

转换器接口技术

CONVERTERS INTERFACE TECHNICS

第一辑

模/数、数/模转换器及 Z80 AIO 的硬件和软件

(修订版)



航空工业部第六一二研究所
厦门市电子仪器厂

1984.8.

集成电路模/数、数/模转换器 及Z80AIO的硬件和软件

航空工业部第612研究所 赵献民

厦门市电子仪器厂 骆玉赞



30231396

511965

新 资 料 征 订 通 知

洛阳市自动化研究所与洛阳市科技情报研究所联合编辑出版下列新资料, 现在开始征订:

1. 《IBM PC/XT BASIC 2.0 程序设计》(书号8410, 16K本, 约350千字, 预计84年12月底发行, 定价每册4.50元)

本书为IBM PC/XT DOS 2.0支持下的BASIC 2.0程序设计, 是IBM PC/XT用户的应用手册和程序设计的必读资料。

2. 《OMNINET 局部网络安装和操作手册》(书号8411, 16K本, 约200千字, 预计1985年1月发行, 定价每册3.20元)

本书为IBM PC/XT使用的OMNINET局部网络用户手册。对于IBM PC/XT联网共享资源和学习OMNINET网有一定参考价值。

3. 《教学机LASER 310》(书号8412, 16K本, 约200千字, 预计1985年1月发行, 定价每册3.20元)

本书主要内容为310 BASIC程序设计, 深入浅出, 备有大量编程实例, 很适合于中学生和教师及其他各行业初学者使用。此外, 本书还介绍了磁盘操作系统、光笔、四色打印机等部件的操作和使用。

4. 《IBM PC/XT 模拟I/O系统》(书号8413, 16K本, 约250千字, 预计1985年2月发行, 定价每册4.00元)

本书为IBM PC/XT微计算机使用的智能模拟输入/输出系统。书中介绍了I/O系统的硬件, 提供了大量的8086汇编语言和BASIC汇编语言程序实例, 是数据采集、测量和实时控制技术人员把IBM PC/XT用于控制系统的良师益友。

以上各书, 单位订阅一律银行汇款, 请函索征订单, 办理汇款手续。个人订阅一律邮局汇款, 务必请您在汇款单附言上写明订阅书号及册数, 并注明是否要发票。

通讯地址: 洛阳市七里河科技楼414房

收款单位: 河南省洛阳市自动化研究所

开户银行: 人行洛阳长春路办事处

帐号: 8957014

内 容 简 介

修订后的本辑分四章，比原版增加了一章。第一章讲述集成电路数字-模拟和模拟-数字转换器的工作原理，并介绍Z80AIO模拟输入输出板采用的DAC80和ADC80转换器；最后一节还介绍了极为重要的同步机-数字(S/D)和数字-同步机(D/S)转换器以及这类固态电路产品系列。第二章详细地分析了Z80AIO的操作、逻辑和工作原理。第三章介绍了Z80AIO的汇编语言程序设计和BASIC II语言的程序设计，提供了多种方式编程实例。第四章为TRS-80系统与Z80-AIO换转板连接的若干问题以及经过一年多运行的一些子程序。

本文理论与实用并重，讲述深入浅出、容易阅读、便于自学。可作为应用和设计Z80微型计算机系统转换器的学习参考书。

修
第
§1.
§1.
§1.
§1.
§1.
§1.
§1.
§1.
§1.
§1.
1.
1.
1.
§1.
§1.
1.9
1.9
1.9
§1.1
§1.1
1.1
1.1
§1.1
§1.1
1.1
1.1
1.1
1.1
1.1
§1.1
1.1
1.1
1.1
1.1
1.14
1.14
1.14

目 录

修订版序言	(1)
第一章 数/模和模/数转换器基本知识	(2)
§1.1 模/数和数/模转换器的数制编码	(3)
§1.2 二进制梯型网络	(5)
§1.3 数字/模拟转换器	(6)
§1.4 数/模转换器的精度和分辨力	(8)
§1.5 多通道数字/模拟转换器	(8)
§1.6 数/模转换器的测试	(10)
§1.7 集成电路数字/模拟转换器 DAC 80	(10)
1.7.1 简介	(10)
1.7.2 DAC80技术指标及说明	(11)
1.7.3 DAC80的使用和调整	(15)
§1.8 集成电路数/模转换器的选择	(24)
§1.9 模拟/数字转换器	(24)
1.9.1 积分式模/数转换器	(25)
1.9.2 逐次逼近式模/数转换器	(26)
1.9.3 计数器型模/数转换器	(30)
§1.10 模/数转换器的精度和分辨力	(31)
§1.11 ADC80 集成电路模/数转换器	(32)
1.11.1 ADC80技术指标及说明	(32)
1.11.2 ADC80的使用与调整	(37)
§1.12 模拟/数字转换器的选择	(41)
§1.13 同步机/数字和数字/同步机转换器	(42)
1.13.1 概述	(42)
1.13.2 角度的数字表示法	(43)
1.13.3 同步机/数字转换器	(43)
1.13.4 数字/同步机转换器	(48)
1.13.5 固态电路同步机/数字和数字/同步机转换器产品	(49)
§1.14 与A/D和D/A有关的系统问题初步	(49)
1.14.1 数字信号特征及数字量的产生	(50)
1.14.2 采样/保持放大器与模拟输入信号频率的关系	(58)
1.14.3 模拟输入信号的品质	(60)

