

第二节 单片机测量系统的输入接口

用单片机组成测量系统时，系统必须有被测电信号的输入通道（即前向通道），用来采集必要的输入信息。前向通道的设计与被测对象的状态、特征、所处环境密切相关。在前向通道设计时要考虑到传感器或敏感元件的选择、通道结构、信号调节、电源配置、抗干扰设计等诸多问题。

一、前向通道概述

（一）前向通道的结构类型

在单片机测量系统中，传感器检测到的电信号通常需要经过放大、A/D 转换、V/F 转换或电平转换等环节，才能满足单片机输入接口的电平要求，被单片机识别、接收并进行有效的处理。因此，单片机应用系统中的前向通道体现了被测对象与系统相互联系的原始参数输入通道。由于在该通道中主要是传感器和与传感器有关的信号调节、变换电路，故也可称为传感器接口通道。

前向通道的结构类型取决于被测对象输出信号的类型、大小等指标。根据传感器输出信号的类型和大小，前向通道结构如图 4-1 所示。

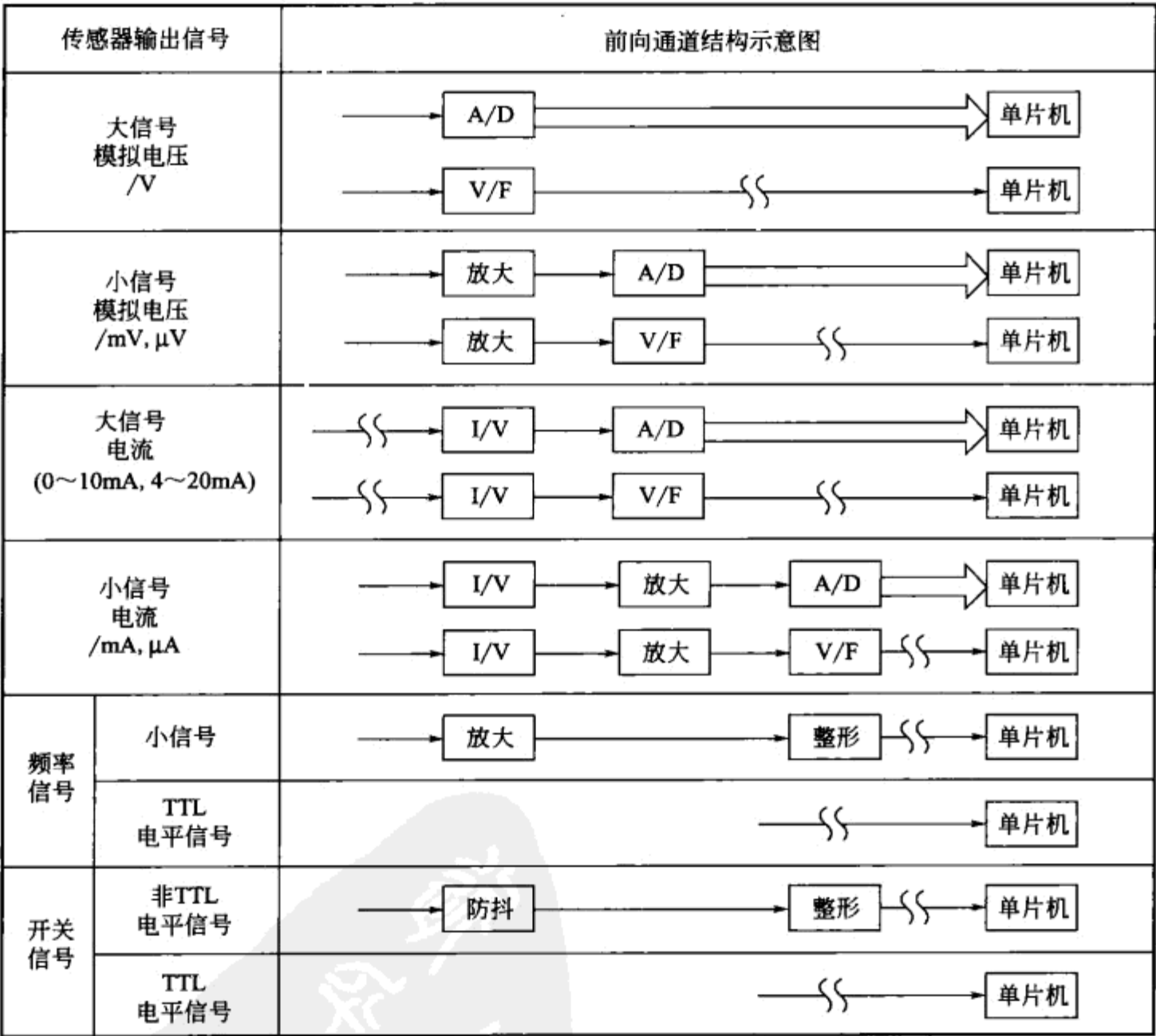


图 4-1 前向通道结构示意图

在前向通道中，如果配置的传感器输出信号为大信号模拟电压，能满足 A/D 转换输入要求，则可直接送入 A/D 转换器，经过 A/D 转换后再送入单片机。也可以通过 V/F 转换变化频率量送入单片机，但由于频率测量响应速度慢，多用于一些非快速过程参量的测量，这种通道结构的优点是抗干扰能力强，便于远距离传输。

如果传感器输出的是小信号模拟电压，则首先应将该信号电压放大，放大到能满足 A/D 转换、V/F 转换要求的输入电压。

对于以电流为输出信号的传感器则应首先通过 I/V 转换，将电流信号转换成电压信号。精密电阻就是最简单的 I/V 转换器，当信号电流流过精密电阻时，其电压降与流过的电流大小成正比，从精密电阻两端取出的电压就是 I/V 变换后的电压信号。对于大信号电流，如标准的 0~10mA，4~20mA 信号电流，选择合适阻值的精密电阻就可以直接获取能满足 A/D、V/F 转换输入要求的模拟信号电压。对于小信号电流通过 I/V 变换后，可再经放大器将电压放大至 A/D、V/F 转换所要求的电压值。

对于频率信号，满足 TTL 电平要求时可直接输入单片机的 I/O 口、扩展 I/O 口或中断入口，对于小频率信号则应通过放大、整形，变换成 TTL 电平信号后再输入。

对于开关信号，只需经过放大、整形和电平转换等处理后，使各种参量开关信号能满足 TTL 电平要求，即可输入单片机的 I/O 口、扩展 I/O 口或中断入口。

图 4-1 中只表示了单个信号输入时的前向通道结构类型。对于某些应用系统，如多点巡回检测系统、多参数测量系统，前向通道为多输入结构。如果应用系统中只有一个单片机，单片机只能分时对这些信号进行采样，这时的前向通道结构如图 4-2 所示。

无论是多点测量系统，还是多参数测量系统，各路传感器输出的信号电平都会有较大的差异，一般在 A/D 变换前都要经过放大，然后通过 A/D 变换后送入单片机数据总线。为了满足多路分时传送，前向通道中必须配置多路开关。多路开关的选择由单片机控制，而多路开关在通道中的插入位置则应根据传感器输出信号状况而定。当传感器输出信号电压微弱时，应先进行放大，以防止多路开关引入较大的误差，如图 4-2(a) 所示；如果传感器输出信号电压较大，则多路开关可直接与传感器输出信号相连，如图 4-2(b) 所示。这时各路输

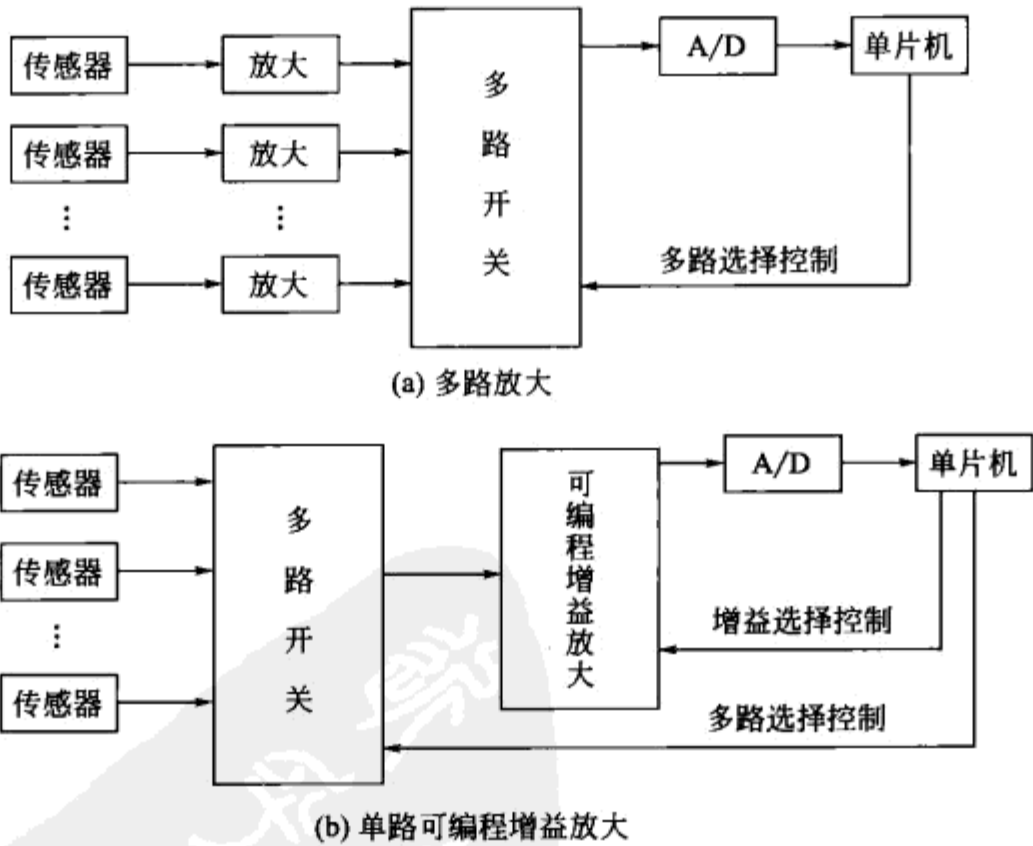


图 4-2 多路信号输入的前向通道结构

入信号都由同一个放大器进行放大，可以节省硬件开销。如果传感器输入信号电平差异较大，放大器应选用可编程增益放大器，根据不同信号电平选择不同的增益。

图 4-2 表示了多路电压信号的典型情况，对于多路频率信号可省去 A/D 转换及可编程增益放大，只需将各种频率信号通过放大、整形后送入单片机的 I/O 口、扩展 I/O 口或中断入口。多路开关可配置在放大、整形之前或之后。

## （二）前向通道设计中应考虑的问题

前向通道是单片机应用系统的信号采集通道，从信号的传感、变换到单片机的输入。故在前向通道设计中必须考虑信号拾取、信号的调节、A/D 转换以及电源配置与抗干扰措施等问题。

### 1. 信号拾取方式

前向通道中，通过传感器将外界非电参量，如压力、温度、速度、位移等物理量转换成电量，根据敏感元件、测量电路和变换原理不同，其输出电量可以是模拟量或频率量，输出模拟量可以是电压或电流。大信号电压输出最大可达 +5V、+10V 或 ±5V、±2.5V，这样的传感器可直接与 A/D 转换器的输入相连。大信号电流输出可达 10mA 或 20mA，通过 0.5kΩ 精密电阻变换成 +5V 或 +10V 电压。

以频率量输出的传感器精度高、抗干扰能力强，而且信号便于远距离传送。但频率测量时，响应速度不如 A/D 转换快，故在一些非快速测量中有广阔应用前景。

因此选择传感器时应尽可能选择大信号输出传感器。在一些非快速测量中应尽可能选用频率量输出传感器。

近年来随着传感技术和微电子技术的发展，出现了品种繁多的智能传感器，这些智能传感器把敏感元件和信号处理电路甚至微处理器集成为一体，可以直接输出单片机能够处理的数字量，大大简化了前向通道结构，为提高系统性能、简化系统设计、降低系统成本和加快开发速度提供了有利条件。

### 2. 信号的调节

前向通道中，信号调节的任务是将传感器或敏感元件输出的电信号转换成能满足单片机或 A/D 输入要求的标准电平信号。

测量系统中信号调节的任务较复杂，除了小信号放大、滤波外，还有诸如零点校正、线性化处理、温度补偿、误差修正和量程切换等信号调节电路。不过在单片机应用系统中，许多原来依靠硬件实现的信号调节任务可通过软件实现，这样可以大大简单片机应用系统中的前向通道结构。前向通道中的信号调节重点为小信号放大、信号滤波，以及对频率量的放大整形等。

### 3. 模拟/数字转换方式选择

A/D 转换一般设置在前向通道，它将外界输入的模拟信号转换成单片机数据总线能够接收的数字量。在前向通道必须配置 A/D 转换电路时，首先考虑能否选用带有 A/D 转换的单片机，如果单片机片内集成有 A/D 部件，且精度能满足要求时，可省去前向通道中的 A/D 接口电路。如果无法选用该种类型的单片机，必须在前向通道中配置 A/D 接口时，要选择好 A/D 转换芯片，选择 A/D 转换芯片的原则应从转换精度、转换速度、模拟信号输入通道数以及成本、供货来源全面考虑。

选择不同的 A/D 转换芯片，与单片机的接口电路要求不同，必须依芯片对控制电路的要求设置，接口电路必须满足这些要求。

一般来说，A/D 转换芯片输入的模拟电压都有规定要求，如  $0\sim+5\text{V}$ ， $0\sim+10\text{V}$ ， $0\sim+2\text{V}$  等，因此要考虑传感器输出信号与之匹配。

4. 电源配置与抗干扰措施

前向通道中要完成信号的拾取、调节、变换等复杂任务。在信号拾取时，既要考虑传感器的供电，又要考虑信号调节电路芯片（如运算放大器）对电源的特殊要求。因此，前向通道中要根据电路配置解决好电源供给问题。

另外前向通道靠近被测对象，且传感器输出的常常是小信号，因此前向通道极易受到干扰的侵袭。电源配置时要充分考虑干扰的隔离与抑制。

通常前向通道的电源配置应遵循以下原则：小功率；高稳定度；有干扰隔离与抑制措施。

图 4-3 所示是一种采用 DC/DC 变换器供电的典型前向通道供电方式。利用应用系统中标准的  $+5\text{V}$  电源经 DC/DC 变换器变换成前向通道所要求的各种电平电压。通过其中三个环节可以实现干扰的隔离。

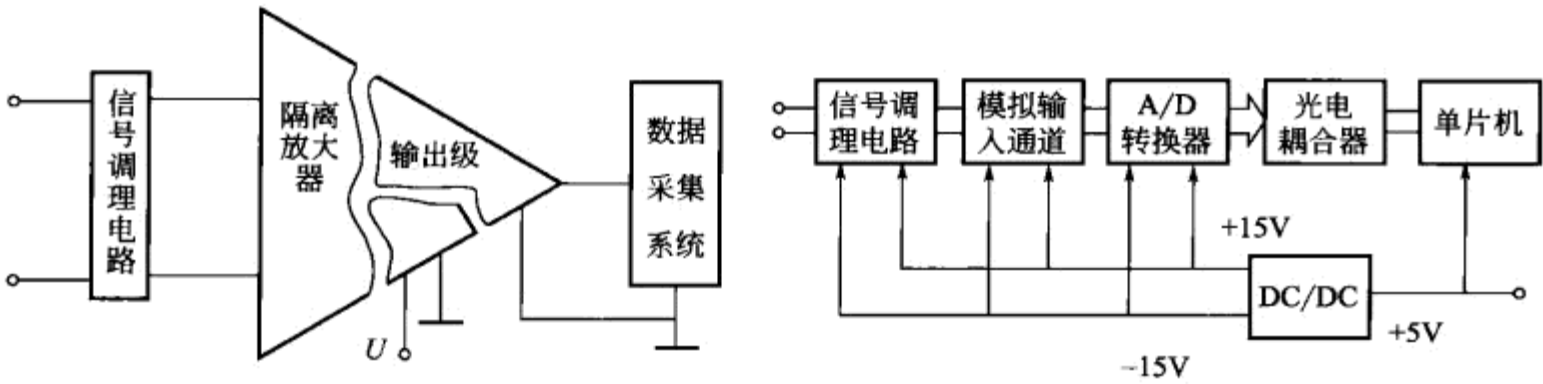


图 4-3 前向通道的电源配置与干扰防止

- (1) 电源隔离 通过 DC/DC 变换器实现。DC/DC 变换器的输入回路与输出回路是隔离的，这样切断了系统的主电源与前向通道电源间的干扰渠道。
- (2) 模拟通道隔离 通过隔离放大器实现。信号调节电路中采用隔离放大器作小信号放大用，可以防止现场干扰源通过传感器电源进入前向通道。
- (3) 数字通道隔离 通过光电耦合器实现。光电耦合一般放在前向通道的数字通道中，紧邻单片机的输入端口。

二、模拟输入通道接口技术

模拟量输入通道主要用来把现场的物理信号经过采样、放大、A/D 转换等环节转变成数字量，然后送入单片机进一步处理。模拟量输入通道接口主要完成下列任务。

- ① 将传感器输出的模拟信号转换成满足单片机要求的 TTL 逻辑电平信号。
- ② 当传感器输出的模拟信号比较微弱时，先将该信号放大，再进行转换。
- ③ 模拟量输入通道靠近现场，易受干扰。因此模拟量输入通道的抗干扰设计也是一个重要内容。

模拟量输入通道一般由信号调理电路、多路转换开关、放大器和模/数转换器组成。典型组成框图如图 4-4 所示。下面分别对放大电路、多路转换开关、采样/保持电路和滤波电路予以介绍，模/数转换器在后面专门进行介绍。

(一) 模拟小信号放大

被测物理量经传感器转换得到的电信号的幅度（如电流、电压等）一般很小，无法进行

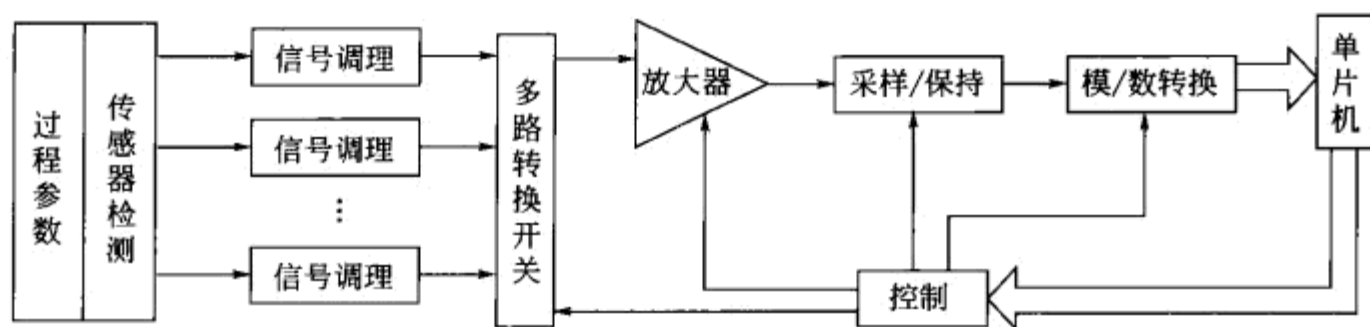


图 4-4 模拟量输入通道的一般组成

A/D 转换，因此，需对这些模拟电信号进行放大处理。为使电路简单又便于调试，一般都采用集成运算放大器。下面介绍两种常见的测温放大电路。

### 1. PN 结测温放大电路

图 4-5 所示为硅 PN 结测温的检测与信号放大电路。图中 PN 结为正向偏置，在温度一定时，PN 结两端结电压固定。当环境温度变化时（ $-30\sim 150^{\circ}\text{C}$ ），PN 结上的电压降会随温度上升而线性下降  $\Delta U$ ， $\Delta U$  的大小与流过 PN 结的正向电流有关。当  $I_{\text{PN}} = 50\mu\text{A}$  时， $\Delta U \approx -2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ ，其实验特性如图 4-6 所示。

