

数据转换 与 接口技术

林 嵘 孙金生
秦华旺 戴跃伟

编著

东南大学出版社

数据转换与接口技术

林 嵘 孙金生 编著
秦华旺 戴跃伟

东南大学出版社

内 容 提 要

本书共分为8章,着重介绍数据转换与接口技术的基本原理及实际应用技术。其中,第1、2章为数据转换与接口技术基础部分;第3、4章为数/模、模/数转换部分;第5章为常用电路介绍;第6章通过应用实例深入浅出地介绍数据转换技术的实际应用;第7章从工程使用角度重点介绍目前一些主流的数据转换电路产品;第8章重点介绍数据转换与接口教学实验系统。

本书选材以基础知识、基本方法、基本原理为主,兼顾知识体系的系统性,侧重于实用技术,并向读者介绍了该领域的一些最新进展和未来发展趋势。

本书可作为高等院校有关专业的教材或参考书,也可作为其他专业人员、工程技术人员等的技术手册。

图书在版编目(CIP)数据

数据转换与接口技术/林嵘,孙金生,秦华旺,戴跃
伟编著. —南京:东南大学出版社,2004.12
ISBN 7 — 81089 — 778 — 0

I. 数... II. 林... III. ①数据转换②微型计算机
—接口 IV. ①TN919.6②TP360.47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 105547 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼2号 邮编210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 南京京新印刷厂印刷

开本:700mm×1000mm 1/16 印张:17.75 插页:4页 字数:360千字

2004年12月第1版 2004年12月第1次印刷

印数:1~3000 定价:28.00元

(凡因印装质量问题,可直接向我社发行部调换。电话:025-83795801)

前 言

当今,模拟电子技术及其器件日臻完善,数字技术、计算机软硬件技术更是日新月异,而数据转换接口技术是模拟领域与数字领域得以进行信息交换的桥梁,在工程技术各个领域应用十分广泛,它们使检测技术、智能仪器仪表、计算机测控技术等发生了更新换代的变化。

本书是根据理工类本科生的培养目标、课程体系,按《数据采集系统》《数据转换与接口技术实践》等课程大纲而编写的教材。书中许多内容取材于多年教学讲义,并在参阅当前国内外大量相关著作和资料的基础上对其进行裁减、提炼和综合而成。

目前,单片集成数据转换器件型号多、种类全、功能强、货源足;成品单路/多路光隔数据转换板(卡)已大量被采用;价位较高的数据采集系统(DAS)芯片也已见诸于市。以上这些面向用户的技术发展和产品问世,不仅给用户带来极大的方便,而且使得系统设计由“芯片级”设计过渡为“板级”设计。据此,本教材以工程实用性的综合运用、软硬件相结合为重点进行组织。在介绍具体器件时,以外部应用原理、接口电路设计和编制应用程序为重点,但又兼顾器件工作原理进行叙述;在选择典型转换器件时,以常用器件型号为主,但又兼顾其他类型、功能器件;在接口电路设计方面,以软、硬件控制原理为基础,提供了大量与 8086/8088CPU 和 8031 单片机的接口软硬件实例,既加深对接口设计原理、方法的理解,又寓含“应用指南”的作用;在综合运用方面,尽力扩充与相

关课程间的衔接。另外,还介绍了数据转换系统中部分常用器件及系统设计的基本知识,以便读者查阅。

设计和实现数据采集系统(前向通道)和数据分配系统(后向通道)需涉及传感器、模拟电路、计算机控制原理、计算机技术、数据处理技术等多学科的理论和技术。本书无意,也无法全部包容这些理论和技术,而是从本科教学和工程实际能力培养的角度将相关理论和技术纳入本书的讨论范畴,因此它又不失为本书的重要组成部分。

本书第1、8章由林嵘编写,第2、5章由林嵘、秦华旺编写,第3、4章由孙金生、林嵘编写,第6、7章由秦华旺编写,全书由戴跃伟、林嵘统稿,刘光杰参加了本书的资料整理工作。在编著本书的过程中,得到了东南大学出版社领导与编辑的大力支持,在此,对他们付出的辛勤劳动表示诚挚的敬意和衷心的感谢。

