

第 1 篇 智能仪器原理与组成

第 1 章 概 述

第 1 节 智能仪器的发展概况

客观世界是一个物质世界。物质以不同的形式在不断地运动着，运动着的物质总是以一定的能量或状态表现出来，这就是“信号”。人们为了认识物质世界，就必须寻找表征物质运动的各种信号以及信号与物质运动的关系，这就是测试的任务。

在长期的科学技术和生产发展过程中，测试技术已趋于完善和成熟。一般的物理“量”、化学“量”均有相适应的测试手段。然而，传统的测试手段大多只适用于各种量的静态测量（被测量不随时间而变化或变化的频率不高）。而且测试的精度也受到多方面的限制。随着科学技术的迅猛发展，新技术革命把人类社会从工业化社会推进到信息化社会。这就要求人们对随时间而变化的各种参量，甚至是变化频率很高的动态量进行实时测量。随着电子技术、半导体技术以及计算机技术的不断发展与成熟，各种动态量的测试技术也得到迅速发展。它的高精确度、高灵敏度、高响应速度以及耗能少、结构小、可以连续测量、自动控制等特点使测试技术发展到一个全新的水平。

一个完整的测试过程一般应包括：

信息的采集——用传感器来完成；

信息的变换与传输——用中间变换装置来完成；

信息的处理和分析——用信息处理设备或计算机软件来完成；

信息的显示和记录——用信息显示记录装置或计算机外围设备来完成。

由上可知，现代测试技术实质上在测试过程的每一环节都可能而且应该采用各种现代化的新技术。尤其是将计算机技术与测试技术结合以后，测试过程中各环节的结构、功能、性能等都将出现革命性的变化，从而形成了新一代仪器——智能仪器。

智能仪器是计算机技术与测试技术相结合的产物，是含有微计算机或微处理器的测量仪器，由于它拥有对数据的存储、运算、逻辑判断及自动化操作等功能，具有一定智能的作用（表现为智能的延伸或加强等），因而被称之为智能仪器。这一观点已逐渐被国内外学术界所接受。近年来，智能仪器已开始从较为

成熟的数据处理向知识处理发展。它体现为模糊判断、故障诊断、容错技术、传感器信息融合、机件寿命预测等,使智能仪器的功能向更高的层次发展,我国电磁测量信息处理仪器学会于 1984 年正式成立“自动测试与智能仪器专业学组”,1986 年 IMEKO(International Measurement Confederation, 国际测量联合会)以“智能仪器”为主题召开了专门的讨论会,IFAC(International Federation of Automatic Control 国际自动控制联合会)1988 年的理事会正式确定“智能元件及仪器”(Intelligent Components and Instruments)(TC25)(C&I)为其系列学术委员会之一。此外,1989 年 5 月在我国武汉召开了第一届测试技术与智能仪器国际学术讨论会 ISMT II '89)。以后,在国内外的学术会议上,以智能仪器为内容的研讨已层出不穷。

自从 1971 年世界上出现了第一种微处理器(美国 Intel 公司 4004 型 4 位微处理器芯片)以来,微计算机技术得到了迅猛的发展。测量仪器在它的影响下有了新的活力,取得了新的进步。电子计算机从过去的庞然大物已经缩小到可以置于测量仪器之中,作为仪器的控制器、存储器及运算器,并使其具有智能的作用。概括起来说,智能仪器在测量过程自动化、测量结果的数据处理及一机多用(多功能化)等方面已取得巨大的进展。到了 20 世纪 90 年代,可以说在高准确度、高性能、多功能的测量仪器中已经很少有采用微计算机技术的了。总的来说,可以从对传统仪器的改进和新型仪器的出现两个方面来归纳智能仪器的发展概况。

传统的手持式万用表,在采用了单片微机控制之后,功能更加多样,使用更加方便、可靠,而且准确度大为提高。如读数为 $4\frac{1}{2}$ 位的万用表,除可测量传统的直流电压、电流及电阻外,还可测量交流电压及电流的真有效值;测频率时,范围可扩展到 10Hz~1MHz;测温度时,范围可扩展到 $-60\sim 200^{\circ}\text{C}$,也可测量电容及电感;还可进行电平(分贝值)测量和实现自动量程切换;有极性显示及输入过载保护等自动化功能;可对测量结果做简单的误差计算。有的万用表还可在数字显示器下面外加光条显示器,以提高对被测信号波动变化倾向的判断能力。如今又有了示波表,可以在万用表中进行数据运算并显示曲线及有关参数,具有示波器的功能。

到 20 世纪 80 年代初期,高性能的数字万用表,读数已达 $7\frac{1}{2}\sim 8\frac{1}{2}$ 位,其分辨率,直流电压可达 $0.01\mu\text{V}$,交流电压可达 $0.1\mu\text{V}$ 。24 小时准确度,直流电压可达 $1\sim 2\text{ppm}$ (ppm 为百万分之一),交流电压可达 $\pm 0.01\%$ (真有效值响应)。频率覆盖可从音频(20kHz)至甚低频(1Hz)波形因数峰值/有效值可

