式

十六进制、二进制数与十进制数间的转换

【例】将二进制数$(110101.101)_2$转换为十进制数。

解：$(110101.101)_2 = 1\times2^5 + 1\times2^4 + 0\times2^3 + 1\times2^2 + 0\times2^1 + 1\times2^0 + 1\times2^{-1} + 0\times2^{-2} + 1\times2^{-3}$

$= 32 + 16 + 0 + 4 + 0 + 1 + 0.5 + 0 + 0.125 = (53.625)_D$

【例】将十六进制数$(4E5.8)_H$转换为十进制数。

解：$(4E5.8)_H = 4\times(16)^2 + E\times(16)^1 + 5\times(16)^0 + 8\times(16)^{-1}$

$= 4\times256 + 14\times16 + 5\times1 + 8\times(1/16) = (1253.5)_D$

十进制数转换为二进制、十六进制数

【例】 将$(59.625)_D$转换为二进制数。

解：

整数部分

	余数	
2 | 59		
2 | 29 ·········	1	低位
2 | 14 ·········	1	
2 | 7 ·········	0	（反序）
2 | 3 ·········	1	
2 | 1 ·········	1	
0 ·········	1	高位

小数部分

	整数	
0.625		
× 2		
1.250 ·········	1	高位
0.250		
× 2		
0.500 ·········	0	（顺序）
× 2		
1.000 ·········	1	低位

即$(59.625)_D=(111011.101)_B$

二进制数与十六进制、八进制数间的转换

【例】 将二进制数（10110101011.100101)$_B$转换成十六进制数。

解： 因为 $10110101011.100101 = \underline{0101}\ \underline{1010}\ \underline{1011}.\underline{1001}\ \underline{0100}$

$$\begin{array}{ccccc} \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 5 & A & B & 9 & 4 \end{array}$$

所以（10110101011.100101)$_B$ = （5AB.94)$_H$

二进制数与十六进制、八进制数间的转换

【例】将十六进制数（75E.C6)H 转换成二进制数。

解：将每位十六进制数写成对应的四位二进制数：

$(75E.C6)_H = (0111\ 0101\ 1110.\ 1100\ 0110)_B = (11101011110.\ 1100011)_B$

【例】将八进制数（5163)O 转换成二进制数。

解：将每位八进制数码分别用三位二进制数表示，转换过程如下

$(5163)_O = (\underline{101}\ \underline{001}\ \underline{110}\ \underline{011})_2 = (101001110011)_2$

- 1.1 模拟信号与数字信号
- 1.2 数字系统中的数制
- 1.3 不同数制间的转换
- **1.4 数字系统中数的表示方法和格式**

二-十进制编码

十进制数	**8421BCD码**	**5421BCD码**	**2421BCD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

二-十进制编码

【例】 求出十进制数972.6510 的8421 BCD 码。

解：将十进制数的每一位转换为其相应的 4 位 BCD 码。那么十进制数 972.65 就等于：

十进制	9	7	2	.	6	5
BCD	1001	0111	0010	.	0110	0101

8421 BCD 码： $\underline{1001}\ \underline{0111}\ \underline{0010}.\underline{0110}\ \underline{0101}_{8421BCD}$，即：

$$972.65_{10} = 100101110010.01100101_{8421BCD}$$

二-十进制编码

【例】用余3码对十进制数 $N = 5678_{10}$ 进行编码。

解：先对十进制数进行 8421BCD 编码，再将各位编码加 3 即可得到余 3 码。

$$
\begin{array}{cccc}
5 & 6 & 7 & 8 \\
\downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
0101 & 0110 & 0111 & 1000 \\
\downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
1000 & 1001 & 1010 & 1011
\end{array}
$$

所以有：$N = 5678_{10} = 1000\ 1001\ 1010\ 1011_{\text{余}3}$

带符号位的二进制码

真值： +5 101

−5 -101

最高位当符号位： “0” 表示 “+”

“1” 表示 “−”

带符号位的二进制码

1. 原码表示法

如：十进制的+37和-37的原码可分别写成：

十进制数	+37	-37
二进制原码	0 100101	1 100101
	↑	↑
	符号位	符号位

小数 +53.625 和-53.625 的原码可分别写成：

十进制数	+ 53.625	-53.625
二进制原码	0 110101.101	1 1101010.101
	↑	↑
	符号位	符号位

$$[X]_{\text{原码}}=\begin{cases} X & \text{当}\quad 0\le X<2^n \quad \text{时} \\ 2^n-X & \text{当}\quad -2^n<X\le 0 \quad \text{时} \end{cases}$$