1.14.4	采样周期和字长	(61)
第二章	Z80 AIO板的硬件	(64)
§2.1	技术指标	(64)
§2.2	AIO/AIB板插头座引线表	(66)
§2.3	概 述	(69)
§2.4	AIO 板的控制	(70)
2.4.1	Z80 CPU定时和输入输出指令	(70)
2.4.1.1	Z80 CPU定时	(71)
2.4.1.2	输入输出指令	(73)
2.4.2	I/O口地址选择、译码和控制	(75)
2.4.2.1	AIO板的 I/O 口地址	(75)
2.4.2.2	I/O口地址的跨接器连接和修改	(75)
2.4.2.3	I/O口地址译码和控制信号产生	(77)
2.4.3	寄存器 I/O 地址译码器和控制信号	(78)
2.4.4	PIO和PIO控制信号	(79)
2.4.4.1	Z 80 PIO 芯片	(80)
2.4.4.2	PIO控制信号	(81)
2.4.5	模拟输入通道的地址译码、控制和通道选择	(83)
2.4.5.1	模拟输入通道的地址译码和控制	(83)
2.4.5.2	模拟输入通道的选择	(84)
2.4.6	模/数转换器的定时控制和状态	(87)
2.4.6.1	模/数转换器的定时控制	(87)
2.4.6.2	状态定时和控制	(89)
§2.5	模/数转换器	(90)
2.5.1	标度变换和采样保持	(91)
2.5.2	模/数转换器	(91)
2.5.3	模/数转换器的工作过程	(92)
§2.6	数/模转换器	(93)
§2.7	电源和地线	(95)
§2.8	AIO板的硬件调试方法	(95)
§2.9	AIO 板的应用	(99)
第三章	AIO板基本程序设计	(101)
§3.1	输入输出指令和中断处理	(101)
3.1.1	输入输出指令	(101)
3.1.2	中断处理	(105)
§3.2	PIO 编程	(108)
3.2.1	PIO 编程规则	(108)
3.2.2	PIO 编程举例	(111)

3.2.3	PIO 中断链	(113)
§3.3	AIO板汇编语言程序设计	(113)
3.3.1	模/数转换子程序——非中断方式	(114)
3.3.1.1	初始化程序	(114)
3.3.1.2	程序举例	(115)
3.3.2	中断方式模拟输入子程序	(133)
3.3.2.1	PIO 中断的初始化程序	(133)
3.3.2.2	程序举例	(135)
3.3.2.3	工作方式的选择	(153)
3.3.3	数/模转换子程序	(153)
3.3.4	汇编语言程序设计综合举例	(157)
§3.4	AIO 板的高级语言子程序设计	(163)
§3.5	AIO 板的测试和校准	(168)
3.5.1	测试设备	(168)
3.5.2	测试和校准连接	(169)
3.5.3	输入系统的校准	(169)
3.5.4	输出系统的校准	(170)
第四章	TRS-80微机系统同Z80-AIO转换板接口的若干问题	(172)
§4.1	线路改装	(172)
4.1.1	总线信号	(172)
4.1.2	IM2响应	(172)
§4.2	Z80-AIO检测程序	(177)
§4.3	注意事项	(186)
附录1	Z80 AIO板集成电路清单	(187)
附录2	Z80 AIO板逻辑总图(部分)	(188)
附录3	Z80 AIO板配用的几种模拟集成电路	(189)
附录4	模拟I/O系统的BASIC实用程序	(198)
主要参考资料		(210)

修订版序言

自从1971年微型计算机问世以来,短短的十三年间它已历经三代。目前微型计算机已跨入第四代,日美等国投入很大的力量正在研究第五代计算机。

随着计算技术和微处理机等产品的高速发展,微型计算机已经广泛用于国防尖端、工业、农业、科技文教等项事业,已经渗透到人类社会的各个领域和各个角落,以微型计算机为重要支柱之一的新的技术革命正在全球兴起。