达 5:1。其数据处理功能一般包括百分误差、绝对误差、最大值及最小值、峰 - 峰值、平均值、有效值、方差及标准差等。有的仪器可以在数日内进行采样时间间隔可调的自动跟踪测量及自动存数等。在内置微计算机的作用下,高性能数字万用表还采用了不开盖式的自动校准技术 (Closed - Case Autocal) 使仪器的准确度及稳定度进一步提高。

智能仪器除了在传统仪器的改进方面取得了巨大的成就以外,还开辟了許多新的应用领域,出现了许多新型的仪器。20 世纪 80 年代以来,制造业 (汽车制造, VLSI 制造, 各种电子设备如电子计算机、电视机的制造等) 的高速发展,使 CAM (Computer Aided Manufacturing, 计算机辅助制造) 达到很高水平,它对人类生产力的提高起着巨大的推动作用。为了对 CAM 的工作质量进行及时监督,使成品或半成品的质量得到保证,要求实现对整个加工工艺过程中各重要环节或工位的在线检测。因此在生产线上或检验室内大量应用各种 CAT (Computer Aided Test, 计算机辅助测试) 技术的仪器。

智能仪器以及计算机系统本身的发展使得其硬件结构及软件内涵越来越复杂,随之而来的是对其工作状态的检验及故障诊断就显得非常重要,而且十分困难。如果都依靠专业人员去解决这些问题,不仅耗费时间,而且对大量、多品种、更新很快的产品,这样做也是不大可能的。为了解决此类问题,出现了一种新型仪器故障诊断仪 (Troubleshooter)。面向以计算机为主体的数字系统 (或智能仪器) 的故障诊断仪本身就是一台微计算机。它一般是通过特定的 (如与被检验系统的 CPU 相一致的) 适配器与被检验系统相连,在专用软件包的支持下进行故障诊断。它不仅可发现故障的性质及范围,有时还可精确地定位到故障元件。

由于微计算机的内存容量的不断增加,工作速度的不断提高,因而使其数据处理的能力有了极大的改善,这样就可把动态信号分析技术引入智能仪器之中。这些信号分析往往以数字滤波或 FFT (快速傅里叶变换) 为主体,配之以各种不同的分析软件,如智能化的医学诊断及机器故障诊断仪等。这类仪器的进一步发展就是测试诊断专家系统,其社会效益及经济效益都是十分巨大的。

第 2 节 智能仪器的构成与特点

一、智能仪器的构成

如前所述,智能仪器的核心是微处理器。图 1-1 是智能仪器的基本组成。

从图 1-1 可以看出,智能仪器具有计算机的结构,除了包含有微处理器以外,还有存贮器 ROM、RAM 和键盘、显示器及其他接口装置。与一般计算机的

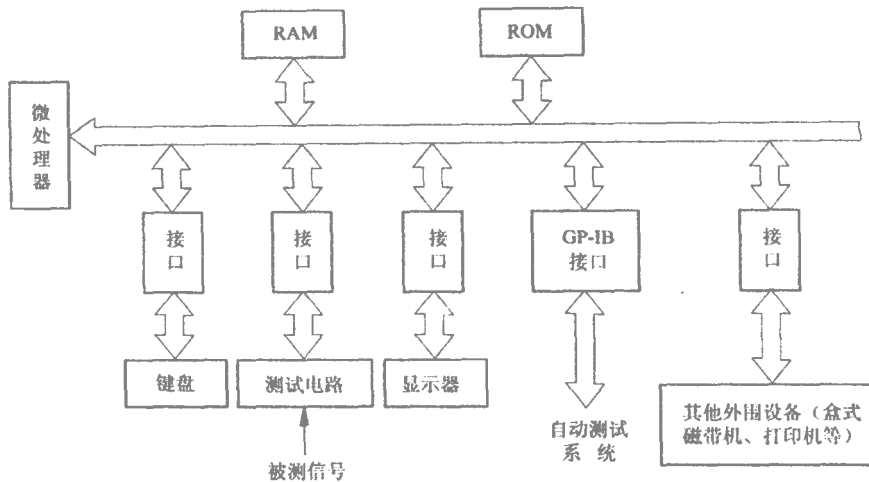
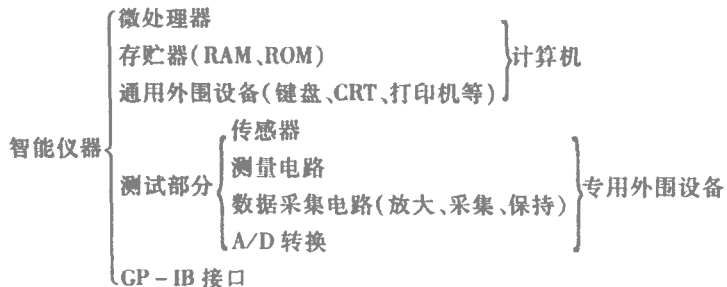