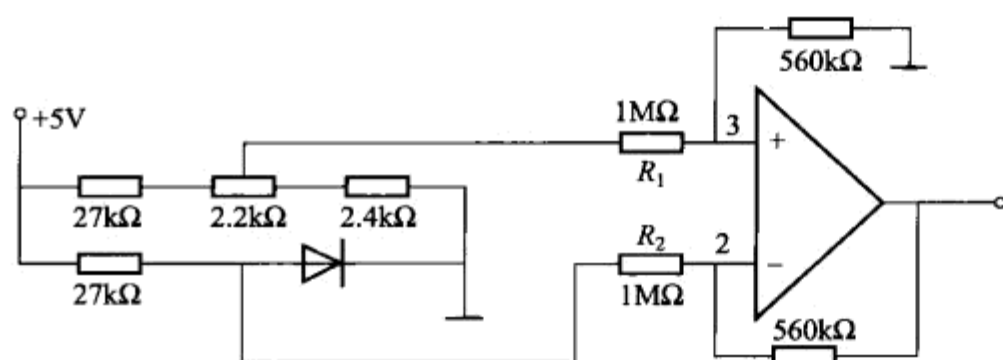


图 4-5 PN 结测温放大电路

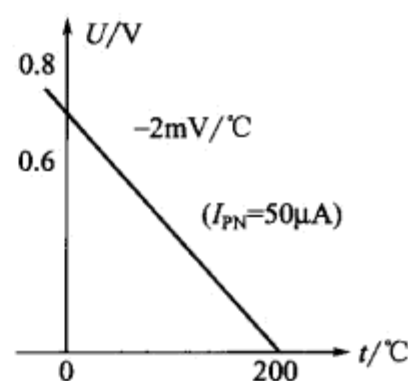


图 4-6 PN 结  $U-t$  特性

PN 结结电压变化通过电桥输出给放大器，电桥输出为毫伏信号，采用一般通用运放如 741、324 等即可完成放大任务。

### 2. 热电偶测量放大电路

热电偶是一种高温测量传感器，它的种类有 E、J、K、C、R、S、B 等型号。其中，S 型热电偶测温范围为  $0\sim 1500^{\circ}\text{C}$ ，可用于测量加热炉的温度，炉温变化  $1^{\circ}\text{C}$  可使热电偶两端有几十微伏的电压变化；K 型热电偶测温范围为  $0\sim 1700^{\circ}\text{C}$ ，温度变化  $1^{\circ}\text{C}$ ，可产生  $40\mu\text{V}$  左右的电压变化。图 4-7 所示为热电偶测高温的检测放大电路。

图 4-7 中， $T_c$  为热电偶，其电压输出由热端与冷端的温度差决定。理论上应使冷端温度为基点，即  $0^{\circ}\text{C}$ ，而实际上冷端温度通常为室温。所以，图中加上了一个冷端补偿电路，它利用 PN 结结电压随温度上升而线性下降的特性来进行补偿。

热端每变化  $1^{\circ}\text{C}$ ，K 型热电偶有  $40\mu\text{V}$  的电位差输出，其灵敏度为微伏级。采用 OP07 运放组成低漂移高精度前置放大器，对几十微伏变化信号测量比较精确，其放大倍数与  $R_f/R_1$  成正比，可根据需要设计。其中，OP07 的 1、7、8 端与  $R_{P1}$  构成调零电路。

前置放大器的输出为毫伏级信号，再接一级由运放 741 构成的多级放大器就可将毫伏级信号放大到需要的幅度，如  $0\sim 5\text{V}$ 。其放大倍数与  $R'_f/R'_1$  的比值成正比。741 的 1、4、5 端与  $R_{P2}$  构成调零电路。741 的输出送入多路开关及 A/D 转换电路。

## （二）多通道模拟信号输入技术

在单片机测量和控制系统中，经常需要有多路和多参数的采集和控制，如果每一路都单

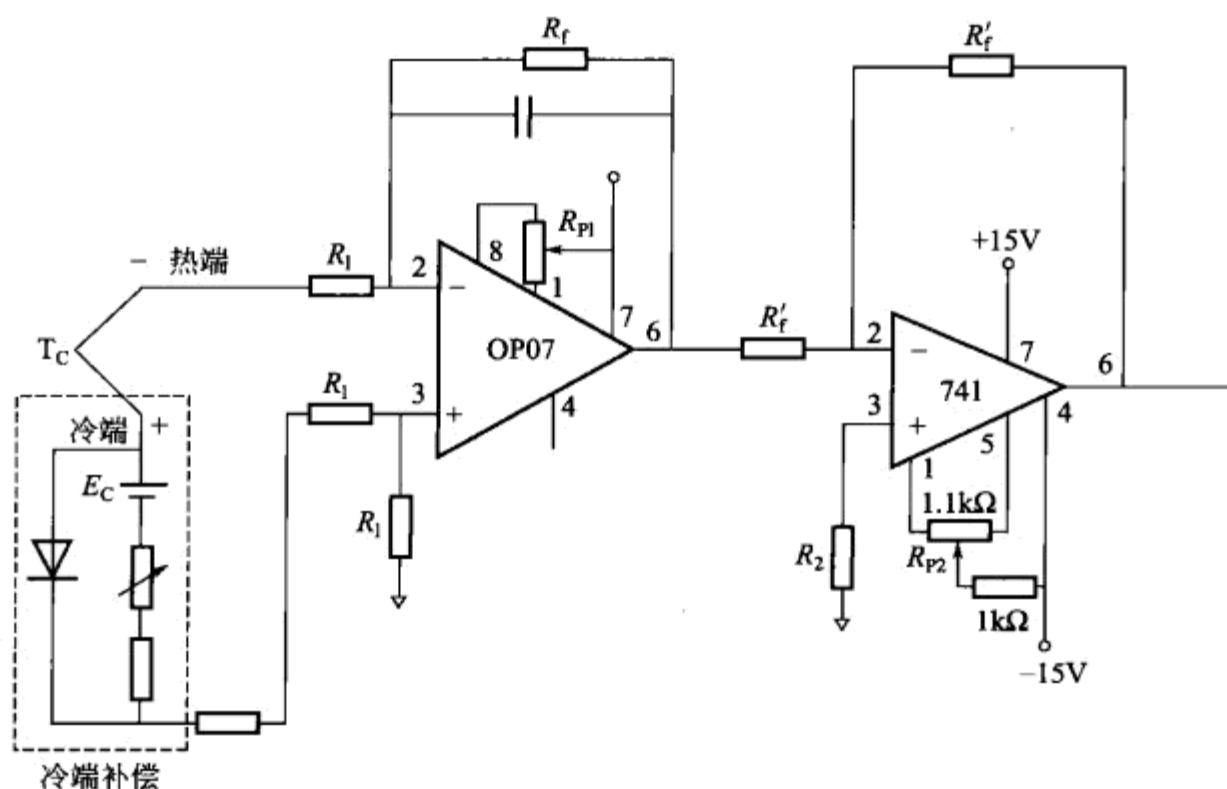


图 4-7 测高温放大电路

独采用各自的输入回路，即每一路都采用放大、采样/保持，A/D 等环节，不仅成本比单路成倍增加，而且会导致系统体积庞大，给系统的校准带来很大困难。因此，在多路和多参数采集和控制的场合，往往采用多路模拟开关来进行设计。

### 1. 常用模拟多路开关

表 4-1 所示是一些常用模拟多路开关芯片有关特性。

表 4-1 常用模拟多路开关芯片有关特性

| 芯 片    | 工作电源/V | 开通电阻/ $\Omega$ | 转换时间/ $\mu s$ |     | 性 能      |
|--------|--------|----------------|---------------|-----|----------|
|        |        |                | 合             | 闭   |          |
| CD4051 | 3.5~15 | 100            |               |     | 单端 8 通道  |
| CD4052 | 3.5~15 | 100            |               |     | 差动 4 通道  |
| CD4053 | 3.5~15 | 100            |               |     | 三端 2 通道  |
| CD4066 | 3.5~15 | 80             |               |     | 4 双向开关   |
| CD4067 | 3.5~15 | 80             |               |     | 单端 16 通道 |
| CD4097 | 3.5~15 | 80             |               |     | 差动 8 通道  |
| CD7501 | 7.5~15 | 170            | 0.8           | 0.8 | 单端 8 通道  |
| AD7502 | 7.5~15 | 170            | 0.8           | 0.8 | 差动 4 通道  |
| AD7503 | 7.5~15 |                |               |     | 单端 8 通道  |
| AD7506 | 7.5~15 | 300            | 0.8           | 0.8 | 单端 16 通道 |
| AD7507 | 7.5~15 | 300            | 0.8           | 0.8 | 差动 8 通道  |

单端多通道工作时，每次只选中多通道中一路与公共端接通，选通通道根据输入地址线编码获得，三、四线可分别选通 8 路和 16 路。

差动多通道工作时，每次同一时刻有两路被选通，分别与两路输出端接通。选通通道也根据输入地址线编码而得。

CD 系列芯片：INH 端为芯片选通端，低电平时，芯片模拟开关工作；高电平时，所有通道全部不通。A、B、C、D 为通道地址线，con 为输出端，IO<sub>0</sub>~IO<sub>15</sub> 为模拟通道线。

AD 系列芯片：EN 端为芯片选通端，除 AD7503 外的其他芯片 EN 端为高电平时模拟开关工作。AD7503 的 EN 端为低电平时，模拟开关工作，A<sub>0</sub>~A<sub>3</sub> 为通道地址线，OUT 为

输出端， $S_1 \sim S_{15}$  为模拟通道线。

2. 多路模拟开关应用举例

(1) 四种基本开关电路 利用 4 双向开关芯片 CD4066 可以组成单刀单掷、单刀双掷、双刀单掷和双刀双掷四种基本开关电路，如图 4-8 所示。

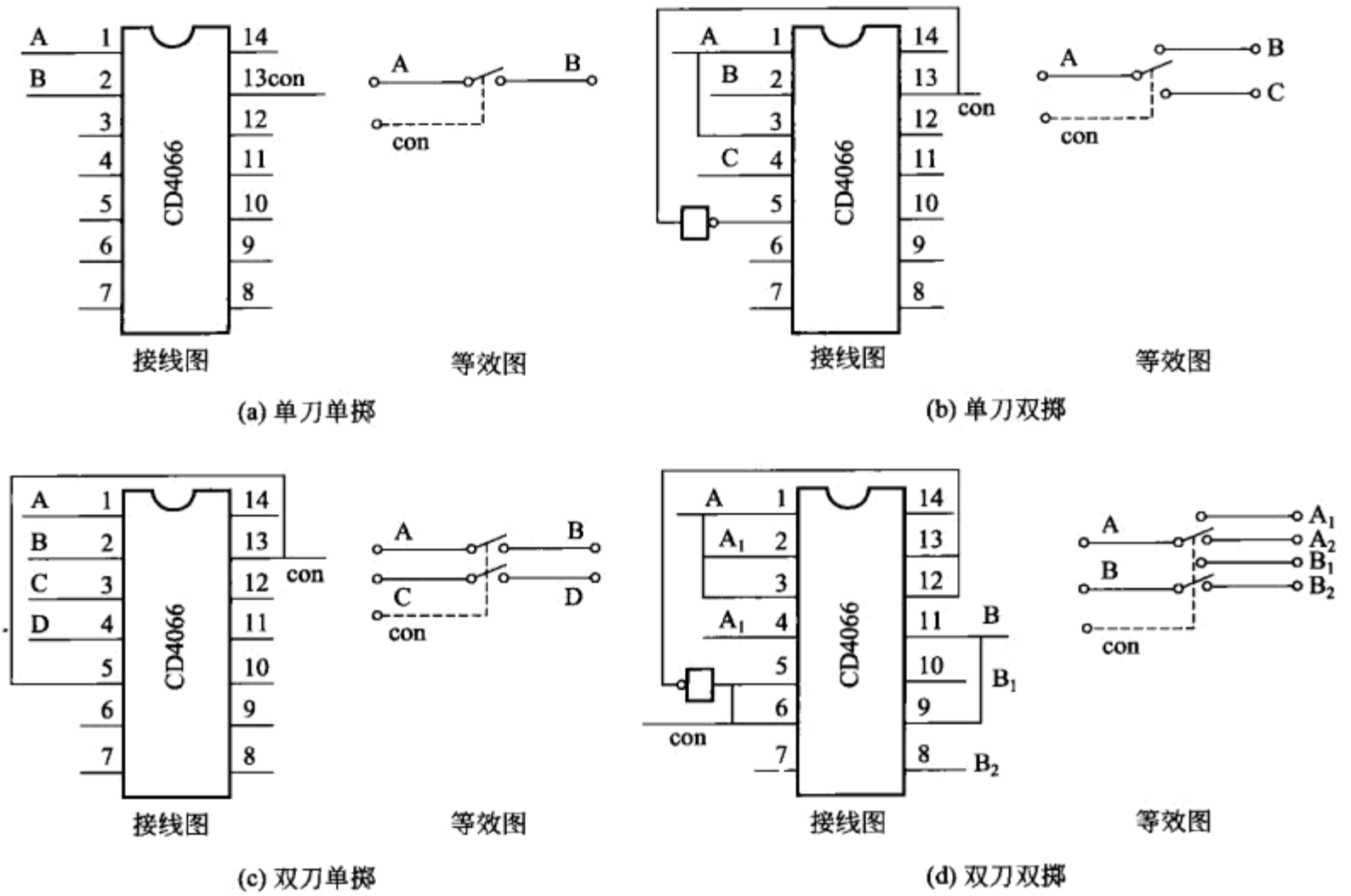


图 4-8 CD4066 组成的多种开关电路

(2) 多路模拟输入、单输出电路 图 4-9 所示为用 CD4051 分别组成 8 路和 16 路模拟输入单输出电路。这种电路用于具有公共端多模拟量的 A/D 转换。

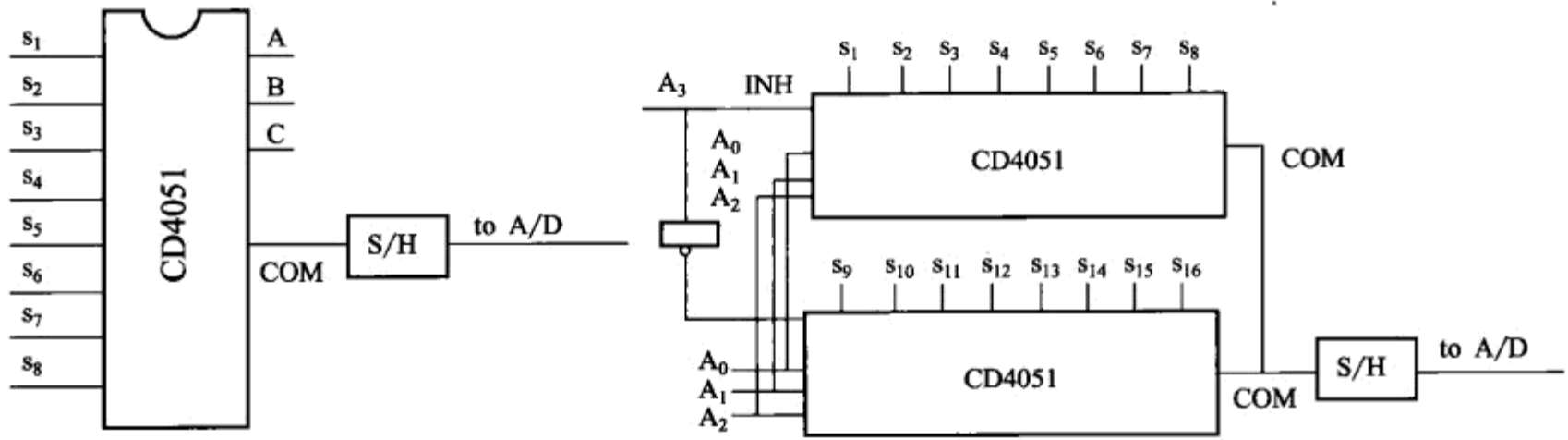


图 4-9 由 CD4051 组成 8 和 16 路选 1 输出电路

(3) 多路模拟输入、双输出电路 图 4-10 所示为用 AD7507 组成 8 路输入双输出差分式电路。这种电路适用于模拟量需相互独立隔开的 A/D 转换。

(三) 采样/保持电路设计

A/D 转换器从启动变换到变换结束需要一定时间，即 A/D 转换器的孔径时间。当输入信号频率较高时，对不带有采样/保持电路的 A/D 转换会造成较大的转换误差，这种情况要

外加一个采样/保持电路。图 4-11(a) 所示为采样/保持原理电路。当开关 K 闭合时， $U_i$  通过限流电阻向电容 C 充电，在电容值合适的情况下， $U_o$  随  $U_i$  的变化而变化；当 K 断开时，由于电容 C 储有电场能，此时输出  $U_o$  保持输入信号在 K 断开瞬时的电平值。电容 C 对采样/保持精度影响很大，过大则影响输出信号对输入信号的跟随特性，过小则引起保持信号电平的变化。所以一般在输入级和输出级均采用缓冲器，以增大输入阻抗和减小输出阻抗。如图 4-11(b) 所示。

图 4-11(c) 所示为由集成芯片 AD582 组成的采样/保持应用电路。由  $R_i$  和  $R_f$  组成增益调整电路，12 端控制电平为低时，处于采样状态，为高时处于保持状态。