由于笔者水平所限,书中不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2004年8月

目 录

1 数据转换系统基础	(1)
1.1 数据转换有关概念及指标	(1)
1.1.1 量化与量化误差	(1)
1.1.2 单极性转换代码	(2)
1.1.3 双极性转换代码	(5)
1.2 数据转换系统	(10)
1.2.1 模拟量及其量化	(10)
1.2.2 采样过程	(11)
1.2.3 采样定理	(13)
1.2.4 采样信号的恢复	(14)
1.2.5 A/D、D/A 转换器发展趋势	(15)
1.3 数据转换系统的结构原理	(16)
1.3.1 数据采集系统的基本结构	(18)
1.3.2 数据分配系统的基本结构	(20)
1.3.3 数据转换系统的控制结构原理	(23)
2 接口技术基础	(26)
2.1 CPU 的典型 I/O 时序分析	(26)
2.1.1 8088/8086 CPU 的引脚功能及典型时序	(26)
2.1.2 MCS-51 系列单片机的引脚功能及典型时序	(38)
2.1.3 数字信号处理器 TMS320C2XX/C54X 的引脚功能及典型时序	(42)
2.2 计算机总线接口扩展原理	(54)
2.2.1 输入输出的端口组织方式	(54)
2.2.2 计算机接口扩展的总线设计	(55)

2.3 CPU 与 I/O 之间的信息交换方式	(69)
2.3.1 信息分类	(69)
2.3.2 信息交换方式	(70)
3 数/模转换器及其与微处理器的接口设计	(76)
3.1 数/模转换器的一般工作原理	(76)
3.1.1 权电阻解码网 D/A 转换原理	(77)
3.1.2 R-2R 梯形电阻解码网 D/A 转换原理	(80)
3.1.3 变形权电阻解码网 D/A 转换原理	(81)
3.1.4 $2^n R$ 电阻分压器与树状开关阵解码网 D/A 转换原理	(82)
3.2 集成化数/模转换器及接口技术	(84)
3.2.1 集成 DAC 系列芯片的结构特征	(84)
3.2.2 集成 DAC 与 CPU 间的接口设计原理	(85)
3.2.3 8 位 D/A 转换器 DAC0832 及接口设计	(88)
3.2.4 12 位 D/A 转换器 AD7541 及其接口设计	(97)
3.3 D/A 转换器的主要性能指标	(101)
3.3.1 D/A 转换器的输入输出特性	(101)
3.3.2 D/A 转换器的静态指标	(102)
3.3.3 D/A 转换器的动态指标	(108)
3.3.4 受环境和工作条件影响的技术指标	(111)
3.4 数/模转换器在计算机测控技术中的应用	(113)
3.4.1 单极性 D/A 转换器扩展成双极性 DAC 应用	(113)
3.4.2 数控增益放大器	(113)
3.4.3 数控电压源	(113)
3.4.4 用 D/A 转换器组成算术运算器简介	(114)
3.4.5 数控波形发生器	(114)
3.4.6 数字式模拟信号延迟电路原理	(117)
4 模/数转换器及其与微处理器的接口设计	(118)
4.1 逐次逼近式模/数转换器及接口设计	(119)

4.1.1	逐次逼近式 A/D 转换器的工作原理	(119)
4.1.2	8 位 ADC0808/0809A/D 转换器及其接口设计	(122)
4.1.3	MAX191 低功耗 12 位 A/D 转换器及其接口设计	(133)
4.2	积分式 A/D 转换器及其接口设计	(146)
4.2.1	双积分式 A/D 转换器基本工作原理	(147)
4.2.2	双积分式 A/D 转换的特点	(150)
4.2.3	12 位双积分式 A/D 转换器 ICL7109 及其接口设计	(152)
4.3	电压/频率转换器及外部电路连接	(162)
4.3.1	电荷平衡式 V/F 转换器	(163)
4.3.2	AD654 型 V/F 转换器及其应用电路	(165)
4.3.3	V/F 转换器与微处理器的接口设计	(169)
4.4	其他芯片	(170)
4.5	模/数转换器的特性与误差	(172)
5	数据转换与接口技术中的其他常用电路	(181)
5.1	采样/保持器概述	(181)
5.2	采样/保持器工作原理及实用电路	(183)
5.2.1	采样/保持器工作原理	(183)
5.2.2	采样/保持电路的工作过程和主要参数	(186)
5.2.3	集成采样/保持器及其特性	(189)
5.2.4	集成采样/保持器应用举例	(190)
5.3	多路模拟开关及其应用	(196)
5.3.1	机械触点式开关	(196)
5.3.2	电子模拟开关	(197)
5.3.3	单片集成多路模拟开关	(199)
5.3.4	集成多路模拟开关的接口设计	(206)
5.4	实用基准电源	(207)
5.4.1	齐纳二极管基准源	(208)
5.4.2	带隙基准源	(208)