在微型计算机于自动控制、数据采集、检测和质量控制的应用中,比较关键的接口部件就是模拟/数字(A/D)转换器和数字/模拟(D/A)转换器。因此,本书的第一章是基础知识,适合于初学者自学和入门;以后各章都是围绕Z80 AIO板,给出了接口板的硬件设计、软件设计、诊断和应用。在阅读本辑之前,应具有集成电路等逻辑元件以及Z80 CPU、汇编语言指令系统和程序设计基础知识。

本书自从1982年8月出版以来,受到读者欢迎。根据广大读者的意见和作者两年多来的接口技术学习班讲课笔记,对本辑作了修订。修订版与第一版的区别在于:对第一版的内容有所删改;第一章增加了A/D和D/A系统一节;增加了第四章TRS—80与AIO连接的若干问题;为便于应用A/D和D/A系统,增加了附录4,即模拟I/O系统的常用BASIC程序。因此,修订版大大充实了《转换器接口技术》的理论和实践方面的内容。

在本书的编写过程中,刁吉才同志审阅了全文,张宪礼同志核对了软件部分。在本书第一版发行后,收到一些同志的建议,作者在此一并表示衷心感谢。

——编者

1984年4月于洛阳

第一章 数/模和模/数转换器基本知识

数字/模拟(D/A)和模拟/数字(A/D)转换器是微型计算机和控制对象相结合的不可缺少的桥梁。本章叙述的转换器一般指集成电路芯片。而构成“桥梁”还需要其它集成电路芯片,通常称为“接口”或适配器(Adapter),这一部分将在第二章介绍。

我们对所研究的过程进行测量得到的基本上都是模拟量(连续量),即如时间、流量、速度、加速度、振动、温度、位移等许多变量都是连续变化的自然量。所谓“连续”,包括两个方面的含义。一方面从时间上来说,它是随时间连续变化的;另一方面,从数值上来说,它的数值也是连续可变的,这种连续变化的物理量通常称为拟拟量。数字量不具有这样的特点,它只能增加一个单位或者减少一个单位,其变化是不连续的(离散值)。计算机只能进行数字量运算,不可能把诸如电压这样的量直接地送到数字计算机进行运算。随着微型计算机的高速发展和广泛普及,要实现对这些模拟量(非电量)的自动控制、检测、数据处理,首先必须通过传感器把非电量模拟量变成电压或电流模拟量(因篇幅所限,本文不涉及传感器,请查阅有关书籍和资料),然后经过模拟/数字转换器,把电压或电流模拟量转换为等效的数字量。能够将模拟量转换成数字量的设备(或器件)称为模拟/数字转换器(简称A/D转换器)。A/D转换器常被看作为编码装置,因为它常用来把模拟信号(以后都指电压或电流)编成与其相对应的数字码。

A/D转换后的数字量经过微型计算机处理,计算结果的数字量也常需要转换成模拟量才能驱动模拟设备,这种将数字量转换成模拟量的设备称为数字/模拟转换器(简称D/A转换器)。D/A转换器用来把数字信号翻译成等效的模拟量,也称为解码装置,它一般工作在数字系统的输出端。如数字系统的输出可以由D/A转换成模拟信号去驱动一个模拟记录器,或去控制温度的高低,流量和压力的大小等。可以看出D/A转换器要比A/D容易得多,而事实上D/A转换器不过是A/D转换器的一个组成部分。

本章我们先叙述D/A和A/D转换器的工作原理,再介绍集成电路转换器DAC80和ADC80的电路特性、操作原理,这些是学习和掌握Z80AIO模拟输入输出接口板的起码知识。为便于读者自行设计微型计算机A/D和D/A接口,还提出了选择A/D和D/A集成电路芯片的原则。在军事上,常常需要测量目标与某一基准的变化角度,这一过程需要采用前述的A/D和D/A转换器,并且需要用微计算机去解算角度,使测量速度减低。为了解决这个问题,国外研制和生产了固态电路同步机/数字(简称S/D)转换器和数字/同步机(简称D/S)转换器。这种转换器把有源器件(晶体管等)和无源器件(电阻、电容、变压器等)混合装在一个模块内。其输入可以是三相交流信号,输出直接是二进制角度编码,反之亦然。其转换速度可达500ns,精度可优于1角分,跟踪速度高于每秒2万度以上,加速度可达每秒5万多度。这类转换器系列在军事和工业控制上极为有用。因此在本章的第13节对S/D、D/S转换器和固态电路产品作了简单介绍。为了帮助您更好更快地解决一些实际控制问题,本章的最