图 1-1 智能仪器的基本组成

差别在于它多了一个“专用的外围设备”——测试电路和一个与外界通讯的 GP-IB 接口。因此可以认为：从仪器的观点看，微处理器及其支持部件是整个测试仪器的组成部分。从计算机的观点看，测试部分是计算机的一个专用外围设备。这种关系可归纳如下：



二、智能仪器的特点

(1) 微处理器的引入使智能仪器的功能较传统仪器有了极大的提高。许多原来用硬件电路难以解决或根本无法解决的问题，由于利用软件而获得较好的解决。例如，传统的数字多用表 (DMM) 只能测量交直流电流、电压以及电阻等，但采用微处理器的智能数字多用表还能测量百分率偏移、比例、极值、平均值、方差、均方差、均方根值等，甚至在外加传感器后还能测量温度、压力等非电量。

(2) 智能仪器可以通过数据处理进行自动校正、非线性补偿、数字滤波等修正和克服由各种传感器、变换器、放大器等引进的误差和干扰，从而提高仪器的

精度和其他性能指标。

(3) 智能仪器一般都具有很高的自动化水平。微处理器能控制仪器的整个测量过程。如键盘扫描、量程选择、数据采集、传输、处理及显示记录输出等，实现了测量过程的自动化。

(4) 智能仪器具有对外接口能力，通常都具备 GP-IB 接口，能很方便地通过接口组成多功能自动测试系统。

(5) 智能仪器由于采用了微处理器，从而可以用软件代替许多硬件电路的工作。这样，仪器可以简化结构、减小体积、降低成本和提高可靠性。

(6) 智能仪器通常都具有自测试和自诊断功能。它能自行测试功能是否正常，自行诊断是否存在故障及故障的部位，提高了仪器的可靠性，简化和加快了仪器的维修工作。

第 2 章 智能仪器的数据采集通道及接口技术

在智能仪器中，把被检测对象的信号送入微处理器中进行处理，或者将微处理器中的控制信号输出，对受控对象进行控制，被测量的信号要经过多次的变换或反变换，每次变换都具有一定的目的。传感器是被测信号的第一次变换，它是将非电量信号变换成电信号。为了将它输入到微机中进行实时处理，需要再进行滤波、放大，变换成标准的电信号送给 A/D 转换器进行第二次变换，模拟的电信号被转换成数字量送入微型机中，以便对其作进一步的处理。

在所采集的电信号中有连续的电流或电压信号，也有离散的电信号。对于这几类信号，需要采取不同的方式进行转换处理。对模拟量需要进行滤波、放大、模数转换等。对于离散信号，需采用频压变换，也可以直接送入微机。从微机中输出的信号，如模拟信号、开关量信号及脉冲序列（一定频率）信号等也需采用一定的转换电路或驱动电路控制受控对象。

总之，在将传感器信号输入微处理器的过程中，或从微处理器输出控制信号时，必须对信号的特征量及其大小、系统的关键性指标、成本允许范围等作出全面的综合考虑，方能合理地设计出信号传输通道。对于高精度、多功能、快速数据采集系统，更要深入研究系统的各个环节，在理论与实践上作出分析、判断，方能获得可靠的通道品质指标。

第 1 节 模拟信号的输入及 A/D 转换器

模拟信号输入通道的作用是将由传感器送来的模拟量进行电平转换、滤波、放大、采样保持、模 / 数转换之后输入微处理器中。完整的模拟信号输入通道由滤波器、放大器、采样 / 保持器、模 / 数转换器等组成。当然也有只需要其中部分器件的模拟信号输入通道。在每个系统中需要采样的点数及要求的转换精度和速度不同，所以在—个数据采集系统中，可能会有多种转换方式。