5.4.3	2.5 V 系列基准源	(209)
5.4.4	1.2 V 系列基准源	(211)
5.4.5	其他集成基准源	(213)
5.5	低功耗电路	(215)
5.6	集成数据转换系统介绍	(218)
6	数据转换应用系统举例	(222)
6.1	多路温度巡检系统	(222)
6.2	高速多通道电量数据采集系统	(224)
6.3	PCI 总线标准下 A/D、D/A 接口卡设计	(228)
7	数据转换电路的一些主要生产厂家及其产品	(232)
7.1	模拟器件(ADI)公司及其产品	(232)
7.2	德州仪器(TI)公司及其产品	(234)
7.3	摩托罗拉(Motolora)公司及其产品	(235)
7.4	美信(Maxim)公司及其产品	(237)
7.5	布尔-布朗(Burr-Prown)公司及其产品	(239)
8	教学实验系统介绍	(241)
8.1	实验系统构成	(241)
8.2	实验项目介绍	(242)
8.3	实验指导书	(242)
8.3.1	实验系统及原理图分析	(242)
8.3.2	AD7541 实验	(245)
8.3.3	MAX191 实验	(251)
8.3.4	ICL7109 实验	(257)
8.3.5	AD654 实验	(262)
8.3.6	综合设计	(263)
附录		(270)
参考文献		(272)

1 数据转换系统基础

1.1 数据转换有关概念及指标

1.1.1 量化与量化误差

将幅值上连续的模拟量转换成离散的数字量,就需要进行量化。在数据采集系统中,离散的数字量是用一个称为量子 Q 的基本单位去度量被测模拟量得到的,即度量出某一个模拟量幅值有多少个 Q ,这个度量过程就叫量化。量化的例子很多。如:用一把满刻度为 100 毫米的钢尺(以毫米为刻度,即一个量子 $Q=1$ 格)去度量一个工件的尺寸,设指示值为 14 格(14 个 Q),则得到长度的数字量为 14。又如:一个 $n=3$ 位的二进制码,共有 $N=2^3$ 个离散值,预先设置有 2^3 个电平,如 0.5 V, 1.0 V, 1.5 V, ..., 3.5 V, 4.0 V, 基本度量单位 Q 就等于满量程 4 V 的 $1/2^3$, 即 $Q=4\text{ V} \times 1/2^3 = 0.5\text{ V}$ 。模拟量的量化就是读出被度量的模拟电压有多少个 Q ,并以 2^3 个电平中最近似的一个来代替。图 1-1(a)表示量化过程的输入/输出关系。特性呈阶梯状,每一个台阶宽度称为量化带。在理想情况下,量化带就等于一个 Q 。

量子 Q 的大小(量化带的宽度)是人为设定的,可粗可细,分得越细,得出的数字量与代表的模拟量之间的差别就越小。如果被度量的模拟量恰好是 Q 的整数倍,则它与数字量相等,没有误差,但一般不会这样。此时,数字量与模拟量之间就存在误差。例如图 1-1(a)中的 $2Q \sim 3Q$ 之间的区域,模拟量可以是其间无数个值中的一个,但表示它的数字量均为 2,可能产生的最大误差为 $1Q$,这种因量化造成的误差称为量化误差 ε 。量化误差的最大值称为最大量化误差 $\varepsilon_{\max}$ 。图 1-1(a)所示的情况 $\varepsilon_{\max}=1Q$ 。

量化误差的大小决定于量化过程中所用量子的大小和具体测量点位置,与实现量化的装置无直接关系。量化误差与量子本身的精度是两个不同的概念,即使量子 Q 本身没有误差,只要进行量化,就存在量化误差。虽然,量子 Q 可取得很小,以减小量化误差,但还是无法消除量化误差。在测试技术领域中,通常用的术语——分辨率,与最大量化误差是直接相关的。如果把图 1-1(a)的转换关系相对纵坐标左移 $Q/2$,便得到图 1-1(b)的特性。此时,最大量化误差将为 $\varepsilon_{\max} = \pm Q/2$,而分辨率仍然是 Q ,所以量化误差还有与坐标刻度的位置关系。这种用 $Q/2$ 的偏置技术,对减小最大量化误差是一种有效的措施,在后面介绍转换器的具体电路时将会看到。