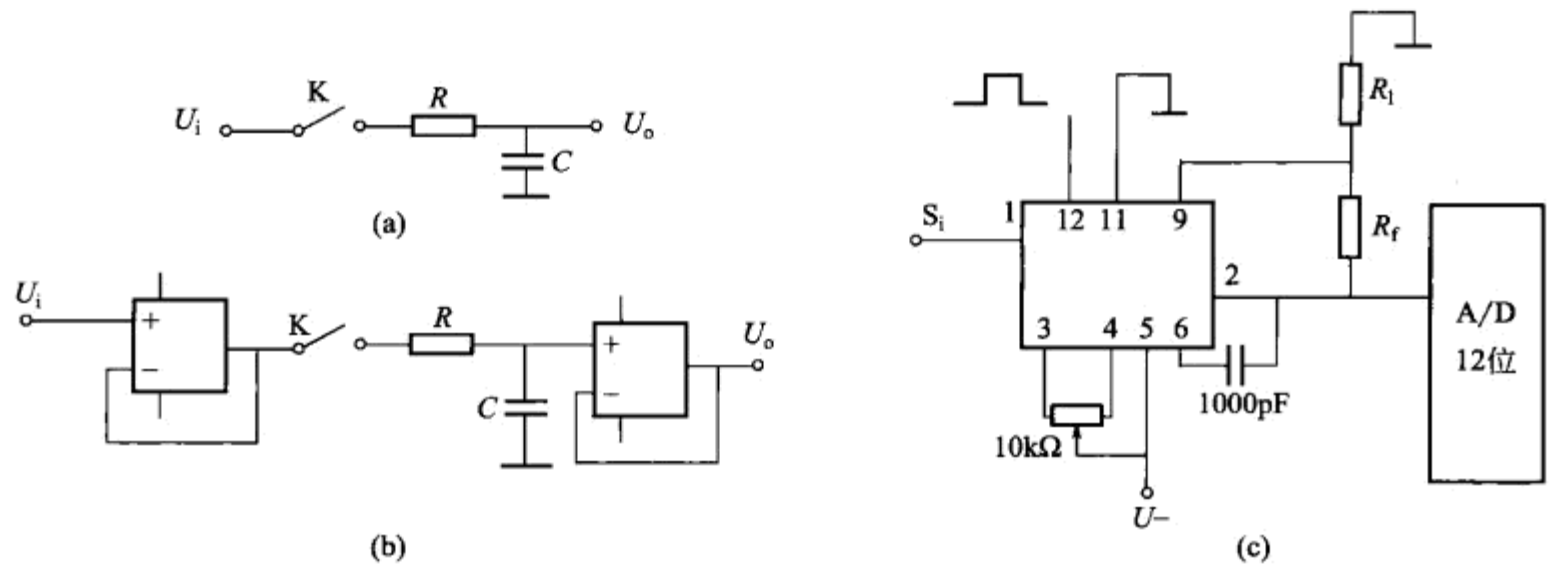


图 4-11 采样/保持器原理及 AD582 应用电路

### (四) 有源滤波器设计

滤波器的作用是选出有用的频率信号，抑制杂散的无用频率信号；使一定频率范围内的信号通过，而在此频率范围外的信号很大地衰减，从而提高系统的信噪比。通常称可以通过的频率范围为通带，不能通过的频率范围为阻带。通带与阻带的界限频率为截止频率，其频率特性用 Q 值来衡量，Q 值越高，即灵敏度越高，频率选择特性越好，通带越窄。滤波器有无源滤波器和有源滤波器两类，下面以有源滤波器为例介绍几种常用的滤波电路。

#### 1. 低通滤波器

图 4-12 所示为有限增益低通滤波器，其直流增益为

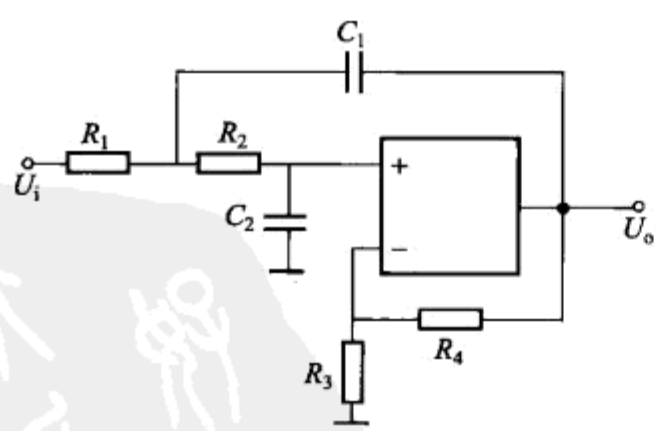


图 4-12 有限增益低通滤波器

$$H_0 = \frac{R_3 + R_4}{R_3}$$

高频截止角频率为

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

品质因素为

$$Q = \left( \sqrt{\frac{R_2 C_2}{C_1 R_1}} + \sqrt{\frac{R_1 C_2}{R_2 C_1}} - \frac{R_4}{R_2} \sqrt{\frac{R_1 C_1}{R_2 C_2}} \right)^{-1}$$

#### 2. 高通滤波器

图 4-13 所示为单端反馈二阶高通滤波器，高频

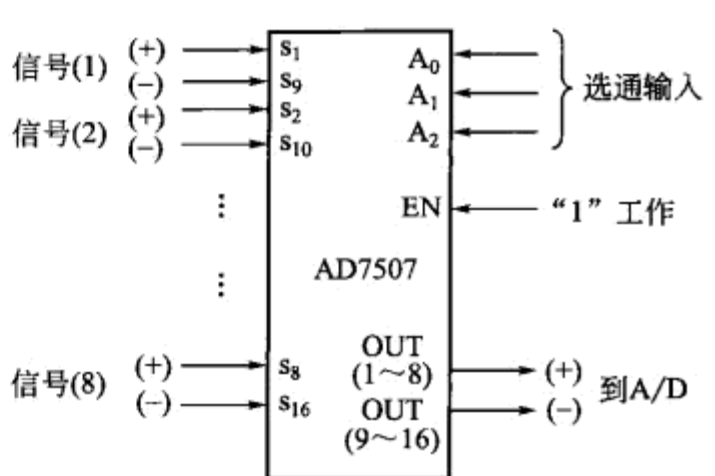


图 4-10 AD7507 组成 8 路差分输出

增益为

$$H_0 = 1 + R_4 / R_2$$

低频截止角频率为

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

品质因素为

$$Q = \left( \sqrt{\frac{R_2 C_2}{C_1 R_1}} + \sqrt{\frac{R_1 C_2}{R_2 C_1}} + \frac{R_1 C_1}{R_2 C_2} - K \sqrt{\frac{R_2 C_2}{R_1 C_1}} \right)^{-1}$$

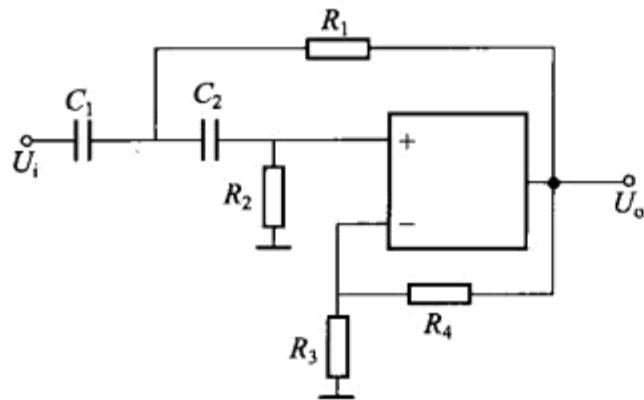


图 4-13 单端反馈二阶高通滤波器

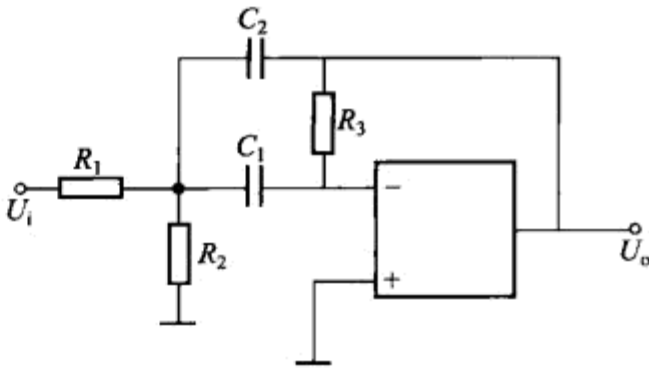


图 4-14 多重反馈有源带通滤波器

### 3. 带通滤波器

图 4-14 所示为多重反馈有源带通滤波器。其中心频率增益为

$$H_0 = \left[ \frac{R_1}{R_2} \left( 1 + \frac{C_2}{C_1} \right) \right]^{-1}$$

中心角频率为

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{R_1 R_3 C_1 C_2} + \frac{1}{R_2 R_3 C_1 C_2}}$$

品质因素为

$$Q = \sqrt{R_3 \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \left( \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} + \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \right)^{-1}}$$

设计中常取  $C_1 = C_2 = C$ ,  $R_1 \gg R_2$ , 则有

$$H_0 = \frac{R_2}{2R_1}$$

$$\omega_0 \approx \frac{1}{C} \sqrt{\frac{1}{R_2 R_3}}$$

$$Q \approx \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_3}{R_2}}$$

## 三、A/D 转换器接口技术

在单片机实时测控和智能化仪表等应用系统中，经常需要将检测到的连续变化的模拟量如温度、压力、流量、速度等转换成离散的数字量，才能输入单片机中进行处理。实现模拟量变换成数字量的设备称为模数转换器（ADC），即 A/D 转换器。

### （一）A/D 转换器的基本原理及主要技术指标

#### 1. A/D 转换器的基本原理及分类

根据 A/D 转换器的原理可将 A/D 转换器分成两大类：一类是直接型 A/D 转换器；另

一类是间接型 A/D 转换器。在直接型 A/D 转换器中，输入的模拟电压被直接转换成数字代码，不经过任何中间变量；在间接型 A/D 转换器中，首先把输入的模拟电压转换成某种中间变量（时间、频率和脉冲宽度等），然后再把这个中间变量转换为数字代码输出。A/D 转换器的分类如图 4-15 所示。

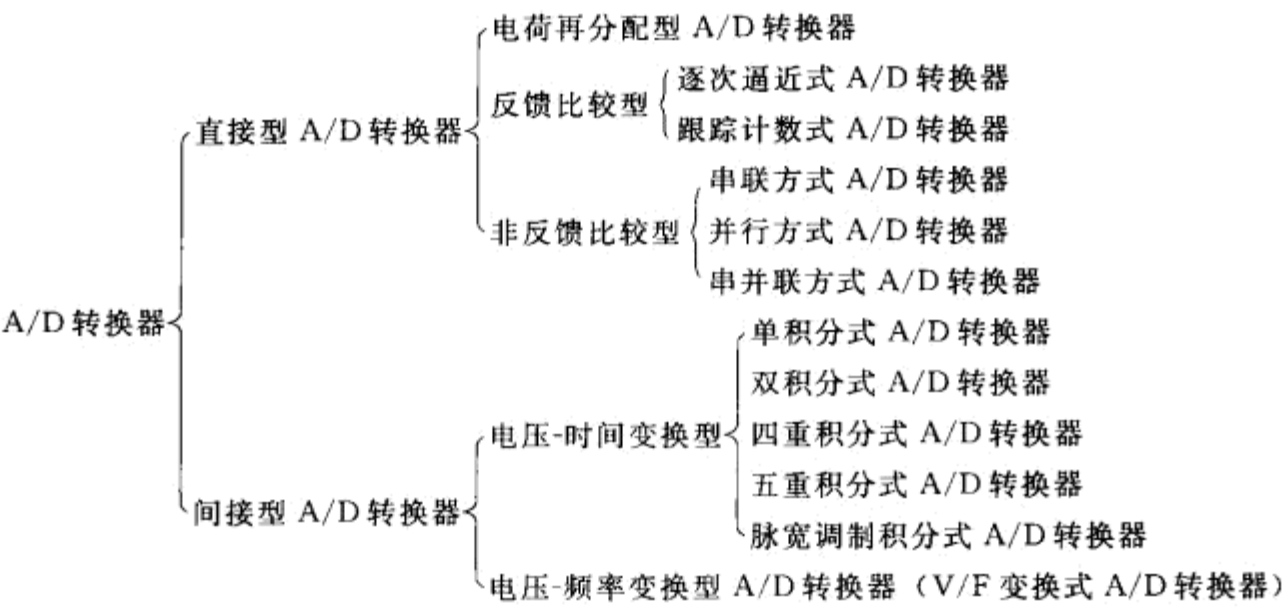


图 4-15 A/D 转换器分类

尽管 A/D 转换器的种类很多，但目前应用较广泛的主要有三种类型：逐次逼近式 A/D 转换器、双积分式 A/D 转换器和 V/F 变换式 A/D 转换器。下面简要介绍前两种 A/D 转换器的基本原理，有关 V/F 变换式 A/D 转换器将在后面章节专门介绍。

(1) 逐次逼近式 A/D 转换器原理 图4-16 是逐次逼近式 A/D 转换器的电路原理图。其主要原理是：将待转换的模拟输入信号  $U_{IN}$  与推测信号  $U_i$  相比较，根据推测信号大于还是小于输入信号来决定增大还是减少该推测信号，以便向模拟输入信号逼近。推测信号由 D/A 转换器的输出获得，当推测信号与模拟信号相等时，向 D/A 转换器输入的数字就是对应模拟输入量的数字量。

其“推测”值的算法如下：使二进制计数器（输出锁存器）中的每位从最高位起依次置 1，每接一位时，都要进行测试。若模拟输入信号  $U_{IN}$  小于推测信号  $U_i$ ，则比较器输出为零，并使该位清零；若模拟输入信号  $U_{IN}$  大于推测信号  $U_i$ ，比较器输出为 1，并使该位保持为 1。接着继续比较下一位，直到最末位为止。此时，D/A 转换器的数字输入即为对应模拟输入信号的数字量。将此数字量输出完成 A/D 转换过程。

(2) 双积分式 A/D 转换器原理 图 4-17 是双积分式 A/D 转换器工作原理框图。其原理如下：电路先对未知输入模拟电压  $U_{IN}$  进行固定时间的积分，然后转为对标准电压进行反向积分，直至积分输出返回起始值，则对标准电压积分的时间  $T$  正比于模拟输入电压  $U_{IN}$ ，如图 4-18 所示，输入电压越大，反向积分的时间越长。

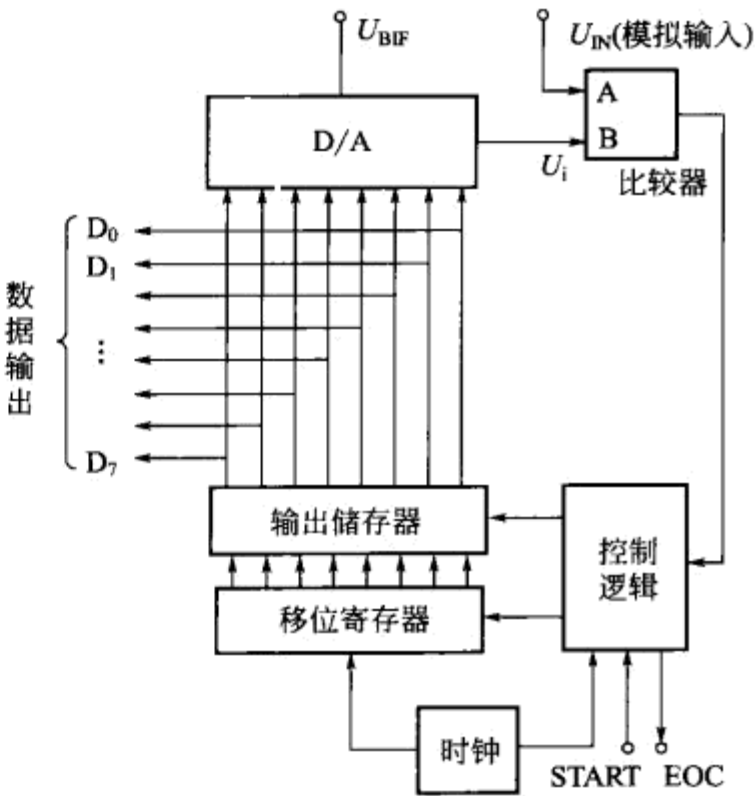


图 4-16 逐次逼近式 A/D 转换器电路原理

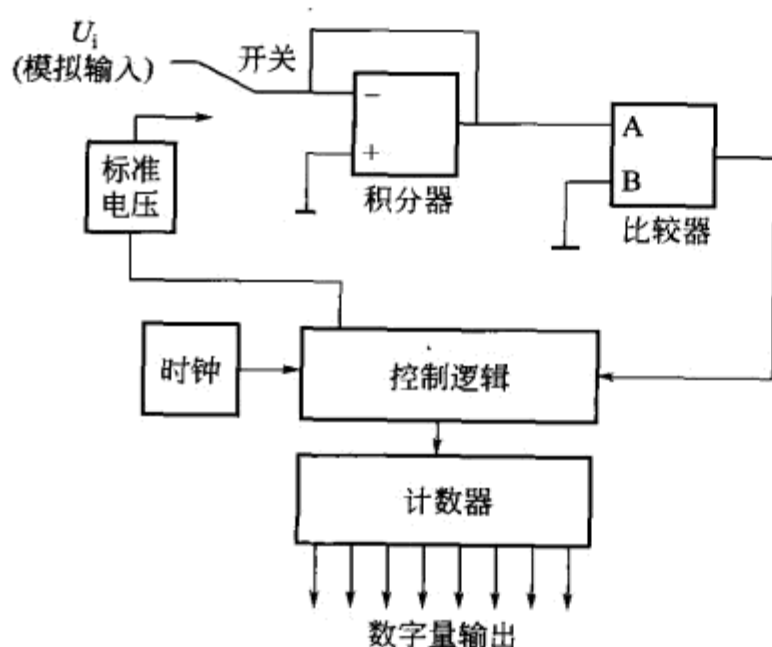


图 4-17 双积分式 A/D 转换器工作原理框图

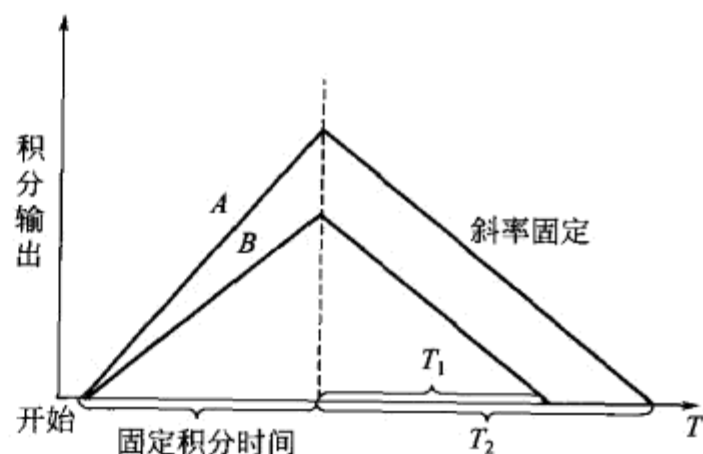


图 4-18 双积分式 A/D 转换器工作原理示意图

用高频率标准时钟脉冲来测量时间  $T$ ，即可以得到相应模拟电压的数字量。

## 2. A/D 转换器的主要技术指标

(1) 分辨率 (resolution) 对于 ADC 来说，分辨率表示输出数字量变化一个相邻数码所需输入模拟电压的变化量。

转换器的分辨率定义为满刻度电压与  $2^n$  的比值，其中  $n$  为 ADC 的位数。例如，具有 12 位分辨率的 ADC 能够分辨出满刻度的  $1/2^{12}$  或满刻度的 0.0244%。