—、模拟信号输入通道的工作方式

模拟信号输入通道的工作方式有以下 5 种，实际应用中选用哪种输入方式，应根据系统的要求决定。

1. 单通道不带采样 / 保持器的 A/D 转换

这种电路适合于输入信号变化缓慢的场合，其转换速度一般，精度较高，方框图如图 2-1 所示。



图 2-1 单通道不带采样 / 保持器的 A/D 转换电路

2. 单通道带采样 / 保持器的 A/D 转换

这种转换电路的转换精度很高，速度快，适合于高精度的数字转换电路，其方框图如图 2-2 所示。

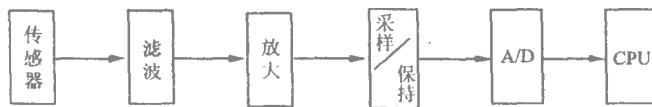


图 2-2 单通道带采样 / 保持器的 A/D 转换电路

3. 多通道 A/D 转换

每个通道都带有自己的采样 / 保持器以及放大器、滤波器、A/D 转换电路，其方框图如图 2-3 所示。

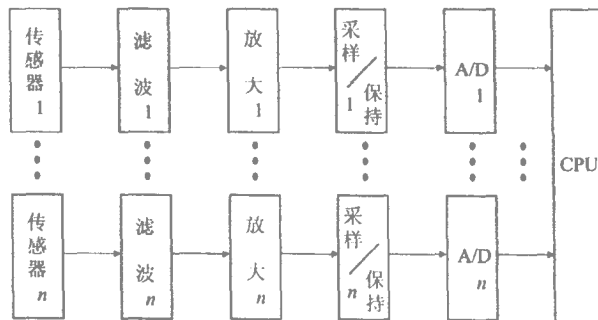


图 2-3 多通道 A/D 转换电路

4. 多通道共享 A/D 转换

这种采样输入形式，适合于多种信号的转换精度、转换速度要求基本一致的场合。它占用 CPU 的输入口较少，CPU 对每个通道的访问，可以由软件决定，也可以由硬件决定，是一种比较经济的工作方法。其转换框图如图 2-4 所示。

5. 多通道共享采样 / 保持器与 A/D 转换器

这种 A/D 转换输入方式适合于对同一信号不同量程的 A/D 转换，它也比

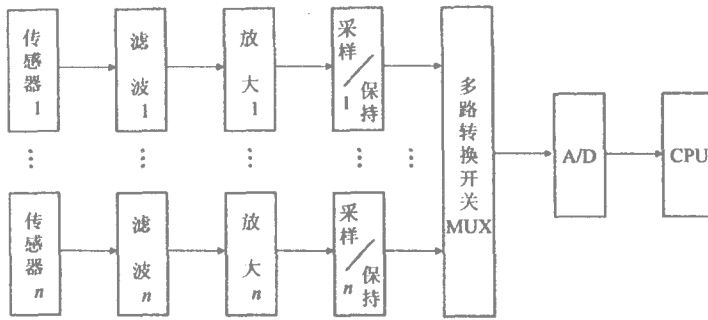


图 2-4 多通道共享 A/D 转换电路

较经济 占用 CPU 输入口少，因而可以更有效地利用 CPU 的输入口。尤其对于那些接口有限的微型机，这种方式更有效。CPU 对各路通道的访问采用软件控制，由多路转换开关进行切换。其框图如图 2-5 所示。

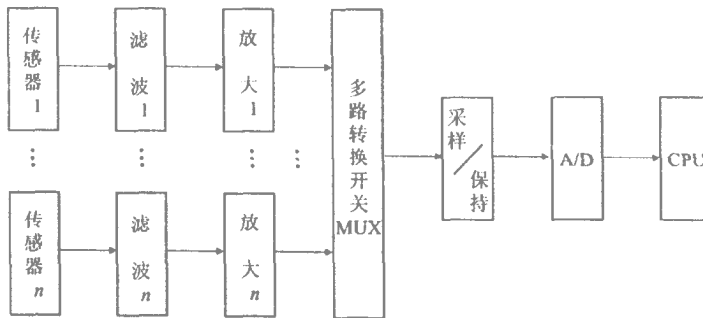


图 2-5 多通道共享采样/保持器的 A/D 转换电路

二、模拟/数字转换器 (A/D)

模/数转换过程中 每隔时间 T 对输入的连续信号进行采样，采样后的数据在时间上是离散的，然后经过量化（即编码）将模拟信号转化成数字信号。在 A/D 转换器中，采用四舍五入的取整量化方式（即把小于 $\frac{q}{2}$ 的值舍去）。毫无疑问，量化会使信号失真，给系统带来量化误差，影响系统的精度和过程平滑。为了减少量化误差对系统精度和平滑性的不利影响，应该正确地选用 A/D 转换器。

1. A/D 转换器的主要性能指标

(1) 分辨率。模数变换器的分辨率是指输出数字量对输入模拟量变化的分辨能力，即指使输出数码增加（或减少）一个单位所需要的输入信号最小变化

量。它由变换器能够输出的数位 n 所决定,也就是由 $1/2^n$ 所决定。例如 ADC0809 能够输出 8 位数字量,故具有 8 位的分辨率 即:

$$8 \text{ 位分辨率} = \frac{1}{2^8} = \frac{1}{256} = 0.39\%$$

如果输入电压的最大值为 5V 则 8 位 ADC 能够分辨的输入电压最小变化量为:

$$1\text{LSB} = \frac{5}{2^8 - 1} = \frac{5}{255} = 0.19 \approx 0.2(\text{V})$$

(2) 量化误差。量化误差是由变换器分辨率直接造成的。在一个量化单位内所有模拟电压值都对应着同一个输出数码。因此存在着一个固有的变换误差 无论 A/D 转换器的精度多高都存在这一问题。如图 2-6(a) 所示,它显示出一个精确的 3 位 A/D 变换器的变换特性。可以看出,0~1V 之间所有输入电压都对应着 000 一个输出数码,其量化误差为 1LSB。如果把 0.5V 定为标称值,则量化误差就变成 $\pm 1\text{LSB}/2$ 。为了把量化误差改变为 $\pm 1\text{LSB}/2$ 通常的方法是把变换特性偏移 1LSB/2 如图 2-6(b) 所示。