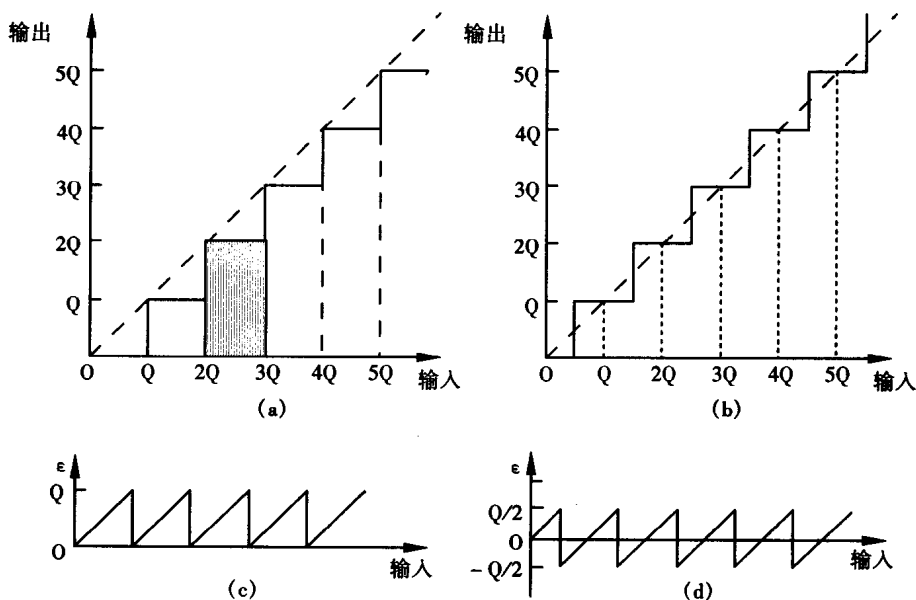


图 1-1 量化特性及量化误差

对于某一次具体的测试来说,会包含有多大的量化误差 ϵ 与测试点的位置 (即模拟量的大小) 有关。例如在图 1-1(a) 中, $2Q$ 与 $3Q$ 之间的不同点上,就对应着不同的量化误差, $0 \leq \epsilon \leq Q$, 既然被测试或转换的模拟量是随机的, 因此量化误差也是随机的。如果每次测量或转换的量化误差都用 $\epsilon_{\max}$ 来计算, 这是保险而且简单的做法, 因为在任何情况下, 实际的量化误差肯定不会超过 $\epsilon_{\max}$ 。目前测试技术所用的转换器都是按此方法来确定误差的。习惯上不再区分量化误差与最大量化误差, 统称为量化误差。从概念上讲, 最大量化误差是一个确定的值, 而量化误差则是个随机的量, 两者是有区别的。

模拟量经过量化处理后得到了离散的数字量, 为了使转换器能与微处理器进行接口, 需要对数字量进行编码, 以便 CPU 读取和处理。

在数据转换技术中, 多数采用线性编码, 使数字量与模拟量之间成正比关系。

1.1.2 单极性转换代码

自然界存在的模拟量有单极性和双极性之分。例如, 直流电压、电流、工作在正温度范围的烘箱温度、工作在高于大气压容器中的压力等属于单极性电量或非电量; 交流电压、电流、有零上零下温度工作设备的温度等属于有正负的双极性电量或非电量。因此要求检测系统除检测出值的大小外, 还必须反映正负极性, 即单极性还是双极性。计算机只认得由 1, 0 组成的代码, 至于这个代码的值多大, 是单极性还是双极性, 是需要事先规定的。约定后, 计算机就可以计算出值的大小和识别出极性。下面讨论转换单极性模拟量的常用代码。

1) 单极性转换器输入/输出间的传输关系

在测试技术上,最常用的是自然二进制小数代码,这是因为对转换器来说,其输出数据(代码)都与输入量和输入满量程相比的分数值成某种函数关系,工程上要求并可以做到成线性关系。

图 1-2 是一个单极性 A/D 转换原理图。转换器的输入电压 V_i 是电位器滑动抽头(对地)取出的,显然 V_i 的变化范围是 $0 \sim V_R$,如果定义 V_R 为输入的满量程,则 A/D 转换器(ADC: Analog Digital Converters)相对满度输入的比值范围为: $V_i/V_R \leq 1$ 。即比值是分数(小数),而极限值为 1。设 ADC 输出的数据为 $n=3$ 位二进制代码,而 3 位代码的变化范围是 000 ~ 111 共 8 种状态。我们需要建立有明确物理意义的输入/输出关系:即 $V_i/V_R = 0$ 时,对应的输出数据代码为 000,而 V_i/V_R 为最大值时对应的输出数据代码为 111。可见输出数据采用二进制小数代码是适宜的。工程上通过对转换器的电路设计和参数调整,可以做到下面的正比关系