(2) 量化误差 (quantizing error) 是由 ADC 的有限分辨率而引起的误差。图 4-19 和图 4-20 所示的都是 8 位 ADC 的转移特性曲线，在不计其他误差的情况下，一个分辨率有限的 ADC 的阶梯状转移特性曲线与具有无限分辨率的 ADC 转移特性曲线（直线）之间的最大偏差，称为量化误差。

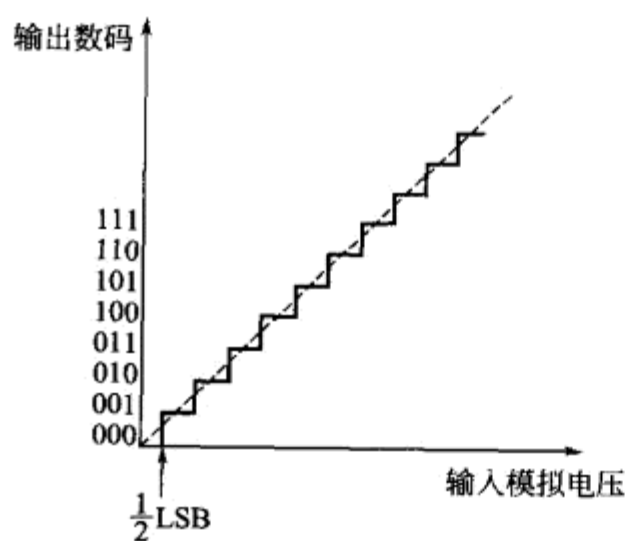


图 4-19 在零刻度有  $1/2\text{LSB}$  偏移的 ADC 转移特性曲线

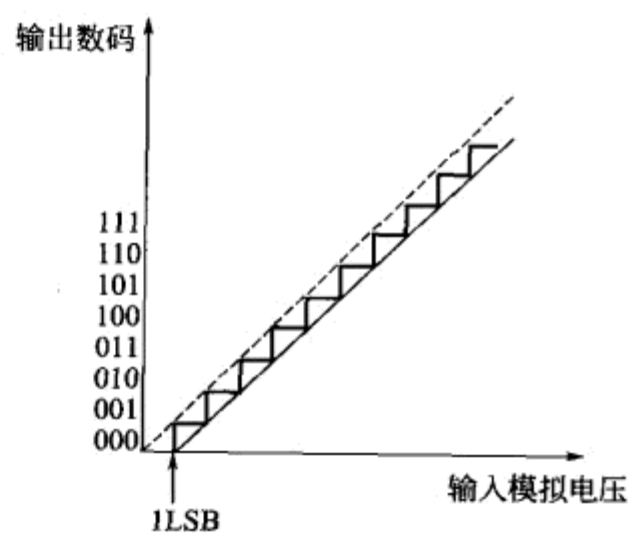


图 4-20 没有偏移的 ADC 转移特性曲线

对于图 4-19，由于在零刻度处适当地偏移了  $1/2\text{LSB}$ ，故量化误差为  $\pm 1/2\text{LSB}$ 。对于图 4-20，因为没有引入偏移量，故量化误差为  $\pm 1\text{LSB}$ 。分辨率高的 ADC 具有较小的量化误差。

(3) 偏移误差 (offset error) 是指输入信号为零时，输出信号不为零的值，有时又称为零值误差。偏移误差通常是由于放大器或比较器输入的偏移电压或电流引起的。

(4) 满刻度误差 (full scale error) 又称为增益误差 (gain error)。ADC 的满刻度误差是指满刻度输出数码所对应的实际输入电压与理想输入电压之差，一般满刻度误差的调节在

偏移误差调节后进行。

(5) 线性度 (linearity) 有时又称为非线性度 (non linearity), 它是指转换器实际的转移函数与理想直线的最大偏移, 典型值是  $\pm 1/2\text{LSB}$ 。

(6) 绝对精度 (absolute accuracy) 在转换器中, 任何数码所对应的实际模拟电压与其理想的电压值之差并非是一个常数, 这个差的最大值定义为绝对精度。

(7) 相对精度 (relative accuracy) 与绝对精度相似, 所不同的是把这个最大偏差表示为满刻度模拟电压的百分数, 或者用二进制分数来表示相对应的数字量。它通常不包括能被用户消除的刻度误差。

(8) 转换速率 (conversion rate) 能够重复进行数据转换的速度, 即每秒转换的次数。

### 3. A/D 转换器选择原则

① 根据前向通道的总误差, 选择 A/D 转换器精度及分辨率。系统提出的数据采集精度要求是综合精度要求, 它包括了传感器精度、信号调节电路精度和 A/D 转换精度。应将综合精度在各个环节上进行分配, 以确定对 A/D 转换器的精度要求, 并据此确定 A/D 转换器的位数。

② 根据信号对象的变化率和转换精度要求, 确定 A/D 转换速度, 以保证系统的实时性要求。对于快速信号要估计孔径误差以确定是否需要加采样/保持电路。因为对快速信号进行采集时, 为了保证有小的孔径误差常常要求有很高的转换速度, 这大大增加了 A/D 转换器的成本, 而且有时找不到高速的 A/D 转换芯片, 故对快速信号必须考虑采样/保持电路。

③ 根据环境条件选择 A/D 转换芯片的一些环境参数要求, 如工作温度、功耗、可靠性等级等性能。

④ 根据单片机接口特征, 考虑如何选择 A/D 转换器的输出状态。例如, A/D 转换器是并行输出还是串行输出; 是二进制码还是 BCD 码输出; 是用外部时钟、内部时钟还是不用时钟; 有无转换结束状态信号; 与 TTL、CMOS 及 ECL 电路的兼容性等输出功能。

⑤ 此外, 还要考虑成本、资源、是否是流行芯片等因素。

## (二) A/D 转换器接口技术

### 1. 常用 A/D 转换器简介

A/D 转换器按照输出代码的有效位数分为 4 位、6 位、8 位、10 位、12 位、14 位、16 位和 BCD 码输出的  $3\frac{1}{2}$ 、 $4\frac{1}{2}$  位、 $5\frac{1}{2}$  位等多种; 按照转换速度可以分为超高速 (转换时间  $\leq 1\text{ns}$ )、高速 (转换时间  $\leq 1\mu\text{s}$ )、中速 (转换时间  $\leq 1\text{ms}$ )、低速 (转换时间  $\leq 1\text{s}$ ) 等几种不同转换速度的芯片。为适应系统集成的需要, 有些转换器还将多路转换开关、时钟电路、基准电压源、二/十进制译码器和转换电路集成在一个芯片内, 构成数据采集系统和输入输出装置, 为用户使用提供了很多方便。表 4-2 给出了几种最常用 A/D 芯片的主要性能参数。

下面介绍几种最常用 A/D 转换器的结构、功能、应用特征及与 MCS-51 单片机的接口电路。

### 2. 8 路 8 位 A/D 转换器 ADC0808/0809 与单片机的接口设计

(1) ADC0808/0809 的引脚功能 ADC0808/0809 的内部结构如图 4-21 所示。片内带有锁存功能的 8 路模拟开关, 可对 8 路  $0\sim 5\text{V}$  的输入模拟电压信号分时进行转换, 片内具有多路开关的地址译码和锁存电路、比较器、 $256\text{R}$  电阻 T 型网络、树状电子开关、逐次逼近寄存器 SAR、控制与时序电路等。输出集成有 TTL 三态锁存缓冲器, 可以直接连到单片机数据总线上。

表 4-2 几种最常用 A/D 芯片的主要性能参数

| 芯片型号                                    | 分辨率                    | 转换时间                        | 转换误差                        | 模拟输入范围                           | 数字输出电平                             | 要或不要外部时钟 | 基准电压                                                              | 工作电压 (U <sub>CC</sub> ) | 说明         |
|-----------------------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------|
| ADC0801<br>ADC0802/0803<br>ADC0804/0805 | 8 位                    | 100μs                       | ±1/4LSB<br>±1/2LSB<br>±1LSB | 一般为<br>0~+5V                     | TTL 电平                             | 可以不要     | 可不外接或 U <sub>REF</sub> 为 1/2 量程值                                  | 单电源 +5V                 | 逐次逼近       |
| ADC0808<br>ADC0809                      | 8 位                    | 典型值<br>100μs                | ±1/2LSB<br>±1LSB            | 0~+5V<br>8 通道输入                  | TTL 电平                             | 要        | U <sub>REF(+)</sub> ≤ U <sub>CC</sub><br>U <sub>REF(-)</sub> ≥ 0V | 单电源 +5V                 | 逐次逼近       |
| ADC0816<br>ADC0817                      | 8 位                    | 典型值<br>100μs                | ±1/2LSB<br>±1LSB            | 0~+5V<br>16 通道输入                 | TTL 电平                             | 要        | U <sub>REF(+)</sub> ≤ U <sub>CC</sub><br>U <sub>REF(-)</sub> ≥ 0V | 单电源 +5V                 | 逐次逼近       |
| AD570<br>AD571                          | 8 位<br>10 位            | 25μs                        | ±1/2LSB<br>±1LSB            | 0~10V<br>±5V                     | TTL 电平                             | 不要       | 不需外供                                                              | +5V(+15V) 和 -15V        | 逐次逼近       |
| ADC1210<br>ADC1211                      | 12 位<br>或 10 位         | 30μs (10 位)<br>100μs (12 位) | ±3/4LSB<br>±2LSB            | 0~+5V<br>0~+5V<br>±5V            | CMOS 电平<br>(由 U <sub>REF</sub> 决定) | 要        | +5~+15V                                                           | +5~+15V                 | 逐次逼近       |
| AD574A<br>AD674A<br>AD1674              | 12 位<br>或 8 位          | 25μs<br>15μs<br>10μs        | ≤±1LSB<br>≤±1LSB<br>≤±1LSB  | 0~+10V<br>0~+20V<br>±5V, ±10V    | TTL 电平                             | 不要       | 不要                                                                | 15V(±12V) 和 +5V         | 逐次逼近       |
| AD578                                   | 12 位、<br>10 位<br>或 8 位 | 3μs                         | ≤±3/4LSB                    | 0~+10V<br>0~+20V<br>±5V, ±10V    | TTL 电平                             | 不要       | 不要                                                                | +5V 和 ±15V              | 逐次逼近<br>高速 |
| AD678<br>AD1678                         | 12 位                   | 5μs                         | ≤±1LSB                      | 0~+10V<br>±5V                    | TTL 电平                             | 不要       | 不要                                                                | +5V 和 ±12V              | 带采样器       |
| AD679<br>AD1679                         | 14 位                   | 10μs                        | ≤±2LSB                      | 0~+10V<br>±5V                    | TTL 电平                             | 不要       | 不要                                                                | +5V 和 ±12V              | 带采样器       |
| ADC1143                                 | 16 位                   | ≤100μs                      | ≤±0.06%                     | +5V, +10V,<br>+20V, ±5V,<br>±10V | TTL 电平                             | 不要       | 不要                                                                | +5V 和 ±15V              |            |
| 5G14433                                 | 3½ 位<br>(BCD 码)        | ≥100ms                      | ±1LSB                       | ±0.2V,<br>±2V                    | TTL 电平                             | 可以不要     | 200mV<br>2V                                                       | ±5V                     | 双积分        |
| ICL7135                                 | 4½ 位<br>(BCD 码)        | 100ms<br>左右                 | ±1LSB                       | -2~+2V                           | TTL 电平                             | 要        | U <sub>REF</sub> 为 1/2 量程值                                        | ±5V                     | 双积分        |
| ICL7109                                 | 12 位                   | ≥300ms                      | ±2LSB                       | -4~+4V                           | TTL 电平                             | 可以不要     | U <sub>REF</sub> 为 1/2 量程值                                        | ±5V                     | 双积分        |
| ICL7104                                 | 16 位                   | 250ms                       | ≤±1LSB                      | ±4V                              | TTL 电平                             | 可以不要     | U <sub>REF</sub> 为 1/2 量程值                                        | +5V 和 ±15V              | 积分型        |
| AD7555                                  | 5½ 或<br>4½ 位           | 1.76s<br>0.61s              | ±1 或<br>±10                 | ±2V                              | TTL 电平                             | 要        | U <sub>REF</sub> = 4.096V                                         | ±5V                     | 4 斜率积分、兼容  |

ADC0808/0809 的芯片引脚如图 4-22 所示。引脚功能介绍如下。

IN<sub>0</sub>~IN<sub>7</sub>: 8 路输入通道的模拟量输入端口。

2<sup>-1</sup>~2<sup>-8</sup>: 8 位数字量输出端口。

START、ALE: START 为启动控制输入端口, ALE 为地址锁存控制信号端口。这两个信号端可连接在一起, 当通过软件输入一个正脉冲, 便立即启动模/数转换。

EOC、OE: EOC 为转换结束信号脉冲输出端口, OE 为输出允许控制端口。OE 端的电平由低变高, 打开三态输出锁存器, 将转换得到的结果输出到数据总线上。

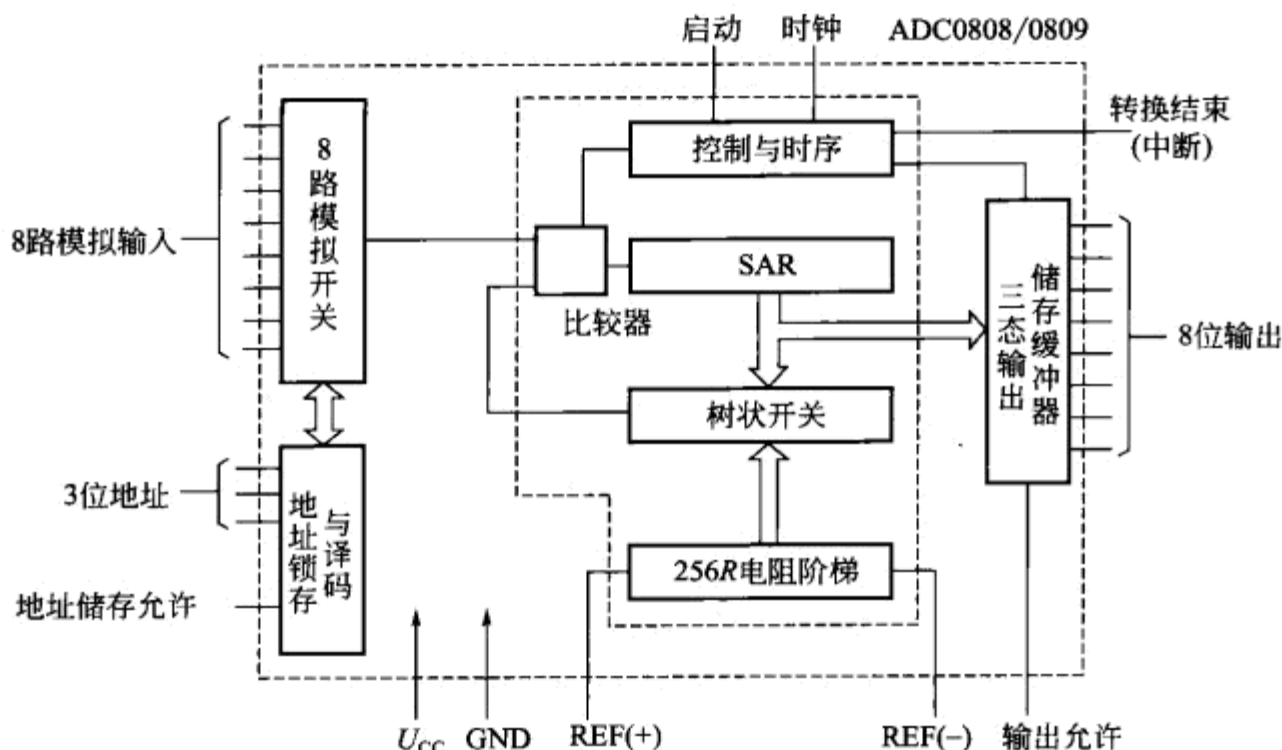


图 4-21 ADC0808/0809 的内部结构

REF (+)、REF (-)、 $U_{CC}$ 、GND: REF (+) 和 REF (-) 为参考电压输入端， $U_{CC}$ 为主电源输入端，GND 为接地端。

CLK: 时钟输入端。

ADDA、ADDB、ADDC: 8 路模拟开关的三位地址选通输入端，以选择对应的输入通道。CBA 取值从000~111 分别对应输入通道  $IN_0 \sim IN_7$ 。

(2) ADC0808/0809 与 8031 单片机的接口设计

① 查询方式。ADC0808/0809 与 8031 单片机的硬件接口如图 4-23 所示。

ADC0808/0809 的时钟由 8031 ALE 信号经 D 触发器二分频后获得，其 8 位数据输出引脚直接与数据总线相连。地址译码线引脚 A、B、C 分别与地址总线的低三位  $A_0$ 、 $A_1$ 、 $A_2$  相连，以选通  $IN_0 \sim IN_7$  中的一个通道。将  $P_{2.7}$  (地址总线最高位  $A_{15}$ ) 作为片选信号，在启动 A/D 转换时，由单片机的写信号  $\overline{WR}$  和  $P_{2.7}$  控制 ADC 的地址锁存和转换启动。因为 ALE 和 START 连在一起，所以 ADC0808/0809 在锁存通道地址的同时也启动转换。在读取转换结果时，用单片机的读信号  $\overline{RD}$  和  $P_{2.7}$  引脚经一级或非门后，产生的正脉冲作为 OE 信号，用以打开三态输出锁存器。由图 4-23 可知， $ALE = START = \overline{WR} + P_{2.7}$ 、 $OE = \overline{RD} + P_{2.7}$ ，可见  $P_{2.7}$  应置为低电平。

由以上分析可知：编写软件时，应令  $P_{2.7} = A_{15} = 0$ ； $A_0$ 、 $A_1$ 、 $A_2$  给出被选择模拟通道的地址；执行一条输出指令，启动 A/D 转换；执行一条输入指令，读取 A/D 转换结果（程序略）。

② 中断方式。ADC0808/0809 与 8031 单片机的硬件接口如图 4-24 所示。

图 4-24 中将 ADC0808/0809 作为一个外部扩展的并行 I/O 口，直接由 8031 的  $P_{2.0}$  和  $\overline{WR}$  脉冲进行启动，其端口地址为 FEFH。用中断方式读取转换结果的数字量，模拟量输入通路选择端 A、B、C 分别与 8031 的  $P_{0.0}$ 、 $P_{0.1}$ 、 $P_{0.2}$  直接相连，CLK 由 8031 的 ALE 提