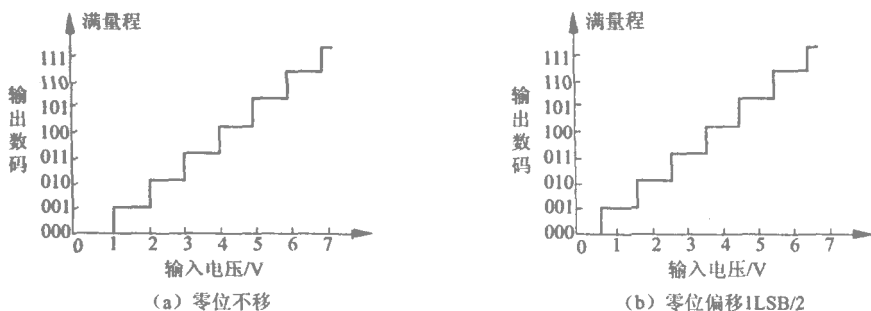


图 2-6 A/D 转换器的量化误差

量化误差仅仅能够通过提高分辨率来减少。它是以 $\pm 1\text{LSB}/2$ 或是以满刻度度数的百分比误差(例如对于 ADC1210 为 $\pm 0.00122\% \text{FS}$)来表示的。

(3) 线性误差。ADC 芯片的线性误差是指其输出特性曲线从始末两端造成的直线漂移的最大偏移量。它是在零位误差和满刻度误差校正完毕之后进行测量的,是器件本身的固有特性,不能用外部的方法来调整。

(4) 零位误差。零位误差是衡量理想的 A/D 变换器与实际的 A/D 变换器零点偏差大小的尺度。如图 2-7(a) 所示,零位误差的影响是使整个变换特性曲线沿着横坐标向左或向右漂移。比 1LSB 更低的任何输入电压变换结果得到的数码都是 000,因此输出从 000 跳到 001 时所确定的实际输入电压与理想输入电压的偏差被定义为零位误差,并以满刻度 FS 的百分值来表示。在图 2-7

(a) 的例子中 零位误差为 $2\text{LSB} = 0.286\% \text{FS}$ 。

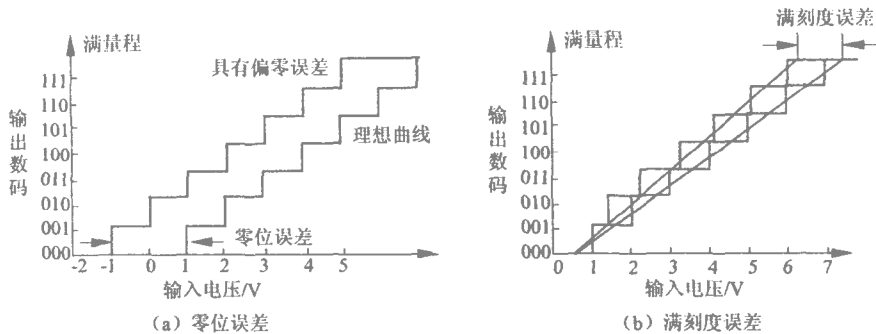


图 2-7 A/D 芯片零位误差及满刻度误差

(5) 满刻度误差。满刻度误差是满刻度情况下理想的 A/D 变换器与实际的 A/D 变换器偏差的大小尺度。实际上它就是使输出达到满刻度时，理想的 A/D 转换器的输入电压与实际的 A/D 转换器的输入电压之间的偏差，如图 2-7(b) 所示，满刻度误差的影响是使变换器的特性曲线绕原点转动一个角度。比满刻度输入电压更高的任何输入电压得到的输出数码只能是 111。因此，使输出数码从 111 跳变到 110 所确定的实际输入电压与理想输入电压的偏差被定义为满刻度误差 并且用满刻度 FS 的百分值来表示。在图 2-7(b) 的例子中满刻度误差为：

$$1 \frac{1}{2} \text{LSB} = 0.214\% \text{FS}$$

(6) 变换时间。变换时间是指一个变换周期的长短，它跟芯片采用的变换方式等因素有关，也影响芯片的使用场合。

2. ADC 芯片的主要品种及性能

ADC 芯片类型很多，性能指标相差很大，且各具特点。下面将分别介绍几类 ADC 芯片的工作原理和其主要产品的性能及适用场合。

根据转换的原理来分，常用的 ADC 有：

- 双积分方式 ADC；
- 逐次逼近式 ADC；
- 快速 ADC。

下面将分别简要叙述其工作原理：

(1) 双积分方式 ADC。双积分方式 ADC 以高精度、高分辨率和低转换速度为其特点。在一些有强电干扰，而信号变化极其缓慢的工业应用场合，有较大的应用价值。

双积分方式 ADC 的工作原理(如图 2-8)是将输入电压转换成与其平均值成正比的时间间隔,然后计数器据此进行计数。双积分方式 ADC 的工作过程分为采样和测量两个阶段,工作原理如图 2-9 所示。