$$d_1 2^{-1} + d_2 2^{-2} + d_3 2^{-3} = V_i/V_R$$

式中 V_R 是 A/D 转换器的基准电源(参考电源),它由高精度稳压电源 E_R 提供。而电压比 V_i/V_R 是十进制分数,称为相对满度输入,或称规格化输入。下面是 A/D 转换器的一般 I/O 公式,对 D/A 转换器(DAC)可以反过来理解。

$$d_1 2^{-1} + d_2 2^{-2} + \cdots + d_n 2^{-n} = V_i/V_R \quad (1-1)$$

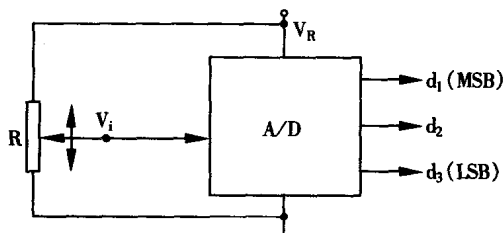


图 1-2 采集原理图

图 1-3 用图解方式说明 $n=3$ 位转换器的 I/O 传输关系特性。

应当指出,转换技术用的二进制小数代码 1 或 0,称逻辑 1 或逻辑 0,1 代表高电平,0 代表低电平。对具体的转换器芯片将会规定该电平是 TTL 电平还是 CMOS 电平,或两者兼容。

2) 分辨率、实际满度、标称满度的概念

一个测量电压的电压表有一个满量程的规定,被测电压不能超过电压表的量程。在一定的量程下,电表的最小刻度反映测量结果的分辨率。图 1-2 中的 A/D 转换器可以看作是以数字代码表示测量结果的电压表,它同样有分辨率和量程的概念。

(1) V_{LSB} 分辨电压(Least Significant Bit)

单位数字量所代表的输入电压增量,称为分辨电压,或量化因子电压。

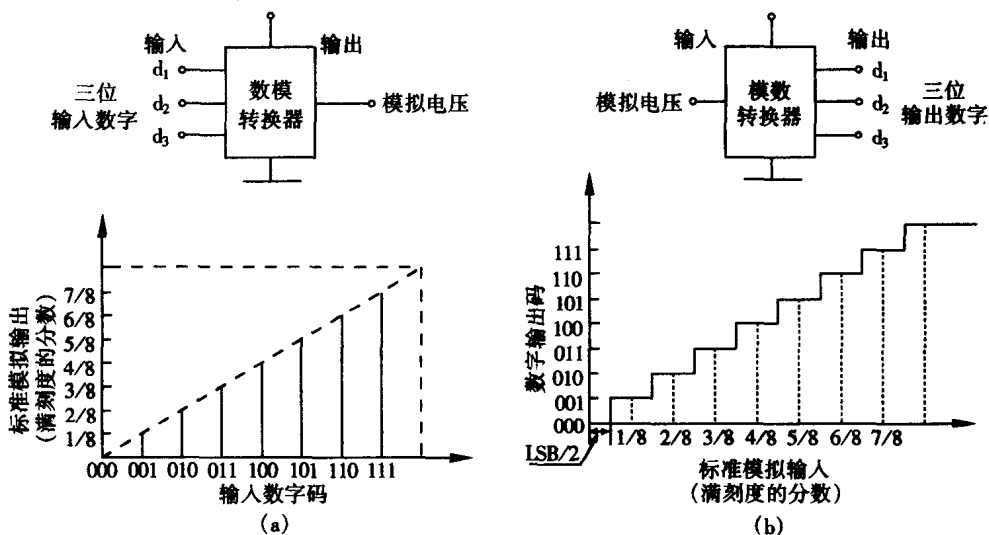


图 1-3 $n=3$ 位理想转换器的 I/O 传输关系特性

从公式(1-1)可见,代码全0时,表示 $V_i = 0$ V;代码最低位为1,其余位为0,数字量变化1个最低有效位,对应的电压增量就是 V_{LSB} 。

$$V_{LSB} = V_R (0 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + \cdots + 0 \times 2^{-n+1} + 1 \times 2^{-n}) = V_R \times 2^{-n} \quad (1-2)$$