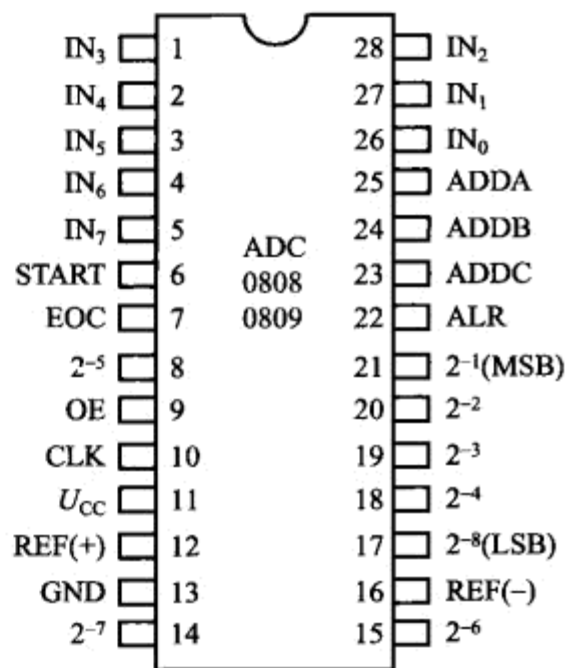


图 4-22 ADC0808/0809 的引脚

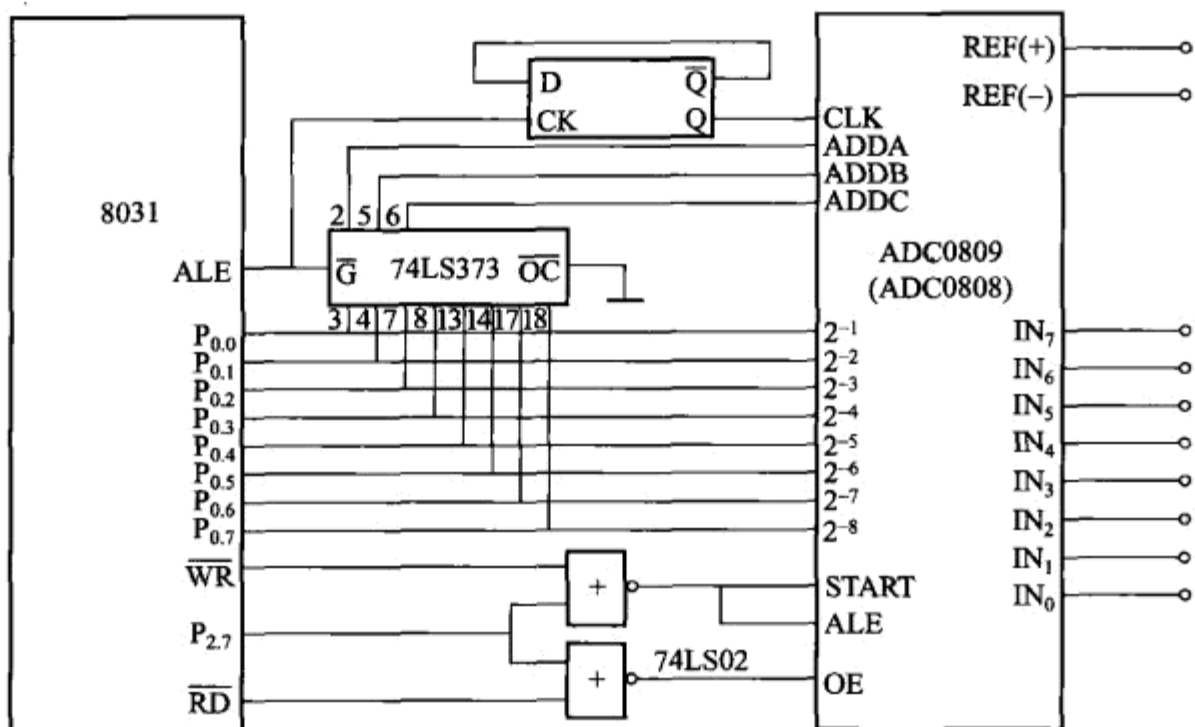


图 4-23 ADC0808/0809 通过查询方式与 8031 单片机的硬件接口

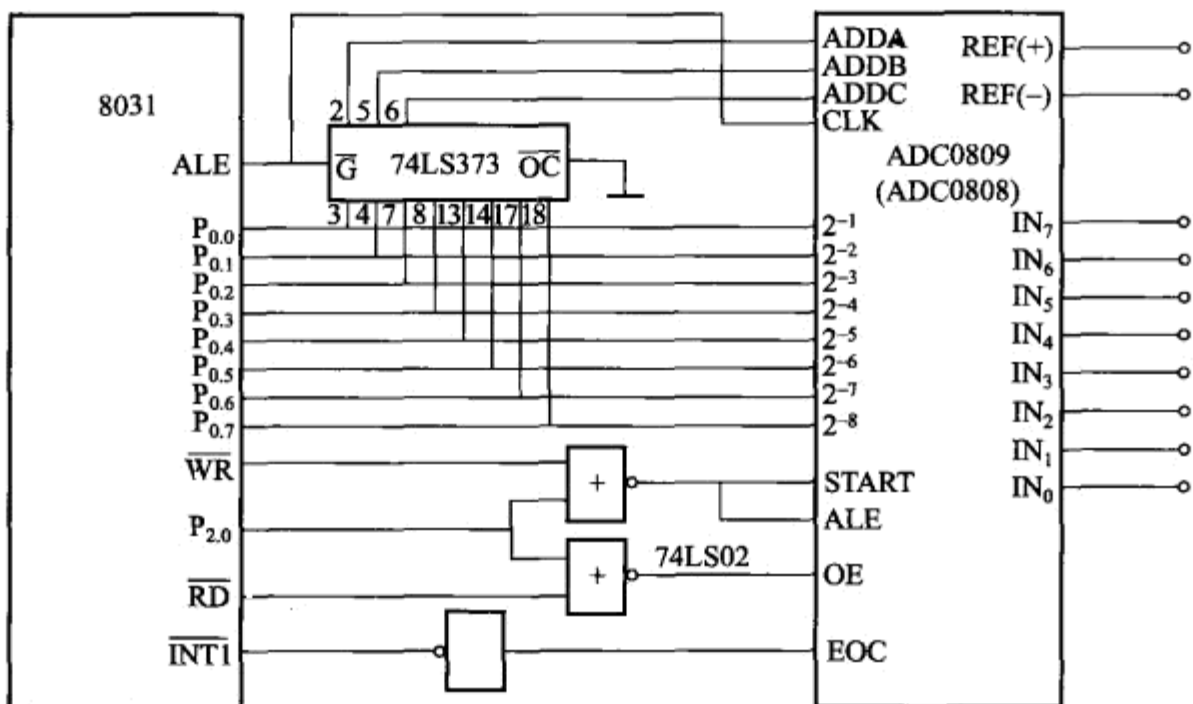


图 4-24 ADC0808/0809 通过中断方式与 8031 单片机的硬件接口

供（程序略）。

### 3. 3 位半双积分 A/D 转换器 5G14433 与单片机的接口设计

5G14433 是国产的 3 位半 A/D 转换器，是目前比较流行的典型的双积分 A/D 转换器。5G14433 具有抗干扰性能好，转换精度高（相当于 11 位二进制数），自动校零，自动极性输出，自动量程控制信号输出，动态字位扫描 BCD 码输出，单基准电压，外接元件少，价格低廉等特点。但其转换速度慢，约 1~10 次/s。在不要求高速转换的场合，如温度控制系统中，被广泛采用。5G14433 的国外原型产品是美国 Motorola 公司的 MC14433，两者可以互换使用。

(1) 5G14433 的内部结构及引脚功能 5G14433 的内部结构框图如图 4-25 所示。

模拟电路部分有基准电压和模拟电压输入部分。被转换的模拟电压输入量程为 199.9mV 或 1.999V 两种，与之对应的基准电压为 +200mV 或 +2V。

数字电路部分由逻辑控制、BCD 码及输出锁存器、多路开关、时钟以及极性判别、溢出检测等电路组成。5G14433 采用字位动态扫描 BCD 码输出方式，即千、百、十、个位

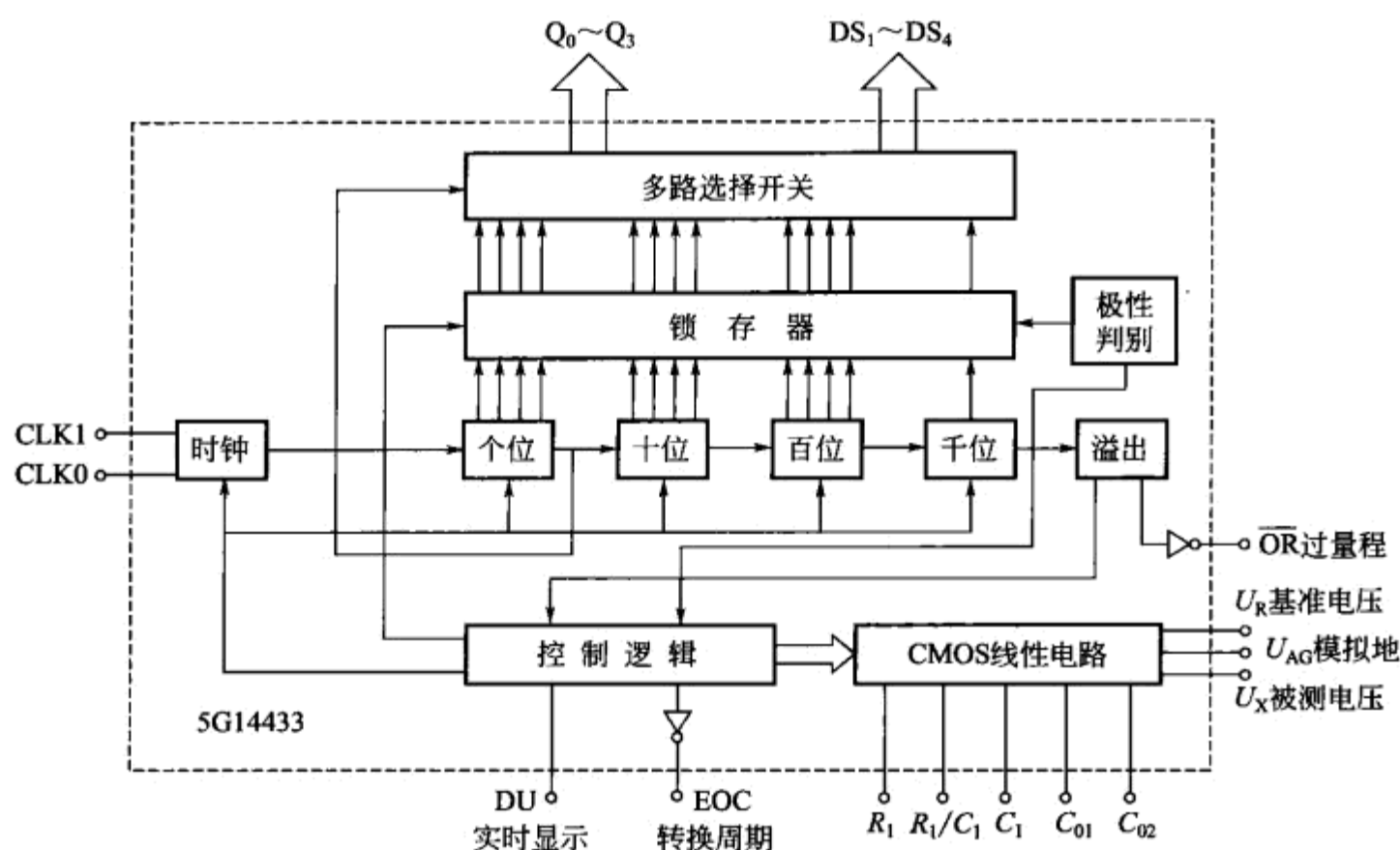


图 4-25 5G14433 内部结构框图

BCD 码轮流地在  $Q_0 \sim Q_3$  端输出，同时在  $DS_1 \sim DS_4$  端出现同步字位选通信号。

主要外接器件包括时钟振荡器外接电阻  $R_c$ 、外接失调补偿电容  $C_0$  和外接积分阻容元件  $R_1$ 、 $C_1$ 。

5G14433 芯片的引脚分布如图 4-26 所示。各引脚功能如下。

$U_{AG}$  (引脚 1)：被测电压  $U_X$  和基准电压  $U_R$  的接地端 (模拟地)。

$U_R$  (引脚 2)：外接输入基准电压 (+2V 或 +200mV)。

$U_X$  (引脚 3)：被测电压输入端。

$R_1$ 、 $R_1/C_1$ 、 $C_1$  (引脚 4、5、6)：外接积分电阻  $R_1$  和积分电容  $C_1$  元件端。外接元件典型值：当量程为 2V 时， $C_1 = 0.1\mu F$ ， $R_1 = 470k\Omega$ ；当量程为 200mV 时， $C_1 = 0.1\mu F$ ， $R_1 = 27k\Omega$ 。

$C_{01}$ 、 $C_{02}$  (引脚 7、8)：外接失调补偿电容  $C_0$  端， $C_0$  的典型值为  $0.1\mu F$ 。

DU (引脚 9)：更新输出的 A/D 转换数据结果的输入端。当 DU 与 EOC (引脚 14) 连接时，每次的 A/D 转换结果都被更新。

CLK1 和 CLK0 (引脚 10、11)：时钟振荡器外接电阻  $R_c$  端。 $R_c$  的典型值为  $470k\Omega$ ，时钟频率随  $R_c$  增加而下降。

$U_{EE}$  (引脚 12)：模拟部分的负电源端，接 -5V。

$U_{SS}$  (引脚 13)：除 CLK0 端外所有输出端的低电平基准 (数字地)。当  $U_{SS}$  接  $U_{AG}$  (模拟地、数字地相连) 时，输出电压幅度为  $U_{AG} \sim U_{DD}$  (0 ~ +5V)；当  $U_{SS}$  接  $U_{EE}$  (-5V) 时，输出电压幅度为  $U_{EE} \sim U_{DD}$  (-5 ~ +5V)，10V 的幅值。实际应用时经常把  $U_{SS}$  和  $U_{AG}$  连接，即模拟地和数字地相连。

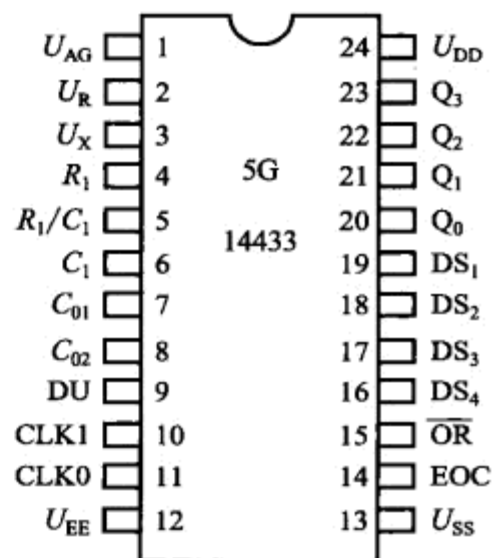


图 4-26 5G14433 芯片引脚分布

EOC (引脚 14)：转换周期结束标志输出。每当一个 A/D 转换周期结束，EOC 端输出一个宽度为时钟周期 1/2 宽度的正脉冲。

$\overline{\text{OR}}$  (引脚 15)：过量程标志输出，平时为高电平。当  $|U_x| > U_R$  时（被测电平输入绝对值大于基准电压）， $\overline{\text{OR}}$ 端输出低电平。

$\text{DS}_1 \sim \text{DS}_4$  (引脚 19~16)：多路选通脉冲输出端。 $\text{DS}_1$  对应千位， $\text{DS}_4$  对应个位。每个选通脉冲宽度为 18 个时钟周期，两个相邻脉冲之间间隔 2 个时钟周期。

$\text{Q}_0 \sim \text{Q}_3$  (引脚 20~23)：BCD 码数据输出线。其中  $\text{Q}_0$  为最低位， $\text{Q}_3$  为最高位。在  $\text{DS}_2$ 、 $\text{DS}_3$  和  $\text{DS}_4$  选通期间，输出三位完整的 BCD 码，即 0~9 十个数字任一个都可。但在  $\text{DS}_1$  选通期间，数据输出线  $\text{Q}_0 \sim \text{Q}_3$  除了表示千位的 0 或 1 外，还表示转换值的正负极性和欠量程还是过量程，其含义见表 4-3。

表 4-3  $\text{DS}_1$  选通时  $\text{Q}_3 \sim \text{Q}_0$  表示的输出结果

| $\text{DS}_1$ | $\text{Q}_3$ | $\text{Q}_2$ | $\text{Q}_1$ | $\text{Q}_0$ | 输出结果状态  |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|
| 1             | 1            | ×            | ×            | 0            | 千位数为 0  |
| 1             | 0            | ×            | ×            | 0            | 千位数为 1  |
| 1             | ×            | 1            | ×            | 0            | 输出结果为正值 |
| 1             | ×            | 0            | ×            | 0            | 输出结果为负值 |
| 1             | 0            | ×            | ×            | 1            | 输入信号过量程 |
| 1             | 1            | ×            | ×            | 1            | 输入信号欠量程 |

由表 4-3 可知如下结论。

- ①  $\text{Q}_0 = \text{“1”}$  表示被测电压在量程外（超量程），可用于仪表自动量程切换。当  $\text{Q}_3 = \text{“0”}$  时，表示过量程；当  $\text{Q}_3 = \text{“1”}$  时，表示欠量程。
- ②  $\text{Q}_2$  表示被测电压的极性。 $\text{Q}_2 = \text{“1”}$  表示正极性， $\text{Q}_2 = \text{“0”}$  表示负极性。
- ③  $\text{Q}_3$  表示千位（1/2 位）数的内容。 $\text{Q}_3 = \text{“0”}$ （低电平）时，千位数为 1； $\text{Q}_3 = \text{“1”}$ （高电平）时，千位数为 0。

$U_{\text{DD}}$  (引脚 24)：正电源端，接 +5V。

(2) 5G14433 的外部电路连接与元件参数选择 尽管 5G14433 需外接的元件很少，但为了使其工作在最佳状态，也必须注意外部电路的连接和外接元器件的选择。5G14433 的转换误差为  $\pm 1\text{LSB}$ ，输入阻抗大于  $100\text{M}\Omega$ ，模拟输入电压范围为  $0 \sim \pm 1.999\text{V}$  或  $0 \sim \pm 199.0\text{mV}$ ；

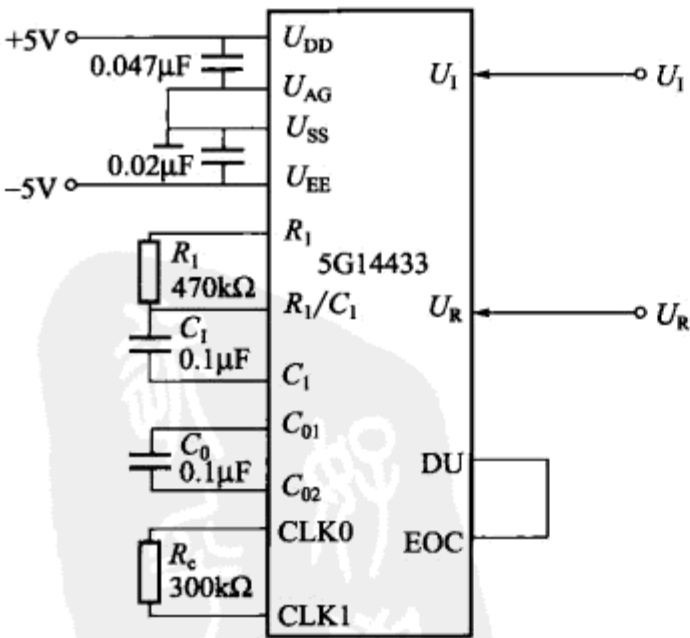


图 4-27 5G14433 外部电路连接

片内提供时钟发生器，使用时只需外接一个电阻；也可采用外部输入时钟或外接晶体振荡电路。片内的输出锁存器用来存放 A/D 转换结果，经多路开关输出多路选通脉冲信号  $\text{DS}_1 \sim \text{DS}_4$  及 BCD 码数据  $\text{Q}_0 \sim \text{Q}_3$ 。典型的 5G14433 外部电路连接方法如图 4-27 所示。