后一节叙述与A/D和D/A有关的系统问题和基本常识。

§1.1 模/数和数/模转换器的数制编码

模/数

在把模拟量转换为数字量和数字量转换为模拟量的过程中，数字信号是用二进制代码表示的。

实际应用中经常遇到两种数字信号：

单极性二进制数字

对于单极性输入输出模拟信号，由于符号是单一的，实际的数字表示中没有必要带符号位。通常采用直接二进制编码。n位二进制数的形式为：

$$N_B = a_{n-1} 2^{n-1} + a_{n-2} 2^{n-2} + \dots + a_1 2^1 + a_0 2^0$$

式中 $a_i (i = 0, 1, \dots, n-1)$ 为0或1。

双极性二进制数字

双极性二进制数值用来表示双极性输入输出模拟信号，二进制数码代表有正有负的数据。原码表示法简单明了，但由于绝大多数的数字控制和运算电路不一致，因而很少采用。例如+5和-5十进制数值，用二进制原码表示时数值部分都是101，只是符号位不同罢了。在转换器中常用的双极性二进制数的表示法有三种：偏移二进制、补码和反码。

偏移二进制表示法见表1-1。它实际上是一种直接二进制编码，并以满刻度值偏移得到，也称移码。数学表示式为：

$$N_0 = \pm N_B + 2^n$$

式中 N_B 为直接二进制编码，正负号直接取自双极性的符号，n为二进制数的位数。

表1-1 信号表示法

十进制数	原码	偏移二进制	补码	反码	互补偏移二进制	互补二进制补码	互补直接二进制码
0	0 000	1 000	0 000	0 000	0 111	1 111	111
1	0 001	1 001	0 001	0 001	0 110	1 110	110
2	0 010	1 010	0 010	0 010	0 101	1 101	101
3	0 011	1 011	0 011	0 011	0 100	1 100	100
4	0 100	1 100	0 100	0 100	0 011	1 011	011
7	0 111	1 111	0 111	0 111	0 000	1 000	000
-1	1 001	0 111	1 111	1 110	1 000	0 000	—
-2	1 010	0 110	1 110	1 101	1 001	0 001	—
-3	1 011	0 101	1 101	1 100	1 010	0 010	—
-4	1 100	0 100	1 100	1 011	1 011	0 011	—
-7	1 111	0 001	1 001	1 000	1 110	0 110	—

例如,十进制数 + 5 的二进制数值表示为101,则偏移二进制码

$$N_0 = 101 + 2^3 = 101 + 1000 = 1101$$

而十进制数 - 5 的二进制数值也表示为101,偏移二进制码

$$N_0 = -101 + 2^3 = 1000 - 101 = 0011$$

在偏移二进制表示法中,当符号位为正时(包括零在内),偏移二进制的符号位均为1,而负值时均为0。这种表示法的特点是:从零到满刻度值相对应的正数,其数值的大小是递增的;从零到满刻度值相对应的负数,其数值的大小是递减的。

补码表示法在双极性二进制信号表示中得到广泛采用。原因是数字控制和运算电路中采用这种方法最容易实现。二进制数 N_B 的补码为

$$N_C = \begin{cases} 2^{n+1} + N_B & (N_B < 0) \\ N_B & (N_B > 0) \end{cases}$$

式中 2^{n+1} 是两倍于满刻度的二进制数。如十进制数 + 5 (二进制数 $N_B = +101$) 的补码为

$$N_C = 0101$$

同原码一样。而十进制数 - 5 的补码为

$$N_C = 2^4 - 101 = 1011$$

实际上负数的补码是其原码的各位求反加1,符号位不变,而正数的补码就是原码自身。补码的符号位在负值域内都为1,在正值域内(包括零)都为0,不难看出,补码表示法中的符号位正好与偏移二进制表示法相反,而补码所表示的各位二进制数值和偏移二进制完全相同。

反码表示法容易做成互补输出,因而在大规模集成电路和一般电子线路组成的模/数和数/模转换器中得到广泛应用。反码表示法在正值域(包括零)内等于原码,符号位恒为0;在负值域内,符号位恒为1,数值部分相对原码来讲是逐位求反。与补码相比,在负值域内反码的数值总少1。

在电子线路和集成电路模/数和数/模转换器中,真正采用的二进制编码方式不完全是前述的规定,而是它们之间的组合。对于单极性信号而言,一般采用互补直接二进制码和互补二—十进制码。互补的含义就是连同符号位在内逐位求反。例如直接二进制码和互补直接二进制码的区别是逐位求反见表1-1。这种编码广泛用于单极性信号,也称之为反码(注意:此处的反码是无符号二进制数,只能表示正数)。

互补偏移二进制补码和互补二进制码与偏移二进制码和补码的不同之处也是逐位求反,见表1-1。

为了方便十进制运算,有些转换器可以对单极性信号进行十进制转换。每一位十进制数由四位二进制代码表示,这种用二进制表示的十进制数称为二—十进制代码(简称BCD),见表1-2。在转换器中,BCD也是采用互补方式,称为互补二—十进制代码(CCD),与BCD的不同之处就在于逐位求反。这种代码无符号位,代码0000到0101为非法码。