例: 设 $n=8$ 位, $V_R = 5.12$ V, 则

$$V_{LSB} = 5.12 \text{ V} / 2^8 = 0.02 \text{ V}$$

即每一个单位数字量对应的电压是 0.02 V。对 A/D 转换器来说,即输入电压每增加 0.02 V,数字量变化1个最低有效位,代码就加1,如果小于 0.02 V,代码维持原来不变。图 1-3(a) 阶梯状传输特性就表示这个含义。对 D/A 转换器来说, V_{LSB} 表示输出分辨率电压。

(2) V_{AFS} 实际满度值 (Actual Full Scale)

数字代码各位全1时对应的电压就是 V_{AFS} , 所以

$$\begin{aligned} V_{AFS} &= V_R (1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + \cdots + 1 \times 2^{-n}) \\ &= V_R (1 - 1/2^n) \\ &= V_R - V_R \times 1/2^n = V_R - V_{LSB} \end{aligned} \quad (1-3)$$

例: 设 $n=8$ 位, $V_R = 5.12$ V, 则

$$V_{AFS} = 5.12 \text{ V} - 0.02 \text{ V} = 5.10 \text{ V}$$

对 A/D 转换器,实际满输入电压比基准电源小一个分辨电压。如果输入电压大于 V_{AFS} , 则输出数字量仍为各位全1,即所谓过量程了。对 D/A 转换器就是实际满度输出。

(3) V_{NFS} 标称满度 (Nominal Full Scale)

当二进制小数代码的位数 $n = \infty$ 且各位全 1 时对应的电压。但在工程上位数不可能很大,它可表示为

$$V_{NFS} = V_{AFS} + V_{LSB} = V_R \quad (1-4)$$

这里标称满度实际上就是基准电源的电压。对 A/D 转换器就是标称满输入,对 D/A 转换器就是标称满输出。芯片技术手册提供的满度,指的是标称满度。

V_{LSB} , V_{AFS} , V_{NFS} 与代码状态的对应关系可用表 1-1 来表示(表中 $n=4$ 位)。

表 1-1 代码与 V_{LSB} , V_{AFS} , V_{NFS} 的对应关系

d_1	d_2	d_3	d_4	V
				V_{NFS}
1	1	1	1	V_{AFS}
1	1	1	0	
...	...	...	...	
1	0	0	1	
1	0	0	0	$1/2 V_{NFS}$
0	1	1	1	
...	...	...	...	
0	0	0	1	V_{LSB}
0	0	0	0	0

1.1.3 双极性转换代码

工程上模拟量有正负极性之分,例如:交流电压上半周是正的,下半周是负的。而以数字量形式表示的二进制代码不管是多少位,其变化范围总是为各位全 0 到各位全 1。在转换技术中,由 1 或 0 组成一组代码,如何既反映极性,又代表模拟量的大小呢?本节将介绍双极性转换器输入/输出的传递特性。

下面介绍几种形式的双极性代码。

(1) 偏移二进制码(OB 码—Offset Binary Code),格式见表 1-2。

(2) 互补偏移二进制码(COB 码—Complementary Offset Binary Code),将 OB 码各位(含符号位)取反便得到 COB 码。

(3) 互补二进制补码(CTC 码—Complementary Two's Complement),将 COB 码的符号位取反,数值位不变,便得到 CTC 码。

(4) 2 的补码,格式见表 1-2,将 OB 码的符号位取反,数值位不变。

常用于双极性转换的二进制代码($n=4$ 位)如表 1-2 所示。表中最高位(MSB)代表符号位,余下的是数值位。

其中 OB 码是双极性转换器最常用的代码。其特点是:代码的最高位用来表

示极性,0 为负,1 为正;代码(连同符号位)从全 0 变到全 1,完全按二进制规律变化,极为熟悉,易于记忆,易读;对应的数从最小负整数依次到最大正整数;该代码在制造集成转换器时,容易实现;计算传输关系最为方便。