- ① 电源接法。芯片工作电源为  $\pm 5\text{V}$ ，正电源接  $U_{\text{DD}}$ ，模拟部分负电源端接  $U_{\text{EE}}$ ，模拟地  $U_{\text{AG}}$  与数字地  $U_{\text{SS}}$  相连为公共接地端。为了提高电源的抗干扰能力，正、负电源分别通过去耦电容

0.047 $\mu$ F、0.02 $\mu$ F 与  $U_{SS}$  ( $U_{AG}$ ) 端相连。

② 基准电压输入的连接。基准电压需外接，可由 5G1403 通过分压提供 +2V 或 +200mV 的基准电压，接法如图 4-28(a) 所示。在一些精度要求不高的小型智能化仪表中，由于 +5V 电源是经过三端稳压器稳压的，工作环境又比较好，基准电压可以通过电位器对 +5V 电源直接分压得到，如图 4-28(b) 所示。

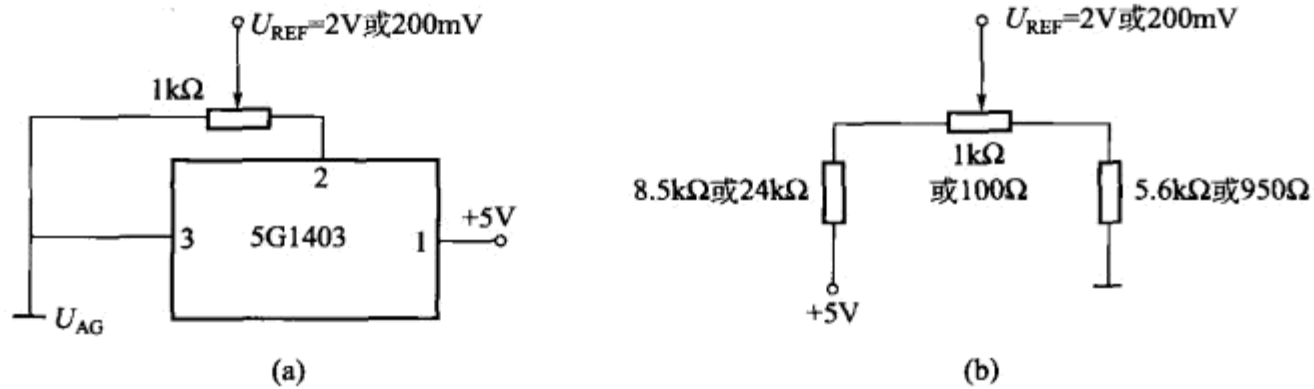


图 4-28 5G14433 基准电压源的外部连接

③ 外接元件参数的选定。积分电阻  $R_1$  和积分电容  $C_1$  的选取公式如下：

$$R_1 = \frac{U_{x\max}}{C_1} \times \frac{T}{\Delta U}$$

式中  $U_{x\max}$ ——输入电压量程；

$T$ ——常数， $T = 4000 \times \frac{1}{f_{CLK}}$ ；

$\Delta U$ ——积分器电容上的充电电压幅值。

$$\Delta U = U_{DD} - U_{x\max} - 0.5V$$

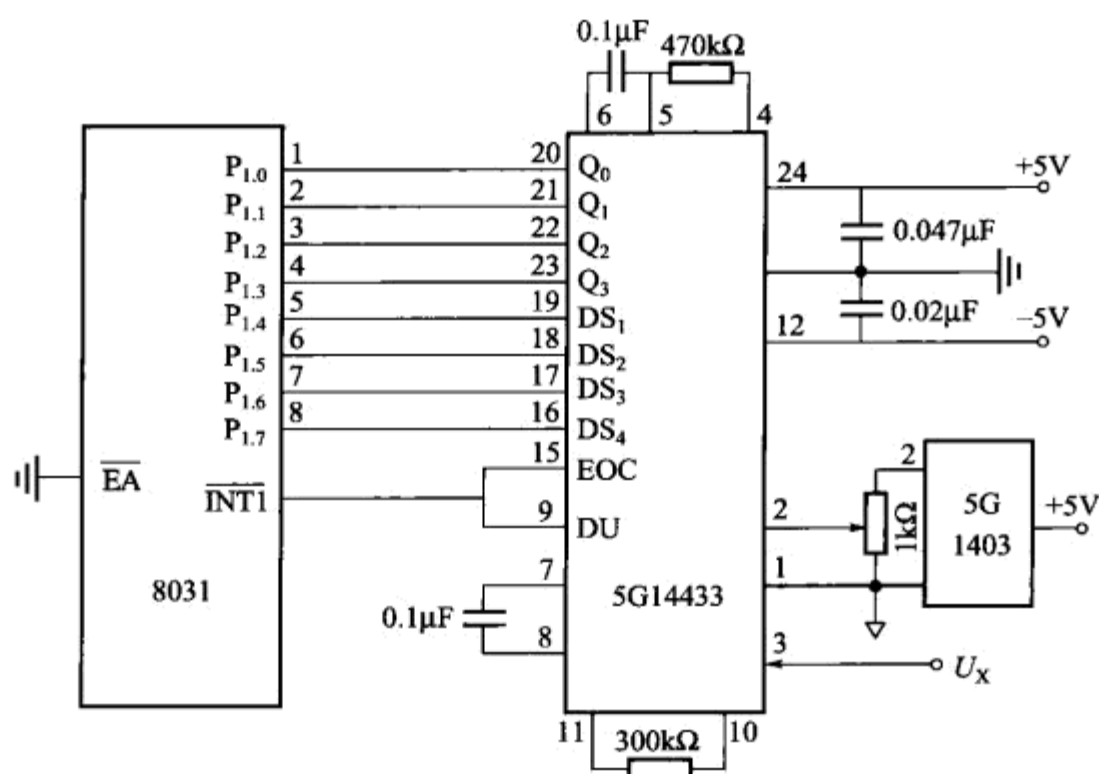
例如，当  $C_1 = 0.1\mu F$ ， $U_{DD} = 5V$ ， $f_{CLK} = 66kHz$  时，若  $U_{x\max} = +2V$ ，则  $R_1 = 480k\Omega$  (选 470k $\Omega$ )；若  $U_{x\max} = +200mV$ ，则  $R_1 = 28k\Omega$  (选 27k $\Omega$ )。

外接失调补偿电容固定为 0.1 $\mu$ F。外接时钟电阻  $R_c$ ，当  $R_c = 470k\Omega$  时， $f_{CLK} \approx 66kHz$ ；当  $R_c = 200k\Omega$  时  $f_{CLK} \approx 140kHz$ ，一般取  $R_c = 300k\Omega$ 。

④ DU 端和 EOC 端短接。因为 EOC 端每次 A/D 转换结束时，该端都输出一个 1/2 时钟周期宽度的脉冲；而当给 DU 端输入一正脉冲时，当前 A/D 转换周期的转换结果将被送入输出锁存器，经多路开关输出，否则将输出锁存器中原来的转换结果。所以，EOC 与 DU 短接，是将每次 A/D 转换的结果都输出。

(3) 5G14433 与 8031 单片机的接口设计 由于 5G14433 的 A/D 转换结果是动态分时输出的 BCD 码， $Q_0 \sim Q_3$  和  $DS_1 \sim DS_4$  都不是总线式的，所以单片机只能通过并行 I/O 接口或扩展 I/O 接口与其相连。对于 8031 单片机的应用系统来说，5G14433 可以直接与其  $P_1$  口或扩展 I/O 口 8155/8255 相连。下面介绍一种 5G14433 与 8031 单片机  $P_1$  口直接连接的硬件接口，接口电路如图 4-29 所示。

图 4-29 中 5G1403 集成精密 +2.5V 电压基准源经电位器分压后作为 A/D 转换用基准电压。DU 端与 EOC 端相连，选择连续转换方式，每次转换结果都送至输出寄存器。EOC 是 A/D 转换结束的输出标志信号。8031 读取 A/D 转换结果可以采用中断方式或查询方式。采用中断方式时，EOC 端与 8031 外部中断输入端  $\overline{INT0}$  或  $\overline{INT1}$  相连。采用查询方式时 EOC 端可接入 8031 任一 I/O 口或扩展 I/O 口。图 4-29 中采用中断方式 (接  $\overline{INT1}$ )。5G14433 所有外部连接器件按规定要求连接。



根据图 4-29 的接口电路, 将 A/D 转换结果由 8031 控制采集后送入片内 RAM 中的 2EH、2FH 单元, 并给定数据存放格式为

5G14433 上电后, 开始对外部模拟输入电压信号进行 A/D 转换, 由于 EOC 与 DU 端相连, 每次转换完毕都有相应的 BCD 码及相应的选通信号出现在  $Q_0 \sim Q_3$  和  $DS_1 \sim DS_4$  上。当 8031 开放 CPU 中断, 允许  $\overline{INT1}$  中断申请, 并置外部中断为边沿触发方式, 执行完下列程序后, 每次 A/D 转换结束时, 都把 A/D 转换的结果数据送入片内 RAM 中的 2EH、2FH 单元。这两个单元都可以位寻址。

|      |      |             |                                  |
|------|------|-------------|----------------------------------|
|      |      |             | 时千位数为 1                          |
|      | SETB | 74H         | ; 千位数量 1                         |
|      | AJMP | PL4         |                                  |
| PL3: | CLR  | 74H         | ; 千位数量 0                         |
| PL4: | MOV  | A, P1       |                                  |
|      | JNB  | ACC. 5, PL4 | ; 等待百位 BCD 码选通信号 DS <sub>2</sub> |
|      | MOV  | R0, #2EH    |                                  |
|      | XCHD | A, @R0      | ; 百位数送入 2EH 低 4 位                |
| PL5: | MOV  | A, P1       |                                  |
|      | JNB  | ACC. 6, PL5 | ; 等待十位数选通信号 DS <sub>3</sub>      |
|      | SWAP | A           | ; 高低 4 位交换                       |
|      | INC  | R0          | ; 指向 2FH 单元                      |
|      | MOV  | @R0, A      | ; 十位数送入 2FH 高 4 位                |
| PL6: | MOV  | A, P1       |                                  |
|      | JNB  | ACC. 7, PL6 | ; 等待个位数选通信号 DS <sub>4</sub>      |
|      | XCHD | A, @R0      | ; 个位数送入 2FH 低 4 位                |
|      | RETI |             | ; 中断返回                           |
| PEr: | SETB | 10H         | ; 置过、欠量程标志                       |
|      | RETI |             | ; 中断返回                           |

(4) 5G14433 的应用举例 5G14433 的典型应用之一是加少量的外围芯片构成  $3\frac{1}{2}$  位 (3 位半) 数字电压表。按照所采用的显示方式可以分共阴极 LED 显示、共阳极 LED 显示、荧光数码管和液晶显示等几种。现通过共阴极 LED 显示的  $3\frac{1}{2}$  位数字电压表的电路组成和工作原理简要介绍 5G14433 的使用。

① 电路组成。图 4-30 所示为  $3\frac{1}{2}$  位 LED 数字电压表的电路原理。图中系统电源电压  $U_{DD}=+5V$ ,  $U_{EE}=-5V$ 。5G14433 的基准电压由  $+2.5V$  基准电源 5G1403 提供, 利用电位器调节可以得到  $+200mV$  和  $+2V$  的基准电压。

5G14433 的工作时钟为  $f_{CLK}=66kHz$ 。如果选用  $0.1\mu F$  的积分电容, 当  $U_R=+2V$  时, 积分电阻值为  $470k\Omega$ ; 当  $U_R=+200mV$  时, 积分电阻值为  $27k\Omega$ 。

② 工作过程。被测电压输入 A/D 转换器后, 在位选信号  $DS_1\sim DS_4$  有效期间,  $Q_0\sim Q_3$  端依次输出  $0\sim 9$  十个数字之一的 BCD 码, 通过 5G4511 译码, 转换为显示器的段驱动信号。数字输出采用动态扫描显示方式,  $DS_1\sim DS_4$  控制 5G1413 的达林顿管轮流导通, 产生显示器的位驱动信号。显示屏的千位只接 b、c 两段, 小数点通过  $200\Omega$  电阻接成常亮状态, 负号 “-” 段由符号位  $Q_2$  控制。如果被测电压为正值,  $Q_2$  输出高电平, 通过 5G1413 中的一只复合管流向 “-” 号段的电流旁路, 使该段熄灭。

当被测电压超过基准电压  $U_R$  时, 过量程信号  $\overline{OR}$  为低电平, 允许触发器工作, 该触发器对 EOC 信号进行 2 分频, 使 5G4511 的消隐端  $\overline{BI}$  (BLANKING) 的电平时高时低, 从而使显示数字闪烁, 指示过量程状态。

在一般电压测量中, EOC 直接接 DU 端。这样, 每个测量周期的结果都及时显示。如果需要电压表保持某一时刻的测量结果不变, 可在 EOC 和 DU 间接一只开关, 测量时把开

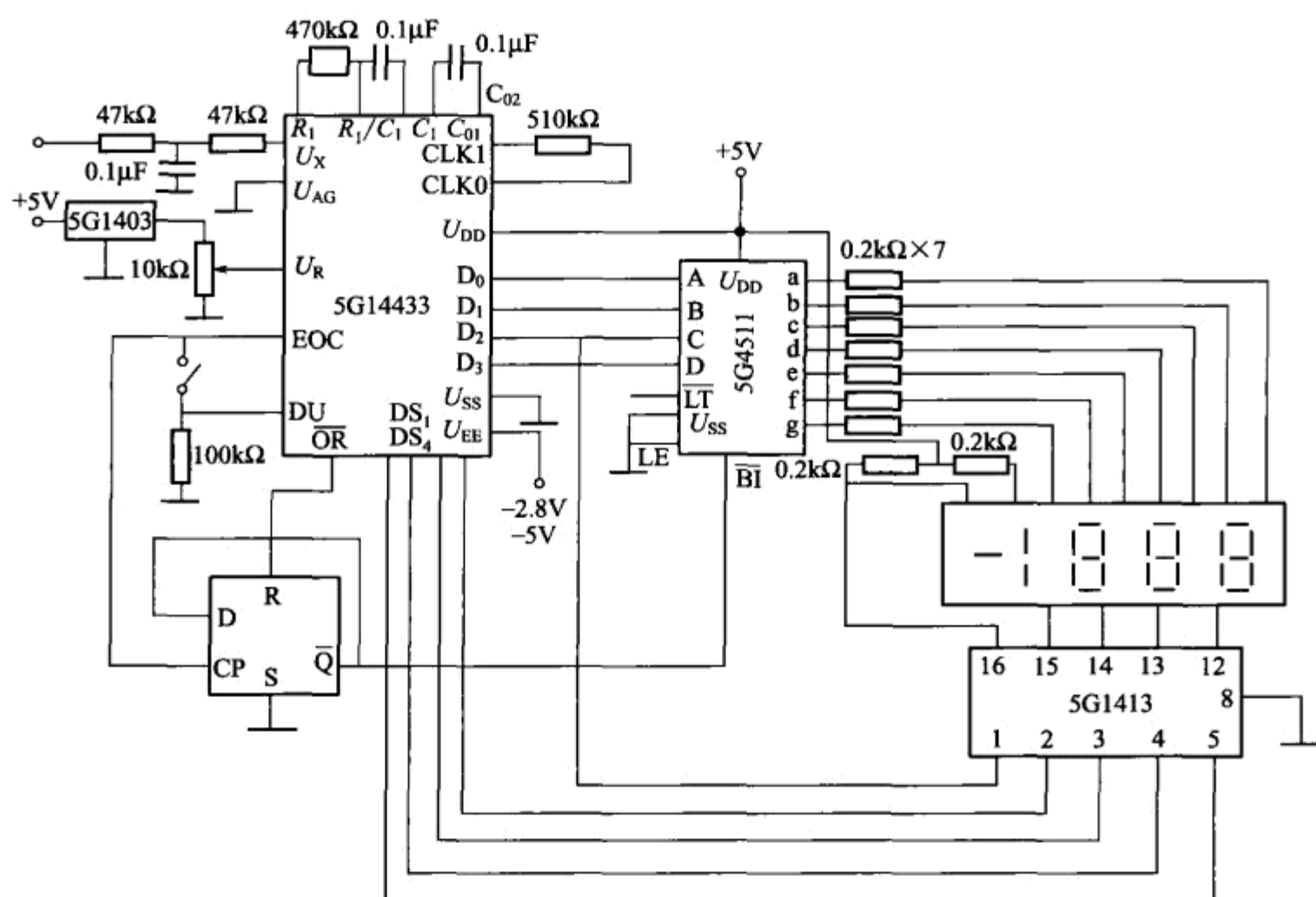


图 4-30 5G14433 构成的 3 位半数字电压表

关接通。断开开关，则可实现数据保持。

关于自动转换量程现介绍如下。

自动转换量程可以加快测量速度，提高测量准确度，实现测量自动化。图 4-31 为采用 5G14433 双积分转换器时自动转换量程的电路原理图。由图可知，当  $DS_1$  为“1”时，如果  $Q_3$  和  $Q_0$  都为“1”，应选择低量程挡，D 触发器的数据输入为“1”；当  $DS_1$  由 1→0 时， $Q$  为“1”，使 +0.2V 基准电压接通，断开 +2V 基准电压。过量程时， $Q_3$  和  $Q_0$  有一个为“0”，则 D 触发器的输出为“0”，接通 +2V 基准电压，同时电阻  $R_1$  并入积分电路，改变了积分时间常数。

5G14433 采用双积分原理，工作稳定性是比较高的。但是在采用 0.2V 量程测量小信号时，也会从测量现场的信号源、电源引进噪声干扰，造成工作不稳定。应采取以下措施提高