表1-2 二—十进制代码

十进制数	BCD	CCD	十进制数	BCD	CCD
0	0000	1111	5	0101	1010
1	0001	1110	6	0110	1001
2	0010	1101	7	0111	1000
3	0011	1100	8	1000	0111
4	0100	1011	9	1001	0110

§1.2 二进制梯型网络

把一个数字信号转换成等效的模拟信号，其核心是把 n 个数字电压值变成一个等效模拟电压。最容易实现的方法就是设计一个电阻网络把每个数字电平变成等效的二进制加权电压或电流。

我们知道，数是按数位组合起来表示的代码，每一位代码都有一定的权。如十进制数码837，第3位代码的权是一百，代码“8”表示八百；第二位的权是十，代码“3”表示三十；第一位的权是“1”，代码“7”就表示7。二进制数也同样。如“1110”二进制码，从第4位到第一位的权分别是“8”、“4”、“2”和“1”。为将数字量转换成模拟量，必须将每一位代码按“权”的数值转换成相应的模拟量，然后将代表各位的模拟量相加，结果所得的总模拟量就是与数字量成正比的模拟量，这样就完成了数字/模拟转换。

按上述规则构成的D/A转换器分为并行和串行两种方式。并行方式是数字量各位代码同时送到D/A相应位的输入端，并同时转换。这种方式转换速度比较快，转换时间只取决于转换器中的电压或电流建立时间和求和时间。这些时间都很短，一般是微秒(μs)级，快速的可达几十毫微秒(ns)。数/模转换器的位数越多，建立时间越长，这是不难理解的。一般来讲，微型计算机输出的二进制代码是并行的，因而数/模转换器集成电路也都是采用并行方式转换。

并行方式转换一般由基准电压(也称参考电压，是一个精密恒压源)和由数字量各位的代码所控制的电阻网络构成。数/模转换器使用的电阻网络有两种：一种是权电阻网络，一种是二进制梯型网络，也称T型解码网络。由于权电阻网络中的精密电阻受数字量中位的权控制，电阻值种类繁多，难以保证精度；又因为流过最高权的电阻电流和最低权的电阻电流差别很大，因此一般都采用二进制梯型网络。

二进制梯型网络如图1-1所示。它只用两种阻值的电阻组成。梯型网络的左端接了一个电阻 $2R$ ，并假定梯型网络的右端即输出端的等效负载电阻为 $2R$ 。

如果所有的数字输入端均接地，从A点向终端电阻(向左)看进去的总电阻是 $2R$ ，从A点向 2^0 输入端看出去的总电阻是 $2R$ ，A点对地(G点)的等效电阻为 R 。同理，从B点向终端电阻看进去的总电阻为 $2R$ ，向 2^1 输入端看出去的总电阻也是 $2R$ ，B点对G点的等效电阻

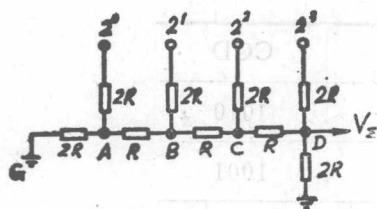


图 1-1 二进制梯型网络

况下相对应的输出电压。假定基准电压 $V_{REF} = +15V$ ，当 $2^0 = 1$ 其余为 0 时，也就是 2^0 端接基准电压源， 2^1 、 2^2 、 2^3 端接地时，接点 A 的电压

$$V_A = V_{REF} \cdot \frac{R}{2R + R} = \frac{1}{3} V_{REF} = 5V$$

接点 B 的电压

$$V_B = V_A \cdot \frac{R}{2R + R} = \frac{1}{3} V_A = 2.5V$$

依此类推

$$V_C = \frac{1}{2} V_B = 1.25V$$

$$V_D = V_Z = \frac{1}{2} V_C = \frac{1}{4} V_B = \frac{1}{8} V_A = \frac{1}{16} V_{REF} = 0.625V$$

同理，当 $2^1 = 1$ 其余全为 0 时，

$$V_D = V_Z = 1.25V$$

当 $2^2 = 1$ 其余为 0 时，求和点电压

$$V_Z = 2.5V$$

当 $2^3 = 1$ 其余为 0 时，求和点电压

$$V_Z = 5V$$

当数字输入为不同组合时，由线性迭加原理，模拟输出电压

$$V_Z = \frac{2}{3} V_{REF} \left(\frac{1}{2} R_3 + \frac{1}{4} R_2 + \frac{1}{8} R_1 + \frac{1}{16} R_0 \right)$$

其中 $R_i (i=0, 1, 2, 3)$ 表示二进制代码 0 或 1。

当 n 位二进制输入数码全为 1 时，对应的模拟输出电压值为满刻度电压，其值

$$V_Z = \frac{2}{3} V_{REF} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots + \frac{1}{2^n} \right)$$