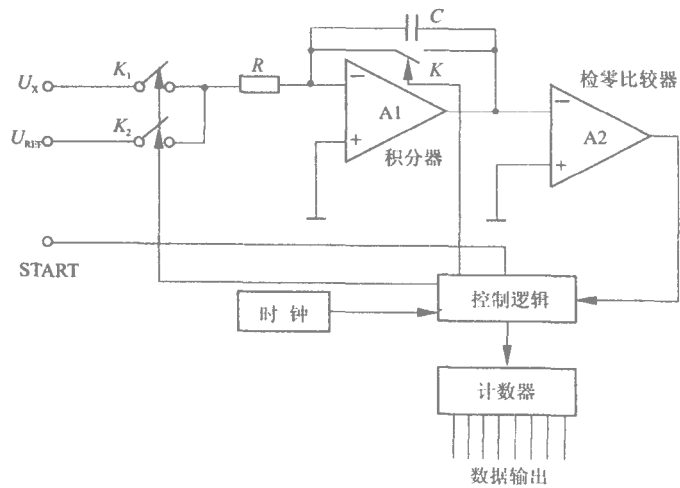


图 2-8 双积分方式 ADC 原理图

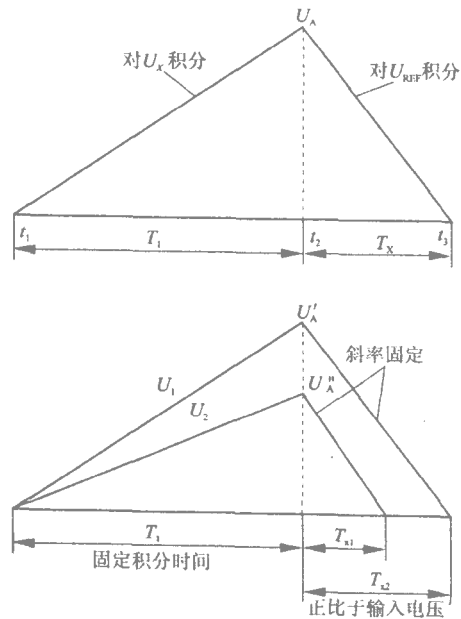


图 2-9 双积分方式 ADC 的工作原理图

双积分方式 ADC 按一定的时序顺序工作，从电路发出启动脉冲 $START = 1$ 时刻 t_1 开始 K_1 接通，计数器复位，模拟电压 U_x 接到积分器输入端。积分器从零开始积分，同时，计数器开始计数。假设计数器的容量为 N_{\max} ，时钟周期为 T_{cp} ，则从计数时刻 t_1 开始到计数器计满，发出溢出脉冲的时刻 t_2 为止，这段时间 T_1 称为采样阶段。 T_1 等于 $T_{cp} \cdot N_{\max}$ 是定值。这时积分运算放大器的输出电压 U_0 为：

$$U_0 = -\frac{1}{RC} \int_0^{T_1} U_x \cdot dx = -\frac{T_1}{RC} \cdot U_x = U_A \quad (2-1)$$

U_0 与输入电压 U_x 在 T_1 内的积分值成正比。

在 t_2 时刻，转换器进入比较阶段。此时计数器已计满又复位为零，控制逻辑电路使模拟开关 K_1 断开， K_2 合上，将与 U_x 极性相反的标准电压 U_{REF} 输入积分器，积分器开始反向积分，计数器重新开始计数。当积分器的输出电路 U_0 降到等于零的时刻 t_3 ，检零比较器动作，通过控制逻辑电路将计数器关闭。这一段时间为 $t_3 - t_2 = T_x$ ，此时计数器计数值为 N_x 。由于此时积分器输出电压为零，即：

$$U_0(t_3) = U_A + \frac{1}{RC} \int_0^{T_x} U_{REF} \cdot dt = 0 \quad (2-2)$$

$$U_A = -\frac{T_x}{RC} U_{REF}$$

$$T_x = N_x \cdot T_{cp}$$

因此
$$T_x = \frac{T_1}{U_{REF}} \cdot U_x$$

$$N_x = \frac{N_{\max}}{U_{REF}} \cdot U_x \quad (2-3)$$

由 2-3 可知，被测电压 U_x 的转换数字量 N_x 与 U_x 成正比，与 $\frac{N_{\max}}{U_{REF}}$ 比例因子成正比，而与积分器中的 RC 常数及计数器的频率 T_{cp} 无关。故此在双积分型 ADC 中需要一个高品质的正负电源，一个高品质的积分电容及一个高灵敏度的电压比较器以保证检测精度。