表 1-2 常用的双极性代码

数	十进制 分数	符号位 MSB	数值位				偏移二进制				2 的补码			
		d_1	d_2	d_3	d_4		d_1	d_2	d_3	d_4	d_1	d_2	d_3	d_4
+7	+7/8	0	1	1	1		1	1	1	1	0	1	1	1
+6	+6/8	0	1	1	0		1	1	1	0	0	1	1	0
+5	+5/8	0	1	0	1		1	1	0	1	0	1	0	1
+4	+4/8	0	1	0	0		1	1	0	0	0	1	0	0
+3	+3/8	0	0	1	1		1	0	1	1	0	0	1	1
+2	+2/8	0	0	1	0		1	0	1	0	0	0	1	0
+1	+1/8	0	0	0	1		1	0	0	1	0	0	0	1
0	0 ⁺	0	0	0	0		1	0	0	0	0	0	0	0
	0 ⁻	1	0	0	0									
-1	-1/8	1	0	0	1		0	1	1	1	1	1	1	1
-2	-2/8	1	0	1	0		0	1	1	0	1	1	1	0
-3	-3/8	1	0	1	1		0	1	0	1	1	1	0	1
-4	-4/8	1	1	0	0		0	1	0	0	1	1	0	0
-5	-5/8	1	1	0	1		0	0	1	1	1	0	1	1
-6	-6/8	1	1	1	0		0	0	1	0	1	0	1	0
-7	-7/8	1	1	1	1		0	0	0	1	1	0	0	1
-8	-8/8						0	0	0	0	1	0	0	0

下面重点讨论转换器工作在 OB 码状态下的传输关系。

1) 双极性转换器工作在 OB 码状态下的传输关系

转换器双极性工作的传输关系如图 1-4 所示。

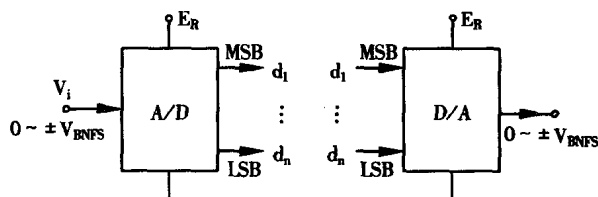


图 1-4 转换器传输关系示意图

ADC 由输入电压从 $-V_{\text{BNFS}}$ (双极性的标称刻度) 到 $+V_{\text{BNFS}}$, 输出的代码仍用 $d_1 \sim d_n$ 表示。对 DAC, 输入是数字量, 输出范围是 $-V_{\text{BNFS}} \sim +V_{\text{BNFS}}$ 。传输关系就是指输入/输出间的函数关系。下面以 $n=4$ 位的 ADC 为例, 求解 OB 码状态下的 I/O 公式。

图 1-5 是采用外偏置技术, 由单极性 ADC 构成双极性 ADC 的原理图。要求解输入电压 V_{Bi} 与输出数字量 $d_1 \sim d_4$ 的关系式。

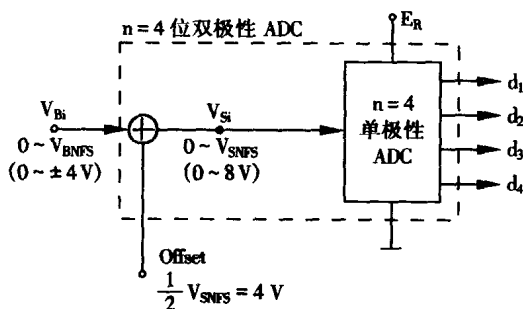


图 1-5 双极性 ADC

V_{Si} 为单极性 ADC 的输入电压, V_{SNFS} 为其标称满度输入, 设为 $0 \sim 8 \text{ V}$; V_{Bi} 为双极性 ADC 的输入电压, V_{BNFS} 为其标称满度输入, A/D 转换器的基准电源 E_{R} 为 V_{R} 。Offset 端为外偏置端, 该端预置为 $V_{\text{SNFS}}/2$ 的电压。虚线框内构成工作在 OB 码下的双极性 ADC。

由公式(1-1)已知单极性 ADC 的 I/O 关系式为

$$V_{\text{Si}} = V_{\text{R}}(d_1 2^{-1} + \dots + d_4 2^{-4}) = V_{\text{SNFS}}(d_1 2^{-1} + \dots + d_4 2^{-4})$$

又由求和电路(即求和点)得到

$$V_{\text{Si}} = V_{\text{Bi}} + V_{\text{SNFS}}/2$$

两式联立解得

$$V_{\text{Bi}} = V_{\text{SNFS}}(d_1 2^{-1} + \dots + d_4 2^{-4}) - V_{\text{SNFS}}/2 \quad (1-5)$$

式(1-5)右边第二项的意义是: 用单极性 ADC 标称输入满度的一半电压进行“外偏置”就得到双极性 ADC, 这就是“偏置”的含义。后面分析将看到, 输出代码状态的一半作负极性用, 另一半作正极性用, 而代码本身的状态仍从各位全“0”变到各位全“1”。