由上可以看出，梯型电阻网络的本质是每级都保持 $1/2$ 的分压系数，从而产生二进制数码的对应模拟输出电压，实现数字量到模拟量的转换。

§1.3 数字/模拟转换器

二进制梯型电阻网络构成数字/模拟转换器的基础。在实际电路中，完成 D/A 变换还需要附加电路。图 1-2 是完整的 D/A 转换器框图。

首先N位二进制数据通过输入门传递到N位数码寄存器，数码寄存器可以是任意一种形式的寄存器(RS、D、JK等触发器组成的寄存器，当使用D和JK触发器时，输入门有可能省去，使用RS触发器必须有输入门)。一般来讲，每位寄存器由一个触发器组成。在寄存器与梯型电阻网络之间还必须有电流开关(也称模拟开关)，把数码信号以相同的高电平和低电平(高电平为基准电压，低电平为地)传送到电阻网络，并且恒定不变。在数/模转换器中还必须有选通信号(也称同步信号)把二进制数码送到寄存器。



图1-2 D/A转换器方块图

四位D/A转换器的具体电路图示于图1-3。输入的二进制数码有4位 2^0 、 2^1 、 2^2 和 2^3 ，每个二进制码输入为互补形式，即低电平有效。在写入脉冲作用下把四位数码送到D触发器。

数码寄存器中每个触发器的两个输出端Q和 $\bar{Q}$ 控制着对应的每一个“0”“1”电流开关。当数码输入为0时， $\bar{Q}=1$ ，左边的“1”电流开关接通，基准电压(高电平)送到对应位的电阻网络输入端。

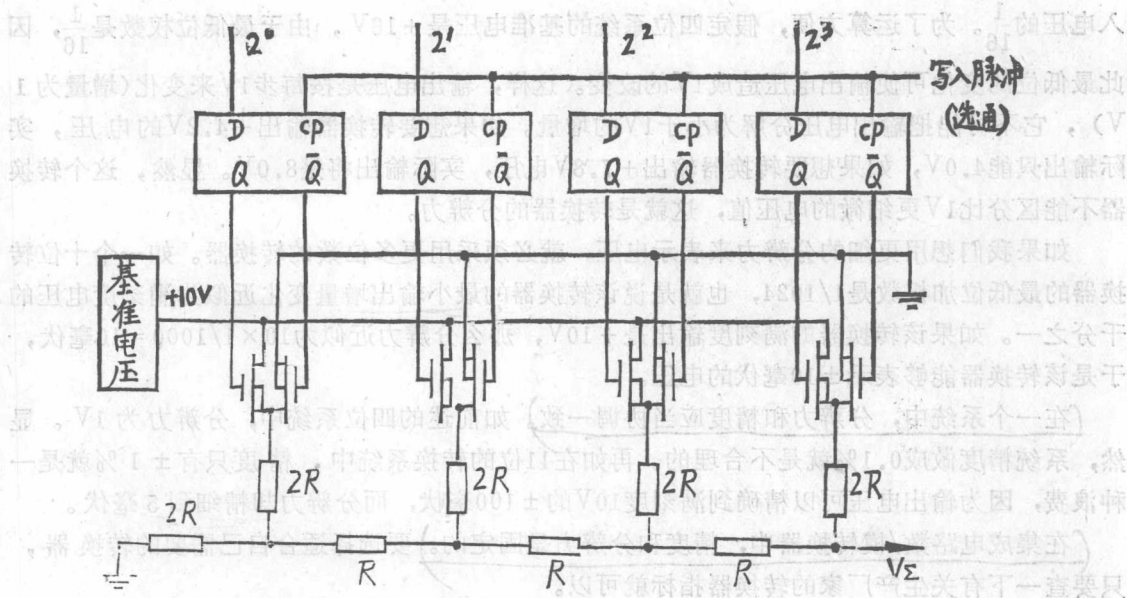


图1-3 四位D/A转换器

阻网络输入端。当数码输入为1时， $Q=1$ ，右边的“0”电流开关接通，低电平送到对应位的电阻网络输入端。由前节可知，一旦由数码寄存器控制的电流开关接通时，在求和点上就产生一个等效于二进制输入的模拟电压。

注意：图1-3中 V_z 点接一运算放大器，其等效负载电阻为 $2R$ (图中省去)。

§1.4 数/模转换器的精度和分辨力

数/模转换器有两个非常重要的指标：转换的分辨力和精度。

数/模转换器的精度与梯型电阻网络所采用的精密电阻的精度以及所使用基准电压源的精度和电流开关误差有关。精度是反映实际输出电压与理论输出电压的接近程度。一般来讲，我们要求精密电阻的稳定性好、温度系数小，开关速度高；基准电压源的精度要足够高；电流开关的开关特性（接通电阻小）和一致性（各位之间接通电阻的差值）好才能提高转换器的精度。负载电阻只要恒定，它只会引起输出电压比例系数的变化，而不影响精度。