双积分 ADC 的缺点是：转换频率较低，略低于 $1/2T_1$ 。由于采样时间 T_1 又和分辨率（计数量的最大值）有关，分辨率愈高，在使用的时钟频率高限被限定时，则 T_1 就较大，故转换速度受一次积分时间所限。此外，采样时间 T_1 的选择还和干扰噪声抑制频率有关。如要求能抑制低频干扰，相对于快速采集系统则太慢，但是双斜率转换器对于温度的检测及气相色谱这些反应较慢的传感器来

说其速度是足够的。由于它工作速度慢，信号频率低，采样值是在 T_1 时间内输入信号的平均值，故采集通道中不必再设置采 / 保电路。

常用单片双积分类型的 ADC 集成芯片有：13 位的 CMOS 产品 AD7550、AD7552 及 $\pm 4 \frac{1}{2}$ -BCD 的 AD7555 等。

(2) 逐次比较式 ADC。这类芯片目前应用极为广泛。它易于获得较高的转换速度、高分辨率及较高的精度，也易于和微机接口。

它的工作过程是用一系列的基准电压与被转换电压 U_x 相比较，其原理如图 2-10 所示。

当未知电压 U_x 接入后，由 CPU 给出的 $START = 1$ 信号启动 A/D 转换，随即芯片输出 $BUSY$ 状态，信号为“0”表示 ADC 正在转换。ADC 转换时先使高位数字 $D_{N-1} = 1$ ，经片内的数模转换环节 (DAC) 转换成对应一个整量程一半的权值基准电压 U_c 与输入电压 U_x 相比较。若 $U_x > U_c$ ，则保留此位；若 $U_x < U_c$ ，则此位清零。然后令下一位数字为 1，即 $D_{N-2} = 1$ 与上一次结果一起经 DAC 后转换成 U_c 与 U_x 相比较，重复进行二进制各位的搜索比较，直到最后确定最低位 D_0 后，给出状态 $BUSY = 1$ ，并允许转换的信号数字输出。逐次比较式 ADC 经过移位寄存器后容易获得串行数字输出。

假定逐次比较式 ADC 的分辨率为 N ， N 也就代表了被比较的次数，故逐次比较 ADC 的转换时间为：

$$t_{CH} = t_0 + NT_{cp} \quad (2-4)$$

式中 t_0 为转换前后所需要的控制及动作时间； T_{cp} 为时钟周期； NT_{cp} 为 N 位转换所需的时间。

ADC 的转换速度取决于可选择的最高时钟频率，而时钟频率的高限，则受片内 DAC 输出达到稳定所需时间、电压比较 DAC 响应时间以及逐次逼近寄存器的动作时间等的限制。逐次逼近 ADC 的精度则主要由片内 DAC、电压比较器及参考电源精度决定。

目前各种速度和精度的集成化逐次比较式芯片有以下几类：

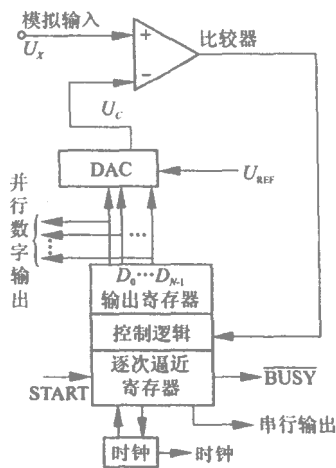


图 2-10

逐次比较式 ADC 的工作原理图

单端输入 A/D 芯片 ADC - ET 系列。它包括 ADC - ET8B、ADC - ET10B、ADC - EF12B 等。它们是采用 CMOS 工艺，芯片由输入运算放大器、比较器、电流开关、内部时钟、两个计数器、三态输出缓冲寄存器和控制逻辑所组成。

变换时间与分辨率：ADC - ET8B 1.8ms 8 位；
 ADC - ET10B 6ms 10 位；
 ADC - EF12B 24ms 12 位。

非线性误差： $\pm 1\text{LSB}/4 \sim \pm 1\text{LSB}/2$

运行温度：型号下标为“C” 0 ~ +70℃；
 “R” -25℃ ~ +85℃；
 “M” -55 ~ +125℃。

输入电压：0 ~ +5V, 0 ~ +10V, $\pm 2.5\text{V}$, $\pm 5\text{V}$ 。

这个系列的 A/D 变换芯片精度高、运行可靠，采用内部时钟其时序严格，变换中不会被中断，但变换时间较长，速度较低，故适合于要求速度不高但精度高的测量、离线数据处理与信号变换等设备，也可用于慢速过程控制（如温度控制的系统）。

8 位单路差分输入 A/D 变换器 ADC0804。该系列有 ADC0801、AD0802、ADC0803、ADC0804 变换时间为 $100\mu\text{s}$ ，分辨率为 8 位，采用差分输入，适合于要求 8 位分辨率、中速、单路、差动输入系统。