带符号位的二进制码

2. 反码表示法

【例】用四位二进制数表示十进制数+5和-5的反码。

解：可以先求十进制数所对应二进制数的原码，再将原码转换成反码。

十进制数	+ 5	– 5
二进制原码	0 101	1 101
二进制反码	0 101	1 010
	↑ 符号位	↑ 符号位

即 $[+5]_{反} = 0101$ ，$[-5]_{反} = 1010$。

带符号位的二进制码

3. 补码表示法

（1）**整数补码**的定义：

$$[X]_{补码}=\begin{cases} X & 当\quad 0\le X<2^{n\text{-}1} \quad 时 \\ 2^n+X & 当\quad -2^{n\text{-}1}<X<0 \quad 时 \end{cases}$$

【例】用四位二进制数表示十进制数+5和-5的补码。

解：先求十进制数所对应二进制数的原码，再将原码转换成反码，然后将反码变为补码。

十进制数	+5	–5
二进制原码	0 101	1 101
二进制反码	0 101	1 010
二进制补码	0 101	1 010+1=1 011
	↑ 符号位	↑ 符号位

即 $[+5]_{补}$=0101 ，$[-5]_{补}$= 1011。

带符号位的二进制码

4位有符号数的表示

$b_3b_2b_1b_0$	原码	反码	补码	$b_3b_2b_1b_0$	原码	反码	补码
0111	+7	+7	+7	1000	-0	-7	-8
0110	+6	+6	+6	1001	-1	-6	-7
0101	+5	+5	+5	1010	-2	-5	-6
0100	+4	+4	+4	1011	-3	-4	-5
0011	+3	+3	+3	1100	-4	-3	-4
0010	+2	+2	+2	1101	-5	-2	-3
0001	+1	+1	+1	1110	-6	-1	-2
0000	0	0	0	1111	-7	-0	-1

带符号位的二进制码

【例】求二进制数x= +1011，y =-1011在八位存贮器中的原码、反码和补码的表示形式。

解：无论是原码、反码和补码形式，八位存贮器的最高位为符号位，其它位则是数值部分的编码表示。在数值部分中，对于正数，原码、反码和补码按位相同，而对于负数，反码是原码的按位求反，补码则是原码的按位求反加1。所以，二进制数x和y的原码、反码和补码分别表示如下：

$$[x]_{原码}=00001011，[x]_{反码}=00001011，[x]_{补码}=00001011$$

$$[y]_{原码}=10001011，[y]_{反码}=11110100，[y]_{补码}=11110101$$

【例】求X=－1001010的补码。

解：$[x]_{补}=2^8+(-1001010)=10000\ 0000-1001010=1011\ 0110$。

带符号位的二进制码

（2）定点小数（二进制小数）补码的定义：

$$[X]_{补} = \begin{cases} X & \text{当} \quad 0 \le X < 1 \quad \text{时} \\ 2 + X & \text{当} \quad -1 < X \le 0 \quad \text{时} \end{cases}$$

【例】求X1 = +0.101 1011 和X2 = －0.101 1011 的补码。

解：$[X_1]_{补} = 0.101\ 1011$

$[X_2]_{补} = 2+(-0.101\ 1011) = 10 - 0.101\ 1011 = 1.010\ 0101$

带符号位的二进制码

4. 用补码进行二进制数计算

（1）原码运算

符号位不参加运算，同符号数相加做加法，不同符号数相加做减法。

（2）补码运算

$[X+Y]_{补}=[X]_{补}+[Y]_{补}$；　$[X-Y]_{补}=[X]_{补}+[-Y]_{补}$

（3）反码运算

$[X+Y]_{反}=[X]_{反}+[Y]_{反}$；　$[X-Y]_{反}=[X]_{反}+[-Y]_{反}$

带符号位的二进制码

【例】设X=+101 1101，Y=+001 1010，

求Z=X-Y。

解：

① 原码运算。$[X]_{原}$=0101 1101 ，$[Y]_{原}$=0001 1010

因为|X|>|Y|，所以 X 作被减数，Y 作减数，差值为正。

$$\begin{array}{ccccccccc} & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ - & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ \hline = & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{array}$$

即$[Z]_{原}$=0100 0011，其真值为 Z=+100 0011。

② 反码运算。$[X]_{反}$=0101 1101 ，$[-Y]_{反}$=1110 0101

$$\begin{array}{ccccccccc} & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ + & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ \hline (1) & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ + & & & & & & & & 1 \\ \hline = & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{array}$$

即$[Z]_{反}$=0100 0011，其真值为 Z=+100 0011。

③ 补码运算。$[X]_{补}$=0101 1101 ，$[-Y]_{补}$=1110 0110

$$\begin{array}{ccccccccc} & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ + & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ \hline (1) & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{array}$$