例如，在一个特定输入条件下，理论输出电压值应当是 $+10\text{V}$ ，精度 $\pm 1\%$ 意味着实际输出电压一定在 $+9.9\text{V}$ 和 $+10.1\text{V}$ 之间的某个值。相反，如果输出电压是 $+9.99\text{V}$ 和 $+10.01\text{V}$ 之间的某值变化时，就意味着转换精度为 $\pm 0.1\%$ 。

转换器的分辨力与精度是两个不同的概念。分辨力定义为转换器所能分辨的最小电压增量。它取决于数字信号输入的位数，输出电压的最小增量由最低位决定。

例如，在四位D/A转换器中，最低位的加权数是 $\frac{1}{16}$ 。这意味着输出电压的最小增量是输入电压的 $\frac{1}{16}$ 。

为了运算方便，假定四位系统的基准电压是 $+16\text{V}$ ，由于最低位权数是 $\frac{1}{16}$ ，因此最低位的变化可使输出电压造成 1V 的改变。这样，输出电压是按每步 1V 来变化（增量为 1V ），它不可能把输出电压分解为小于 1V 的增量。如果想要转换器输出 $+4.2\text{V}$ 的电压，实际输出只能 4.0V ，如果想要转换器输出 $+7.8\text{V}$ 电压，实际输出将是 8.0V 。显然，这个转换器不能区分比 1V 更细微的电压值，这就是转换器的分辨力。

如果我们想用更细的分辨力来表示电压，就必须采用更多位数的转换器。如一个十位转换器的最低位加权数是 $1/1024$ ，也就是说该转换器的最小输出增量变化近似为满刻度电压的千分之一。如果该转换器的满刻度输出是 $+10\text{V}$ ，那么分辨力近似为 $10 \times 1/1000 = 10$ 毫伏，于是该转换器能够表示 ± 10 毫伏的电压。

（在一个系统中，分辨力和精度应当协调一致）如前述的四位系统中，分辨力为 1V 。显然，系统精度做成 0.1% 就是不合理的。再如在11位的转换系统中，精度只有 $\pm 1\%$ 就是一种浪费，因为输出电压可以精确到满刻度 10V 的 ± 100 毫伏，而分辨力却精细到 5 毫伏。

（在集成电路数/模转换器中，精度和分辨力是固定的。）要选择适合自己需要的转换器，只要查一下有关生产厂家的转换器指标就可以。

§1.5 多通道数字/模拟转换器

在实际应用中，我们经常需要对好多路（通道）的数字信号进行解码（数/模转换），一般采用两种方法来实现。

一种方法是每一个数字信号都采用一个数/模转换器，见图1-4。它的优点是每一个待

解码的信号都保存在它的寄存器中，因此模拟输出电压是固定的。数字输入线并行连接到每一个转换器，有多少路待解码信号就需要多少个数/模转换器。启动那一个转换器由通道地址译码器（选择器）译出的控制线决定。

通道选择方式方法简单。当待解码信号通道数多时，占用设备（数/模转换器）较多。注意：我们假定数/模转换器中有输入数码寄存器和选通控制（在集成电路D/A中，有些器件无输入数码寄存器和选通控制）。

（另一种方法是只用一个数/模转换器，模拟量输出由开关控制，称为复用方式。

图1-5示出了复用方式的系统框图。由于模拟信号必须在两个甚至多个采样周期之间保持，因而输出端必须配采样保持放大器。此外，数/模转换器输出的模拟信号必须在通道地址控制下经过模拟开关送到采样保持器，这一功能电路叫多路复用器（也叫模拟多路转换器）。

采样保持器是一种模拟信号存贮器。它可以用一个电容和高增益运算放大器来近似表示，见图1-6。当开关合上时，电容充到数/模转换器的输出电压值。当开关打开时，电容将保持此电压值直到下一个采样周期到来。运算放大器提供很高的输入阻抗以使电容的放电小到不能察觉，并且能提供较低的输出阻抗以便驱动外电路。

此外，采样保持器的电容也不能无限期地保持一个电压，因而采样频率必须大到足以保证这些电压在两个采样之间没有明显的衰减或衰减到可容许的精度范围内。采样频率与保持电容的大小与预期出现在转换器输出端的模拟信号频率有关。