8 位 8 路 A/D 芯片。ADC0808、ADC0809 的分辨率为 8 位，变换时间为 $100\mu\text{s}$ ，输入电压 0 ~ $\pm 5\text{V}$ 。这类芯片可对 8 路模拟信号进行 A/D 变换，单电源、中速、无漏码，不必调零和调满刻度，使用简单，但精度低些，变换中间可被中断而且必须外加时钟，适合于 8 位分辨率的巡回检测和多路实时控制系统。

④ 8 位 16 路 A/D 芯片。ADC0816、ADC0817 能对 16 路模拟信号进行 A/D 变换。其主要性能指标同 ADC0808，故这个系列芯片更适合于巡回检测和多路实时控制系统。

⑤ 12 位单路 A/D 变换芯片。ADC1210、ADC1211 的分辨率为 12 位，变换时间为 $100\mu\text{s}$ ，也可做 10 位变换，时间为 $30\mu\text{s}$ 。它们具有高分辨率，多种接法，输出为负逻辑，线路相对复杂些，变换中间可被中断。它适合于要求分辨率高、变换速度较快的系统。

逐次逼近式 ADC 芯片使用时，常需配置相应的采 / 保电路，同时要求在所选采 / 保电路的孔径时间内模拟电压变化值小于该 ADC 芯片的 $1/2\text{LSB}$ 误差值，以保证 ADC 转换质量。而慢速的直流信号，若能保证在 t_{CON} 内变化甚微，则也可省去采 / 保电路。但一般为了可靠，在逐次比较式 ADC 芯片前应设置采样 / 保持电路。

(3)快速 ADC。快速 ADC 转换器分为两种，一种是并行比较型 ADC，另一种是串 - 并行比较型 ADC，它们的转换速度在几纳秒到几百纳秒之间，但要实现高分辨率比较困难。

并行比较型 ADC。并行比较型 ADC 是利用 $2^n - 1$ 个电压比较器，使输入电压同时与 $2^n - 1$ 个参考电压进行比较，其中 n 为二进制的位数。如 $n = 8$ 则需要 255 个参考电压和比较器，同时与对应 U_x 比较，再经过译码输出。图 2-11 表示一个 $n = 3$ 的并行

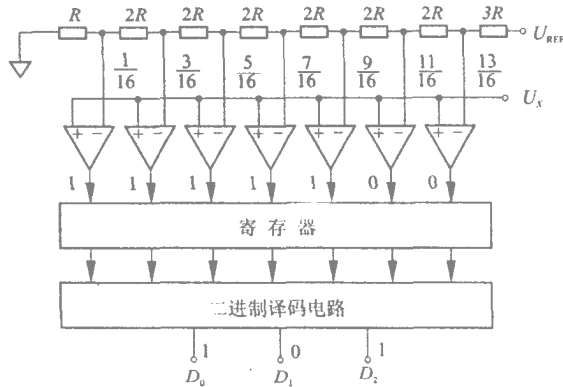


图 2-11 三位并行转换 ADC 原理图

转换型 ADC 的原理电路。被测电压 U_x 接在 7 个比较器的“+”端，而参考电压按二进制比例分出了 7 级，用分压器分别接入 7 个比较器的“-”端。若 U_x 大于被比较的参考电压，比较器输出为“1”电平，若 U_x 低于被比较的参考电压，则输出“0”电平。7 路信号输出经寄存器送到二进制译码电路的输出端形成与 U_x 对应的三位二进制代码。

由于并行转换是一次性转换，转换时间仅受限于比较器和译码逻辑的传输延时时间。显然采用高速比较器可以提高转换速度。但是若需分辨率高，则要求电路的器件增多，因此并行 ADC 造价很高。

目前已有的集成芯片如 6 位的 ADC5010/AD6020，其主要技术指标：6 位分辨率；100MHz 转换率；1/4LSB 非线性度；430mW 功耗。并行转换型 ADC 需要高速的采样/保持电路，否则系统的速度仍然不高。

串 - 并行比较型 ADC 转换。为满足高速度转换又要求有很高分辨率场合的需要，宜采用串并行比较型 ADC。它综合串行比较与并行比较二者的优点，又可以克服所用元器件剧增的缺点。下面以一个 6 位分辨率的串并行比较型 ADC，说明其串并行比较型模数转换器的原理。

图 2-12 为 6 位串并行比较型 ADC 的原理结构图，被转换的电压 U_x 一方面加到高 3 位并行比较型 ADC 的输入端，产生高 3 位的数字输出，再经 3 位 DAC 转换为模拟电压 U'_x ，另外输入模拟电压 U_x 经模拟延迟得 U''_x ，其延迟时间与高 3 位转换时间相等。 U'_x 与 U''_x 同时加到运算放大器的输入端，其输出电压