舍弃

即 $[Z]_{补}$= 0100 0011，其真值为 Z= +100 0011。

带符号位的二进制码

【例】用4 位二进制数的补码形式运算7-5 和4-6。

解：$7-5=7+(-5)=[7]_{补}+[-5]_{补}=0111+1011=0010$(丢弃进位)$=2$

$4-6=[4]_{补}+[-6]_{补}=[0100]_{补}+[1110]_{补}=0100+1010=[1110]_{补}=[1010]_{原码}=-2$

可靠性编码

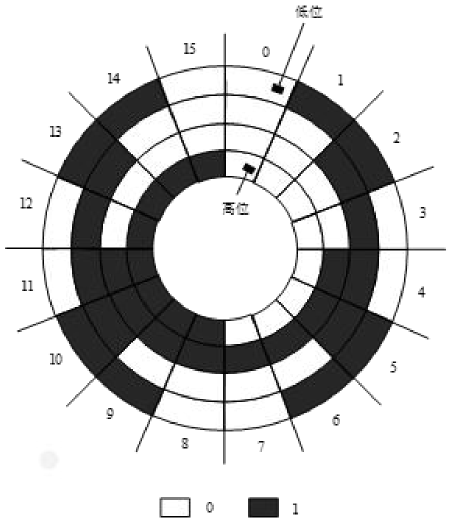
1. 奇偶校验码

表 1-5　8421 BCD 码的奇偶校验码

	8421 BCD 奇（ODD）校验		8421 BCD 偶（EVEN）校验	
十进制数	信息码	奇校验位 P_O	信息码	偶校验位 P_E
0	0000	1	0000	0
1	0001	0	0001	1
2	0010	0	0010	1
3	0011	1	0011	0
4	0100	0	0100	1
5	0101	1	0101	0
6	0110	1	0110	0
7	0111	0	0111	1
8	1000	0	1000	1
9	1001	1	1001	0

可靠性编码

2.格雷码（Gray码）



格雷码码盘

表 1-6　典型格雷码与二进制码对照表

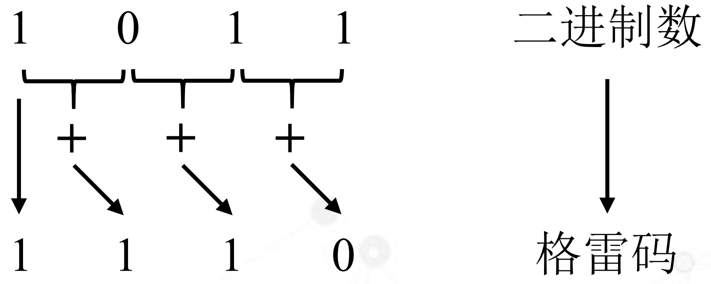
十进制数	二进制码	格雷码	十进制数	二进制码	格雷码
0	0000	0000	8	1000	1100
1	0001	0001	9	1001	1101
2	0010	0011	10	1010	1111
3	0011	0010	11	1011	1110
4	0100	0110	12	1100	1010
5	0101	0111	13	1101	1011
6	0110	0101	14	1110	1001
7	0111	0100	15	1111	1000

可靠性编码

（1）二进制码转换成格雷码：

【例】 把二进制数1011转换成格雷码。

解：把二进制数 1011 转换成格雷码的方法如下，转换后的格雷码是 1110。

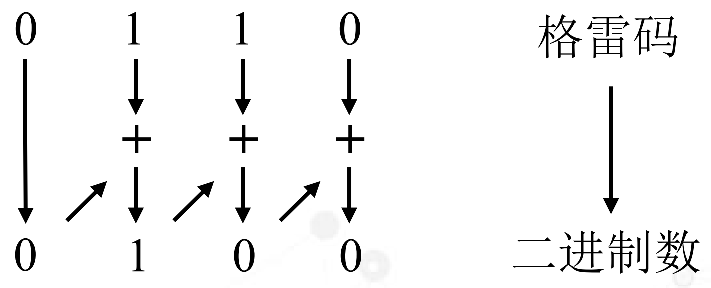


可靠性编码

（2）格雷码转换成二进制码：

【例】 把格雷码0110转换成二进制数。

解：把格雷码 0110 转换成二进制数的方法如下，转换后的二进制数是 0100。



标准字符码

【例】 一组信息的ASCII码如下，根据表，回答这些信息是什么?

1001000	1000101	1001100
1001100	1001111	0100001

解：把每组7位码转换为等值的十六进制数，则有：48　45　4C　4C　4F　21

以此十六进制数为依据，查表可确定其所表示的符号为：H E L L O !

表 1-7　美国信息交换标准码（ASCII 码）表

列	行 / $B_7B_6B_5$ / $B_4B_3B_2B_1$	0	1	2	3	4	5	6	7
		000	001	010	011	100	101	110	111
0	0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	、	p
1	0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
2	0010	STX	DC2	”	2	B	R	b	r
3	0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
4	0100	EOT	DC4	$	4	D	T	d	t
5	0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
6	0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
7	0111	BEL	ETB	’	7	G	W	g	w
8	1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
9	1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
A	1010	换行符 LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
B	1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
C	1100	FF	FS	,	<	L	]	l	|
D	1101	回车符 CR	GS	-	=	M	\	m	}
E	1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
F	1111	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

条形码和二维码

6 900000 407226

示例条形码

数字电路课程MOOC网址二维码

本章　完