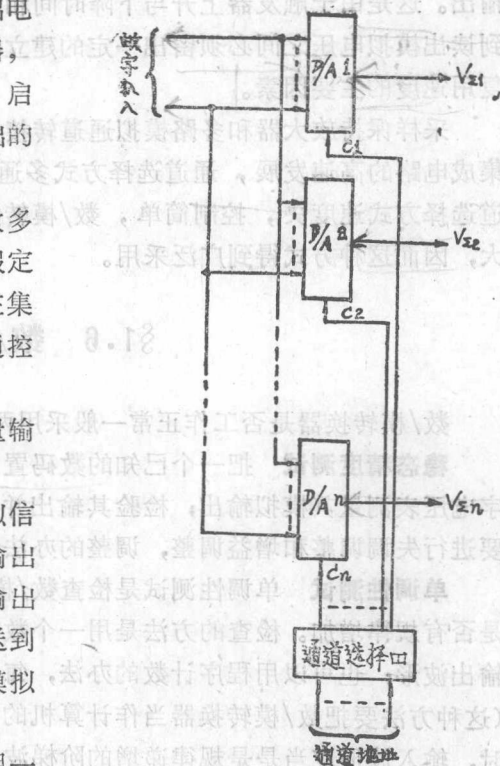


图1-5 通道选择方式多通道数/模转换器

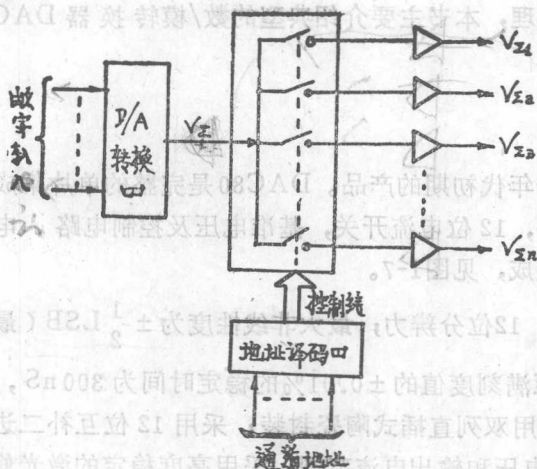


图1-5 多路复用方式数/模转换器



图1-6 采样保持放大器

输出。这是由于触发器上升与下降时间和电流开关通断过渡过程引起。因此数据送入寄存器到读出模拟电压之间必须留出一定的建立时间。数/模转换器都有这个指标，它是决定最大复用速度的主要因素。

采样保持放大器和多路模拟通道转接器（复用器）现都以单片模拟集成电路出售。随着集成电路的高速发展，通道选择方式多通道数/模转换器已逐渐替代复用方式，这是因为通道选择方式速度快，控制简单，数/模转换器芯片与采样保持放大器集成电路的价格差别不大，因而这种方式得到广泛采用。

§1.6 数/模转换器的测试

数/模转换器是否工作正常一般采用两种方法进行测试。这两种方法是：

稳态精度测试 把一个已知的数码置入数/模转换器的寄存器中，然后用一个高精度数字电压表测量其模拟输出；检验其输出并与理论值进行比较。如果达不到规定的精度，就需要进行失调调整和增益调整，调整的办法详见1.7.2节。

单调性测试 单调性测试是检查数/模转换器在输入数字信号每次递增1时，输出电压是否有规律增加。检查的方法是用一个数字计数器作为输入信号，输出连接到示波器上观察输出波形；也可以用程序计数的办法，每次最低位加1，在示波器上观察模拟电压输出波形（这种方法要把数/模转换器当作计算机的一个外部设备，详见2.8节）。当通过单调性测试时，输入波形应当是规律递增的阶梯波。阶梯波形的每个台阶必须等距且幅度完全一致。若丢失台阶、台阶幅度不同，或者台阶呈下降方式都表明系统有故障存在。

单调性测试并不能检查系统的精度。如果系统能通过这个试验，那么就可以肯定转换器的误差一定小于 ± 1 个最低有效位(LSB)。

§1.7 集成电路数字/模拟转换器DAC80

以上各节介绍了集成电路数/模转换器的原理，本书主要介绍典型的数/模转换器DAC80。

1.7.1 简介

DAC80是美国BURR—BROWN公司七十年代初期的产品。DAC80是完整的单片集成电路数/模转换器，芯片内有12位梯形电阻网络，12位电流开关，基准电压及控制电路，电压型DAC80还有一个运算放大器及一些电阻组成，见图1-7。

DAC80的特点是：价格低(十多个美元)；12位分辨力；最大非线性度为 $\pm \frac{1}{2}$ LSB(最低有效位)；快速转换：电流型DAC80在转换至满刻度值的 $\pm 0.01\%$ 的稳定时间为300nS，电压型在该精度条件下的稳定时间为3 μ S；采用双列直插式陶瓷封装；采用12位互补二进制码或者3位二十进制代码；可以选择输出电压和输出电流范围；采用高度稳定的激光修正的薄膜电阻和快速的电流开关。