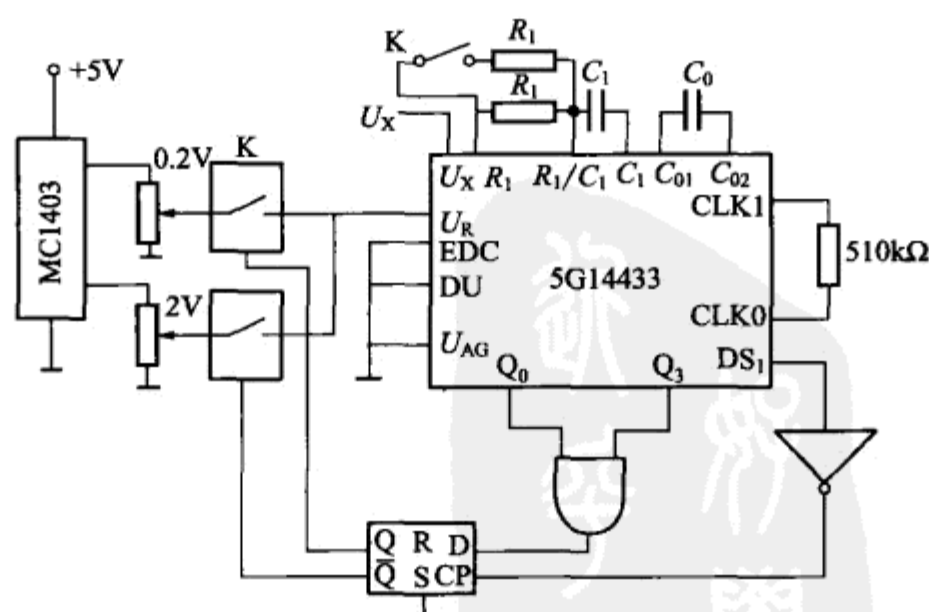


图 4-31 自动转换量程电路

芯片小信号工作时的稳定性。

- ① 时钟频率  $f_{CLK}$  为工频的整数倍, 以提高抑制工频干扰的能力。例如, 可以选用  $f_{CLK}=50\text{kHz}$ ,  $R_c=750\text{k}\Omega$  左右, 具体数值由调试确定。
- ② 信号输入线应尽可能短, 并加一级 T 型 RC 滤波器, 以抑制干扰, 消除噪声。
- ③  $U_{DD}$ 、 $U_{EE}$  取  $\pm 6\text{V}$  较好, 不能低于  $\pm 5\text{V}$ 。
- ④ 电源采用退耦处理, 使其纹波尽可能小。

四、V/F 转换器接口技术

使用 V/F 转换器用作模/数转换具有独特的优点。V/F 转换器具有良好的精度、线性和积分输入特性, 常能提供其他类型转换器无法达到的性能。

V/F 转换器与单片机接口有以下特点。

- ① 接口简单、占用硬件资源少。频率信号可输入微机的任一 I/O 口线或作为中断源及计数输入等。
- ② 抗干扰性能好。V/F 转换本身是一个计数过程。V/F 转换过程是对输入信号的不断积分, 因此具有较强的抗干扰能力。还可以采用光电耦合器连接 V/F 转换器与单片机之间的通道, 实现光电隔离。
- ③ 便于远距离传输。可通过调制进行无线传输或光传输。

由于以上这些特点, V/F 转换器适用于一些非快速而需进行远距离信号传输的 A/D 转换过程。同时, 采用 V/F 转换器还可以简化电路、降低成本、提高性价比。

(一) V/F 转换原理

目前实现 V/F 转换的方法很多, 这里只介绍两种常用的方法。

1. 积分复原型

图 4-32 所示为积分复原型电路结构及输出波形。

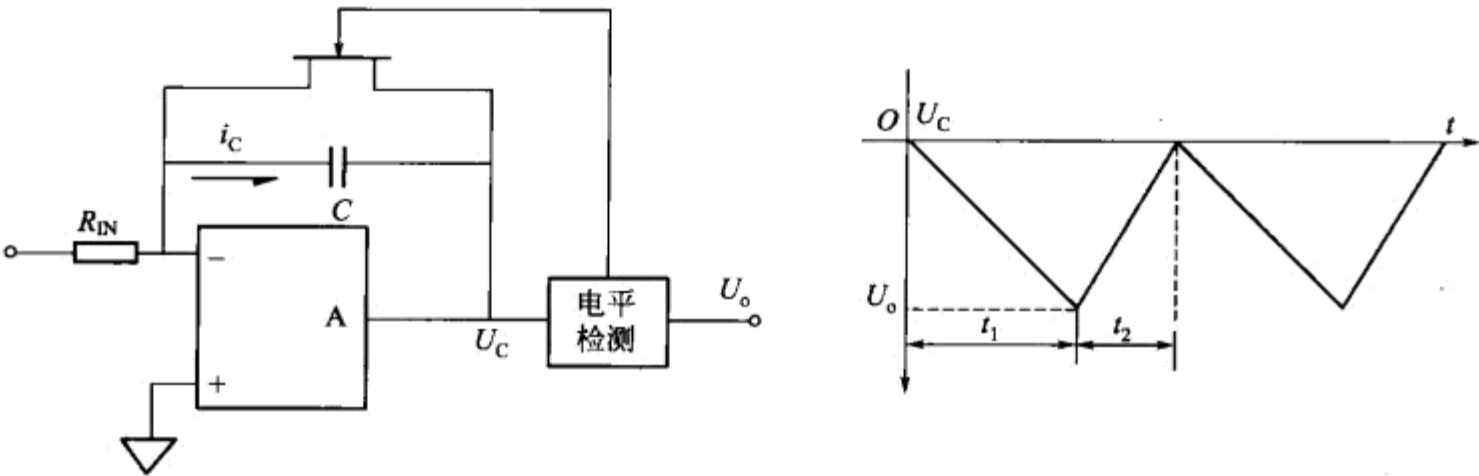


图 4-32 积分复原型电路结构及输出波形

电路包括积分器、电平检测器和积分复原开关。电平检测器是电压比较器, 具有双限阈值电平, 当积分电容充电到下限值电平时, 电平检测器使积分复原开关导通, 使电容迅速放电, 积分器输出复原到上限阈值电压, 复原开关重新截止, 积分器再次积分。这种电路精度比较低, 因而适用于精度要求不高的场合。

2. 电荷平衡式 V/F 转换器

电荷平衡式 V/F 转换器的电路结构如图 4-33 所示。A<sub>1</sub> 和 RC 构成一个积分器, A<sub>2</sub> 是零电压比较器。恒流源和模拟开关 S 构成积分器反充电回路。当单稳定时器产生一个  $t_{OS}$  的

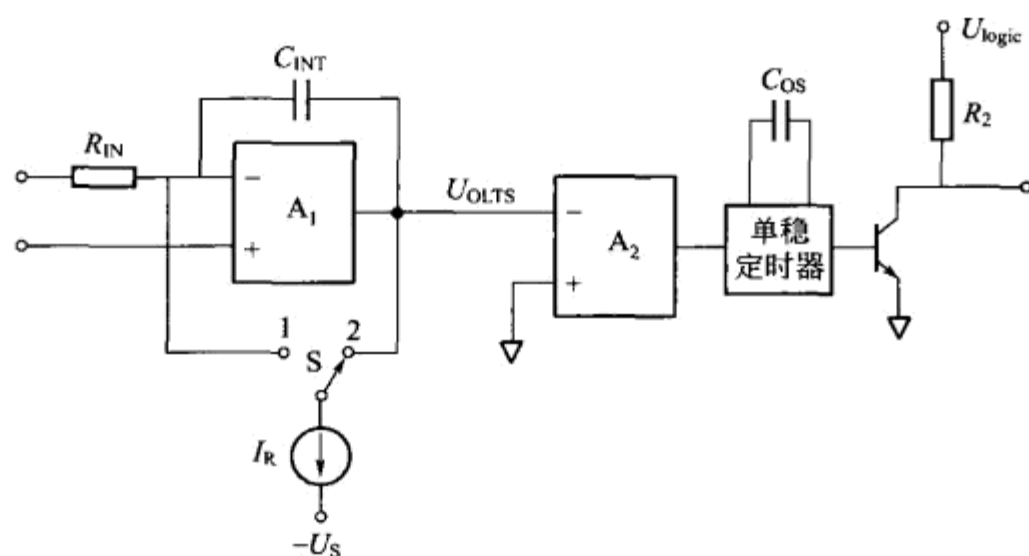


图 4-33 电荷平衡式 V/F 电路结构

脉冲时，反充电回路对  $C_{INT}$  反充电，充入电荷为  $Q_C = R t_{OS}$ 。

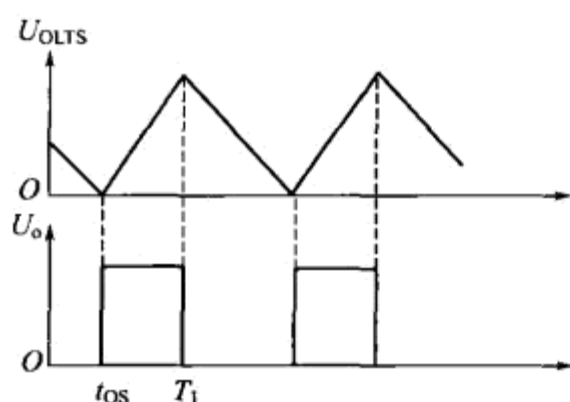


图 4-34 电荷平衡式 V/F 波形

原理如下：当模拟开关 S 处在 2 位置即与运放  $A_1$  输出端接通时，积分器处于充电过程，积分器输出电压不断下降，当积分器输出电压下降到 0V 时， $A_2$  发生跳变触发单稳定时器，产生一个脉宽为  $t_{OS}$  的脉冲，此脉冲使模拟开关 S 与 1 位置运放  $A_1$  的反相输入端导通  $t_{OS}$  时间，对  $C_{INT}$  进行反充电，由于设计上使  $I_R > U_{IN}/R_{IN}$ ，因此反充电使  $U_{OLTS}$  上升，至  $t_{OS}$  结束时又使模拟开关 S 处于 2 位置， $C_{INT}$  再次进入充电阶段， $U_{OLTS}$  下降，当  $U_{OLTS}$  下降至 0V 又使单稳定时器产生一个  $t_{OS}$  脉冲，如此反复形成频率输出信号，波形图如图 4-34 所示。

由于

$$\Delta T = t_{OS} \frac{dx}{dt} = \frac{t_{OS}}{C_{INT}} (I_R - I_{IN})$$

$$T_1 = \frac{\Delta U}{\frac{du}{dt}} = \frac{t_{OS}/C_{INT} (I_R - I_{IN})}{I_{IN}/C_{INT}}$$

所以输出频率为

$$f_{OUT} = \frac{1}{t_{OS} + T_1} = \frac{I_{IN}}{t_{OS} I_R} = \frac{U_{IN}/R_{IN}}{t_{OS} I_R} = \frac{U_{IN}}{I_R R_{IN} t_{OS}}$$

由此可见，输出频率与输入电压成正比，当  $R_{IN}$  和  $C_{OS}$  精度较高时，频率输出即可较严格地与输入电压成比例。

目前大多数的集成 V/F 转换器均采用这种方法。

## (二) 常用 V/F 转换器

图 4-35 是由 LMX31 系列芯片组成的高精度 V/F 电路接线图。LMX31 系列包括 LM131、LM231、LM331，是通用型的 V/F 交换器。主要电特性参数如下：

|        |              |
|--------|--------------|
| 电源范围   | 4~40V        |
| 输入电压范围 | -2.0V~ $U_S$ |
| 工作电流   | 8.0mA        |
| 最大失调电压 | ±14mV        |

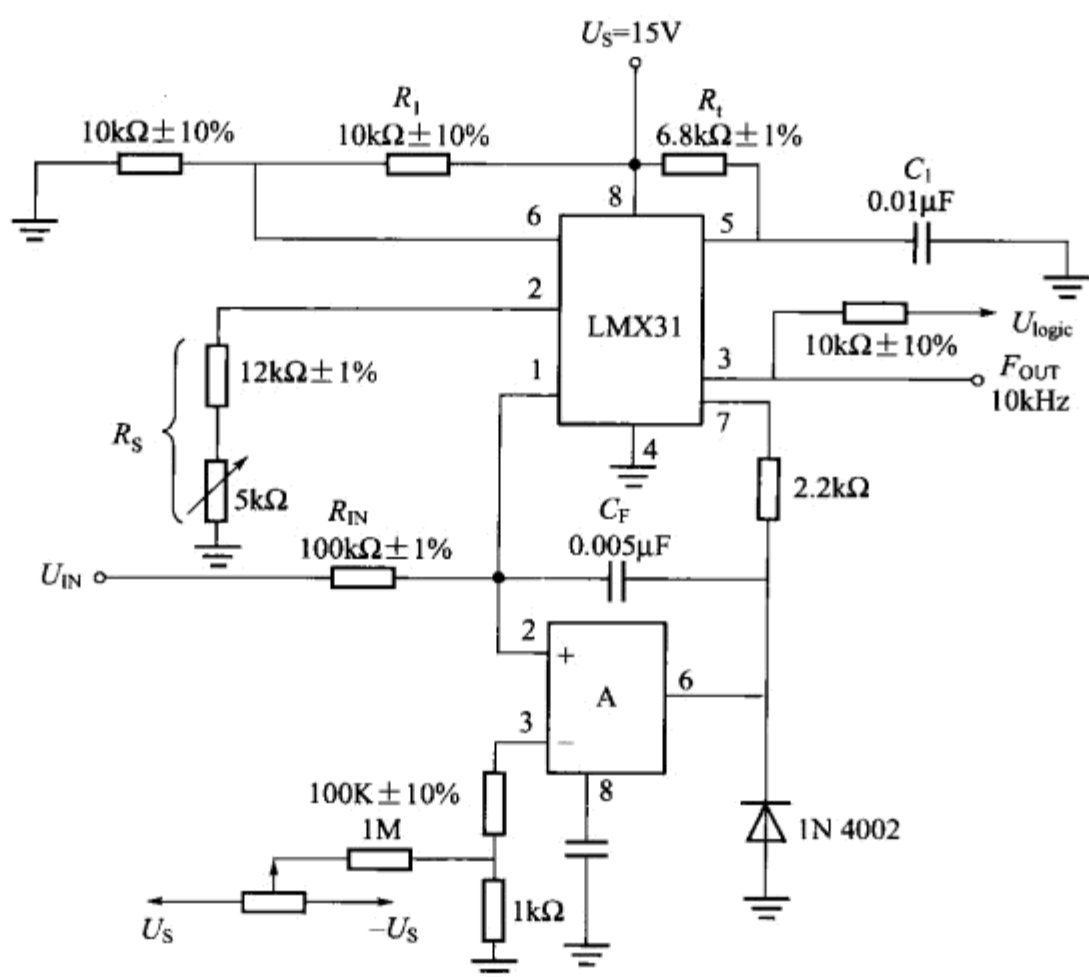


图 4-35 LMX31 高精度 V/F 电路接线图

电源电压对增益的影响

$$\begin{aligned} 4.5\text{V} \leq U_S \leq 10\text{V} & \quad 0.1\%/V \\ 10\text{V} \leq U_S \leq 40\text{V} & \quad 0.06\%/V \end{aligned}$$

电路要使用低温度系数的元件，当  $U_S = 4.5 \sim 8\text{V}$  时， $R_1$  选用  $10\text{k}\Omega$  电阻， $U_X = 8 \sim 22\text{V}$  时， $R_1$  可选用  $5\text{k}\Omega$  或  $10\text{k}\Omega$ 。运放要选用低失调电压和低失调电流的器件。

图 4-36 是用 AD650 芯片组成的双极性 V/F 电路接线图。AD650 主要电特性参数如下：

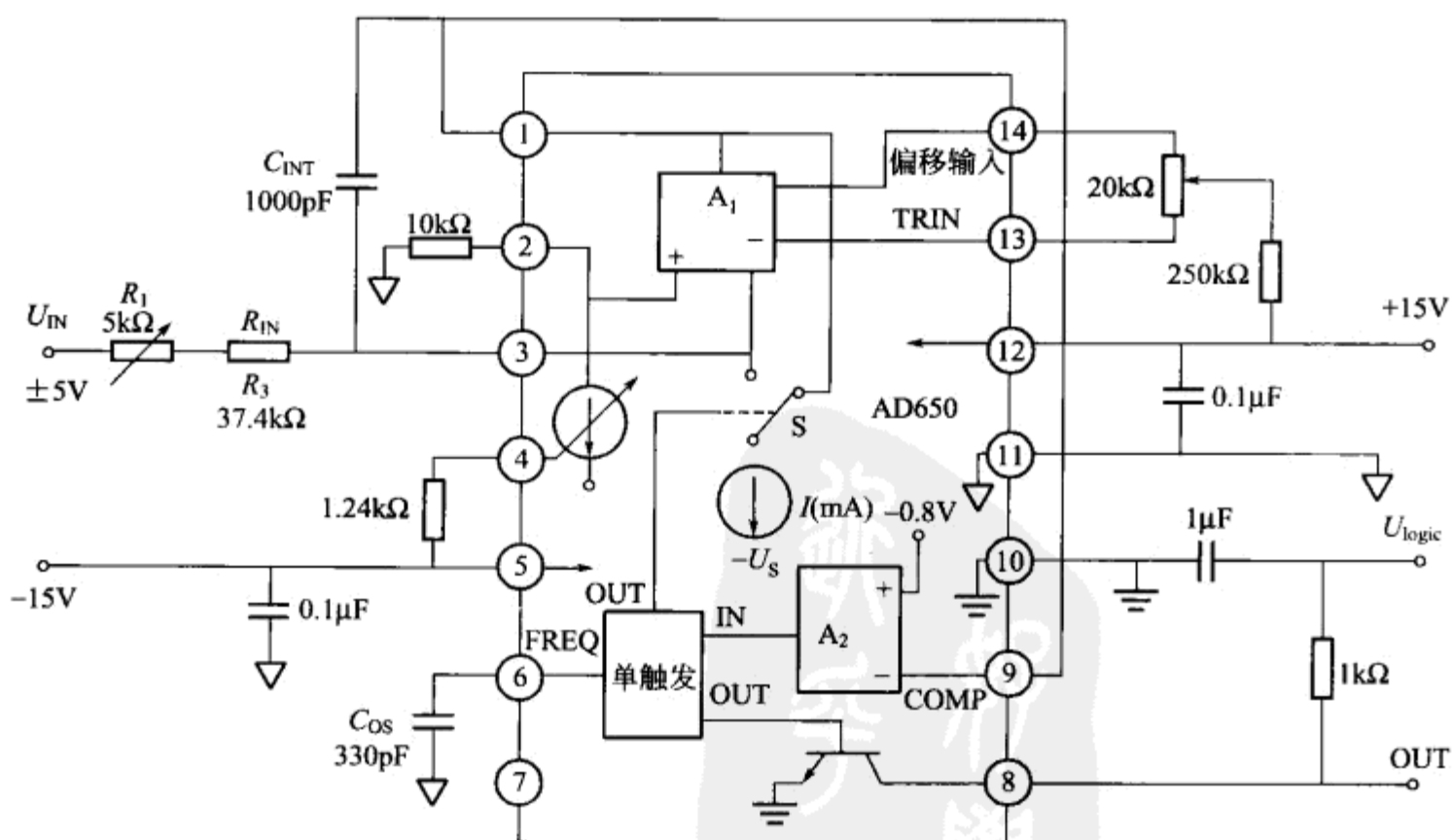


图 4-36 AD650 双极性 V/F 电路接线图

|                |                                    |
|----------------|------------------------------------|
| 电源电压 $\pm U_S$ | 标准 $\pm 15V$ ，范围 $\pm (9\sim 18)V$ |
| 输出频率范围         | $0\sim 1MHz$                       |
| 最大输入电压         | $\pm U_S$                          |
| 差分输入电压         | $\pm 10V$                          |