单极性 ADC 的输入模拟范围仍然是 $0 \sim V_{\text{SNFS}}$ 。求和电路使下面关系成立

$$-V_{\text{BNFS}} + V_{\text{SNFS}}/2 = 0$$

$$(\text{或 } +V_{\text{BNFS}} + V_{\text{SNFS}}/2 = V_{\text{SNFS}})$$

于是得到

$$V_{\text{SNFS}} = 2V_{\text{BNFS}} \quad (1-6)$$

最后得到工作在 OB 码状态下的 ADC 传输公式

$$V_{\text{Bi}} = 2V_{\text{SNFS}}[(d_1 2^{-1} + \dots + d_4 2^{-4}) - 1/2]$$

一般形式为

$$\begin{aligned} V_{Bi} &= 2V_{BNFS} [(d_1 2^{-1} + \cdots + d_n 2^{-n}) - 1/2] \\ (\text{或} &= 2V_{BNFS} [(d_1 2^{n-1} + \cdots + d_n 2^0) - 2^{n-1}] / 2^n \\ &= 2V_{BNFS} [(d_1 - 1) 2^{n-1} + \cdots + d_{n-1} 2^1 + d_n 2^0] / 2^n) \end{aligned} \quad (1-7)$$

例1: 某类型十二位 ADC 技术指标为

单极性时输入范围 $0 \sim +10 \text{ V}$, 双极性使用时 $0 \sim \pm 5 \text{ V}$ 。于是

单极性 I/O 公式: $V_{Si} = 10 \text{ V} (d_1 2^{-1} + \cdots + d_{12} 2^{-12})$

双极性 I/O 公式: $V_{Bi} = 2 \times 5 \text{ V} [(d_1 2^{-1} + \cdots + d_{12} 2^{-12}) - 1/2]$

应当指出, 集成 ADC 或 DAC 的输入/输出关系式, 是由制造厂规定的, 计算机读得代码后, 根据转换器本身规定的代码体制, 编制软件, 进行运算、求出对应结果。如果使用外偏置技术, 构成新的转换器实体, 那么需按新实体的转换公式进行运算。

2) OB 码工作时转换器的分辨电压和满度概念

(1) 分辨电压 V_{LSB} : 单位数字量对应的模拟量增量等于 V_{LSB} 。OB 码的双极性转换器模拟量零点对应的代码是 $d_1 = 1, d_2 \sim d_n = 0$, 因此用 $d_1 = 1, d_n = 1, d_2 \sim d_{n-1} = 0$ 代入公式 (1-7) 便得到 V_{LSB} 。

$$\begin{aligned} V_{LSB} &= 2V_{BNFS} [(1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + \cdots + 0 \times 2^{1-n} + 1 \times 2^{-n}) - 1/2] \\ &= 2V_{BNFS} [(1/2 + 1/2^n) - 1/2] \\ &= 2V_{BNFS} / 2^n \end{aligned} \quad (1-8)$$

例2: 某类型 ADC 的 V_{LSB} 。

单极性使用时: $V_{LSB} = 10 \text{ V} / 2^{12} = 0.00244 \text{ V}$

双极性使用时: $V_{LSB} = 2 \times 5 \text{ V} / 2^{12} = 0.00244 \text{ V}$

(2) 实际输入满度 V_{AFS}^+ , V_{AFS}^- : 因为是双极性, 所以有正实际输入满度 (V_{AFS}^+) 和负实际输入满度 (V_{AFS}^-) 之分。代码为全“1”时对应 V_{AFS}^+ , 代码为全“0”时对应 V_{AFS}^- 。

$$\begin{aligned} V_{AFS}^+ &= 2V_{BNFS} [(1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + \cdots + 1 \times 2^{-n}) - 1/2] \\ &= 2V_{BNFS} [(1 - 1/2^n) - 1/2] \\ &= 2V_{BNFS} [1/2 - 1/2^n] \end{aligned} \quad (1-9)$$

$$V_{AFS}^- = 2V_{BNFS} [(0 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + \cdots + 0 \times 2^{-n}) - 1/2] = -V_{BNFS} \quad (1-10)$$

例3: 某类型 ADC 的 V_{AFS}^+ 和 V_{AFS}^- 。

$$V_{AFS}^+ = 2 \times 5 (1/2 - 1/2^{12}) = 4.99756 \text{ V}$$

$$V_{AFS}^- = -V_{BNFS} = -5 \text{ V}$$

(3) 标称输入满度 V_{NFS}^+ , V_{NFS}^- : 双极性转换器有正标称满度和负标称满度之分。正标称满度也是比实际满度小一个 V_{LSB} 。