电路中  $R_{IN}$  和  $C_{OS}$  可以设置最大输出频率和调节输入电压范围。它们的选取将影响 V/F 转换的线性度，通常大的  $C_{OS}$  和高的  $R_{IN}$  可提供较高的线性度。最大输出频率和外围元件参数的关系如下：

| $f_{OUTMAX}$ | $U_{IN}$ | $R_1$       | $R_3$          | $C_{OS}$ | $C_{INT}$ |
|--------------|----------|-------------|----------------|----------|-----------|
| 100kHz       | 1V       | 5k $\Omega$ | 37.4k $\Omega$ | 330pF    | 1000pF    |
| 500kHz       | 10V      | 5k $\Omega$ | 18k $\Omega$   | 100pF    | 1000pF    |
| 1MHz         | 1V       | 5k $\Omega$ | 14.3k $\Omega$ | 51pF     | 1000pF    |

### (三) V/F 转换器与单片机接口电路

被测量物理量转换为与其成比例的频率信号后，送入单片机需经过频率输入通道，根据不同应用环境，频率输入通道的结构大致可分为以下几种。

① V/F 转换器直接与 MCS-51 单片机相连。这种方式比较简单，把频率信号直接接入单片机的定时/计数器输入端即可。如图 4-37 所示（以 LM331 为例）。

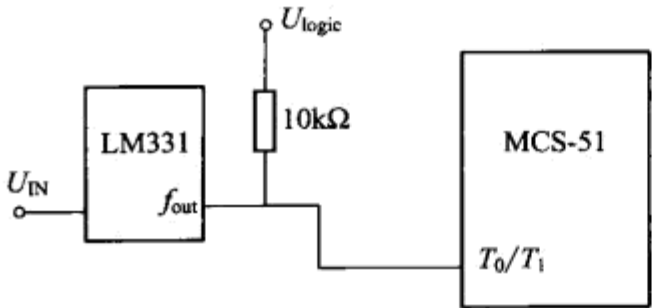


图 4-37 V/F 转换器与单片机直接相连

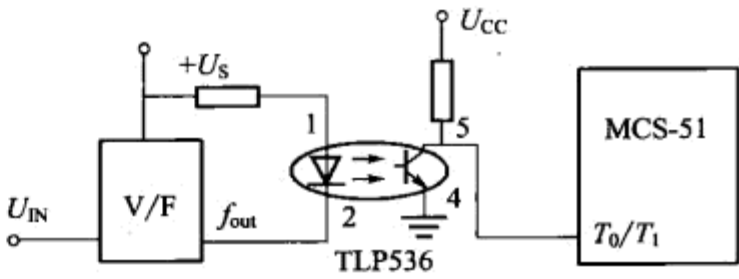


图 4-38 使用光电隔离器作为输入通道

② 在一些电源干扰大、模拟电路部分容易对单片机产生电气干扰等恶劣的环境中，为减少干扰可采用光电隔离的方法使 V/F 转换器与单片机连接。电路示意如图 4-38 所示。

③ 当 V/F 转换器与单片机之间距离较远时需要采用线路驱动以提高传输能力时，通常可采用串行通信的驱动器和接收器来实现。例如使用 RS-422 的驱动器和接收器时，允许最大传输距离为 120m。如图 4-39 所示。其中 SN75174/75175 是 RS-422 标准的四差分线路驱动/接收器。

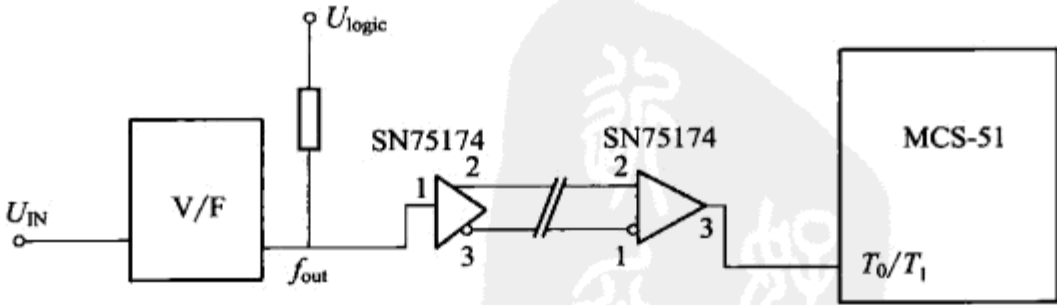


图 4-39 利用串行通信器件作为输入通道

- ④ 使用隔离变压器连接。如图 4-40 所示。
- ⑤ 采用光纤或无线传输时，需配备发送、接收装置。如图 4-41 所示。

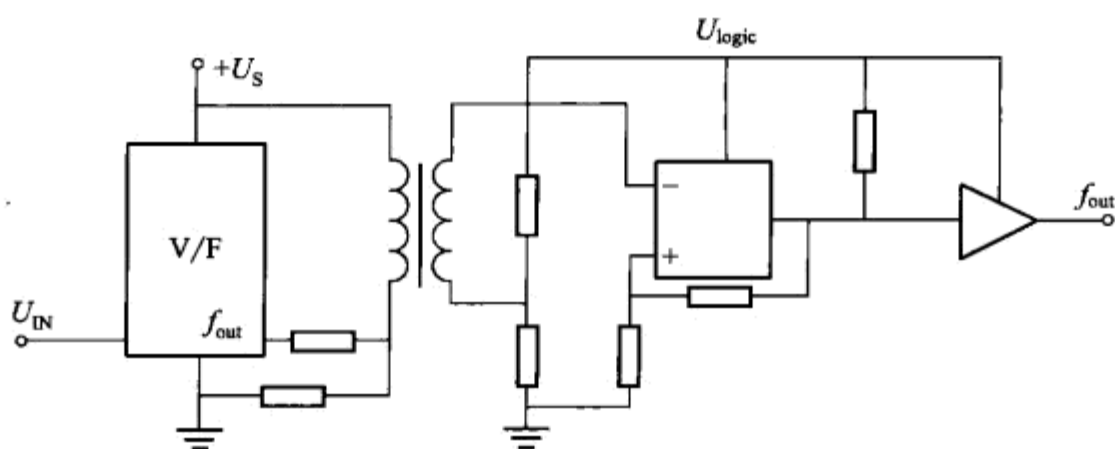


图 4-40 利用隔离变压器作为输入通道

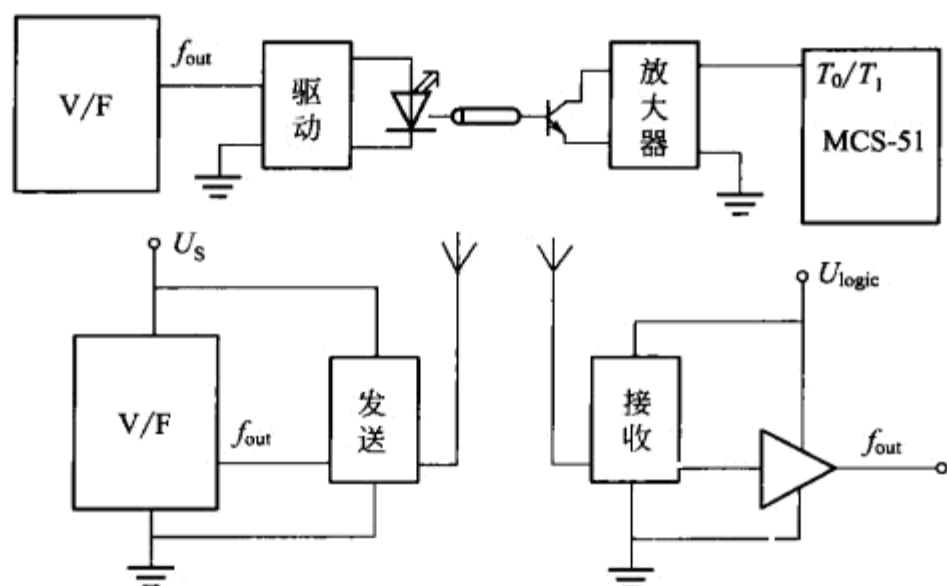


图 4-41 利用光纤或无线传输设备作为输入通道

## 五、数字输入通道接口技术

数字传感器与模拟传感器不同，模拟传感器的输出值是一个在整个输出范围内连续变化的值，而数字传感器的输出值只有两种，非“0”即“1”。例如轻触开关（touch switch）就是一个最简单的数字传感器，在未被按下时，轻触开关通常是一个阻抗无穷大的开路电路，而按下之后，就变成一个阻抗为零的短路电路。

### （一）数字传感器的分类

由于技术进步，市场上出现了各种各样复杂的数字传感器，而且如今的传感器已经能够产生一长串的开关状态转换，使用这些传感器时，输出脉冲序列的频率特性，甚至是脉冲形状都能表征传感器的测量结果，从而使得连续测量变为可能。

按照传感器输出驱动信号的信号特征对传感器进行分类（有 5 种），如图 4-42 所示，其中 45% 的数字传感器以开关状态信号输出，35% 以频率信号输出，12% 以占空比形式的信号输出，另有 6% 以时间间隔输出，2% 以脉冲数信号输出。

在选择传感器数据与单片机的接口电路时，是否与传感器测量结果的信号特征匹配是第一个需要考虑的选择参数。对于开关量信号，只需经过简单的电平转换或整形即可输入单片机的 I/O 口；对于频率信号和脉冲数信号，与经 V/F 转换器转换的模拟信号类似，在经过简单的整形和隔离后，可直接送入单片机的定时/计数器；对于以占空比和时间间隔形式输出的信号，可选择具有捕捉/比较器的单片机，将传感器信号输入捕捉/比较器接口。本节介绍出现最多的开关量信号传感器的接口电路，频率信号传感器的接口电路可参照 V/F 转换

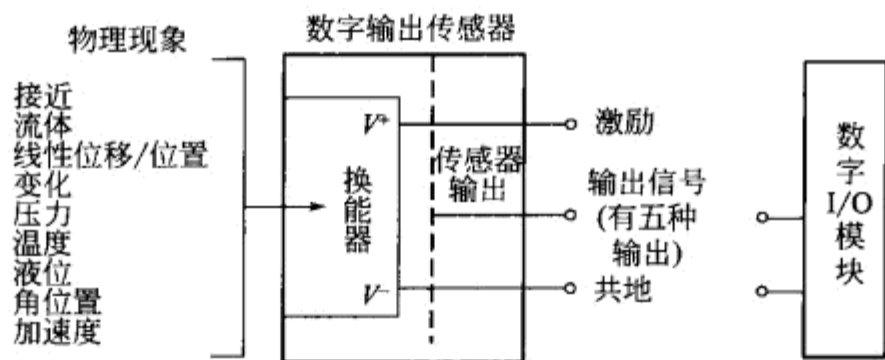


图 4-42 数字传感器分类

器部分的内容。

## （二）开关量输入接口电路

开关量是指具有两种状态（即二进制数字）的量，例如，各种电子开关和继电器都具有“开”和“关”两种状态，开关量输入电路的功能就在于把开关量输入单片机中，以检测开关的状态。

开关量输入接口的技术指标如下。

- ① 输入容量：指接口能输入的开关量的数目。例如 128 点，256 点等。
- ② 输入信号电平：开关量有“开”和“关”两种状态，对应两种电平信号。例如，用逻辑“0”表示开关打开，对应的电压为 0V；用逻辑“1”表示开关闭合，对应的电压为 5V。
- ③ 输入方式：因为受单片机字长的限制，所以开关量一般采用分组输入方式，根据单片机的字长每次输入 8 点或 16 点。
- ④ 输入周期时间：从单片机发出输入开关量的地址和命令到开关量送入单片机的全部时间。

开关量输入接口框图如图 4-43 所示。它由输入缓冲器、总线驱动、地址译码、光电耦

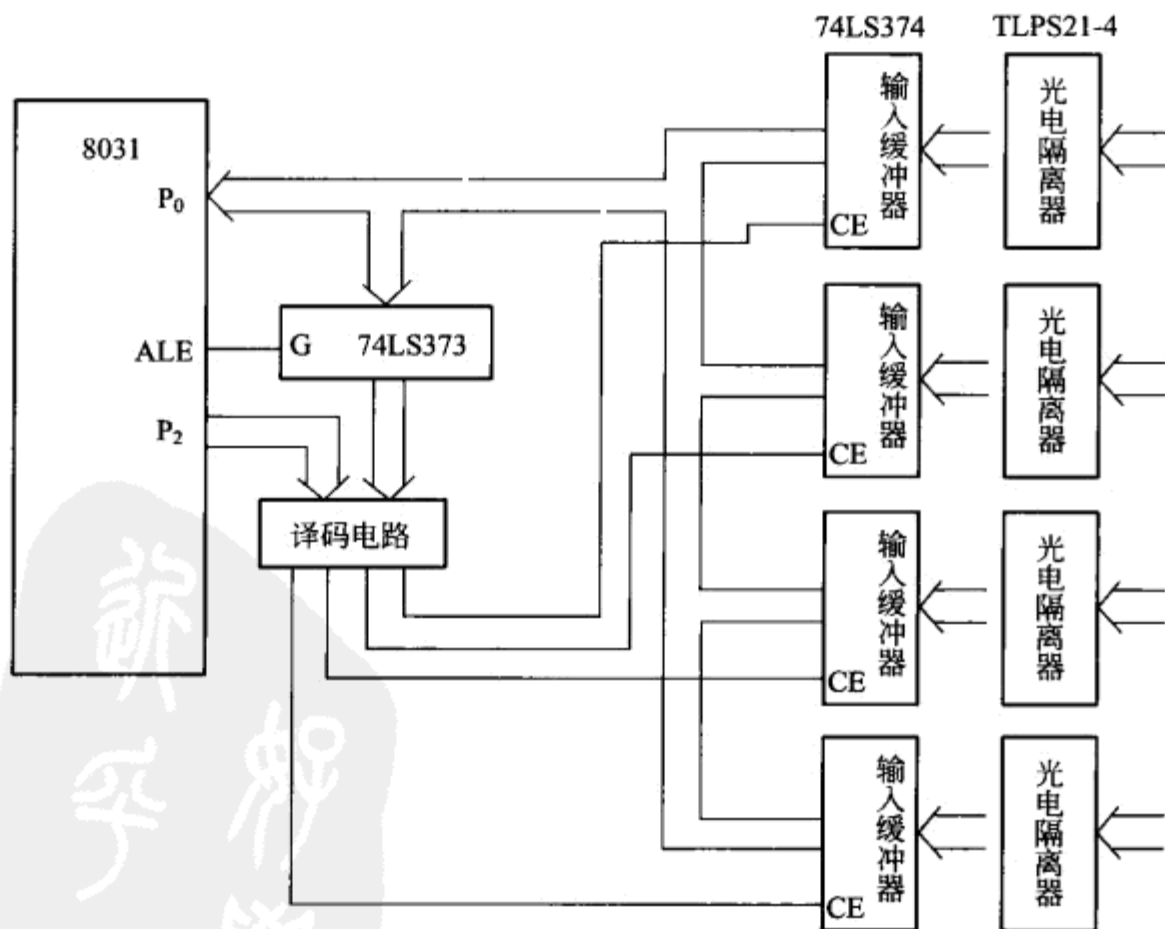


图 4-43 开关量输入接口框图

合器和限流电路组成。各组开关量分别接到对应的输入缓冲器的数据输入端。当输入缓冲器未被选中时，其数据输出端为第三态（高阻态）。当单片机发出一组地址码，选中一个输入缓冲器时，该缓冲器导通，一组开关量通过输入缓冲器送入单片机中。

图 4-43 中的输入缓冲器可由单向三态门组成，如 74LS374，或由 8212 接口组成。光电耦合器是为了防止外界对控制系统的干扰而采取的隔离措施。光电耦合电路的类型很多，图 4-44 给出了一种实用电路，图中 SI 为开关量输入，经光电耦合器件后输出到缓冲器输入端。限流电路选用合适的电阻来实现。采用 74LS138、74LS139 等来实现地址译码。

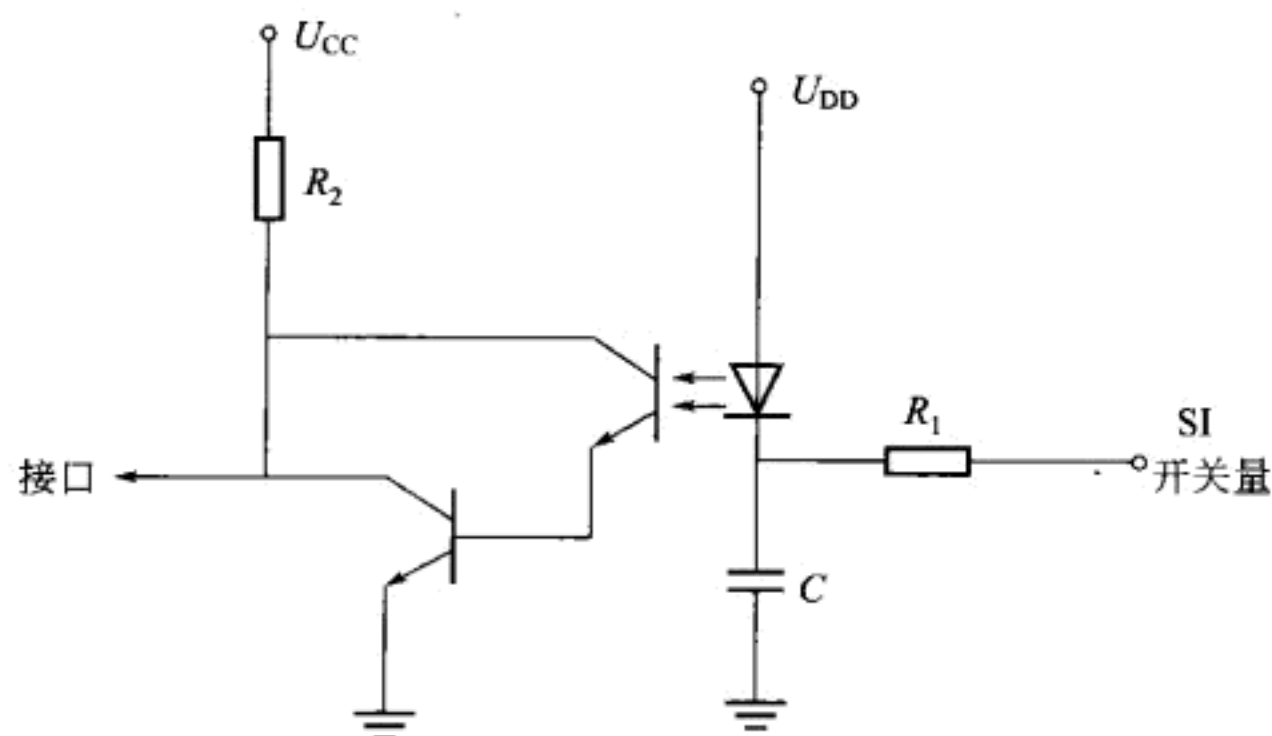


图 4-44 光电耦合器

有时输入的开关量并不都是 TTL 电平，因此还存在一个电平转换问题。图 4-45 所示的开关量输入电平转换电路可完成此任务。

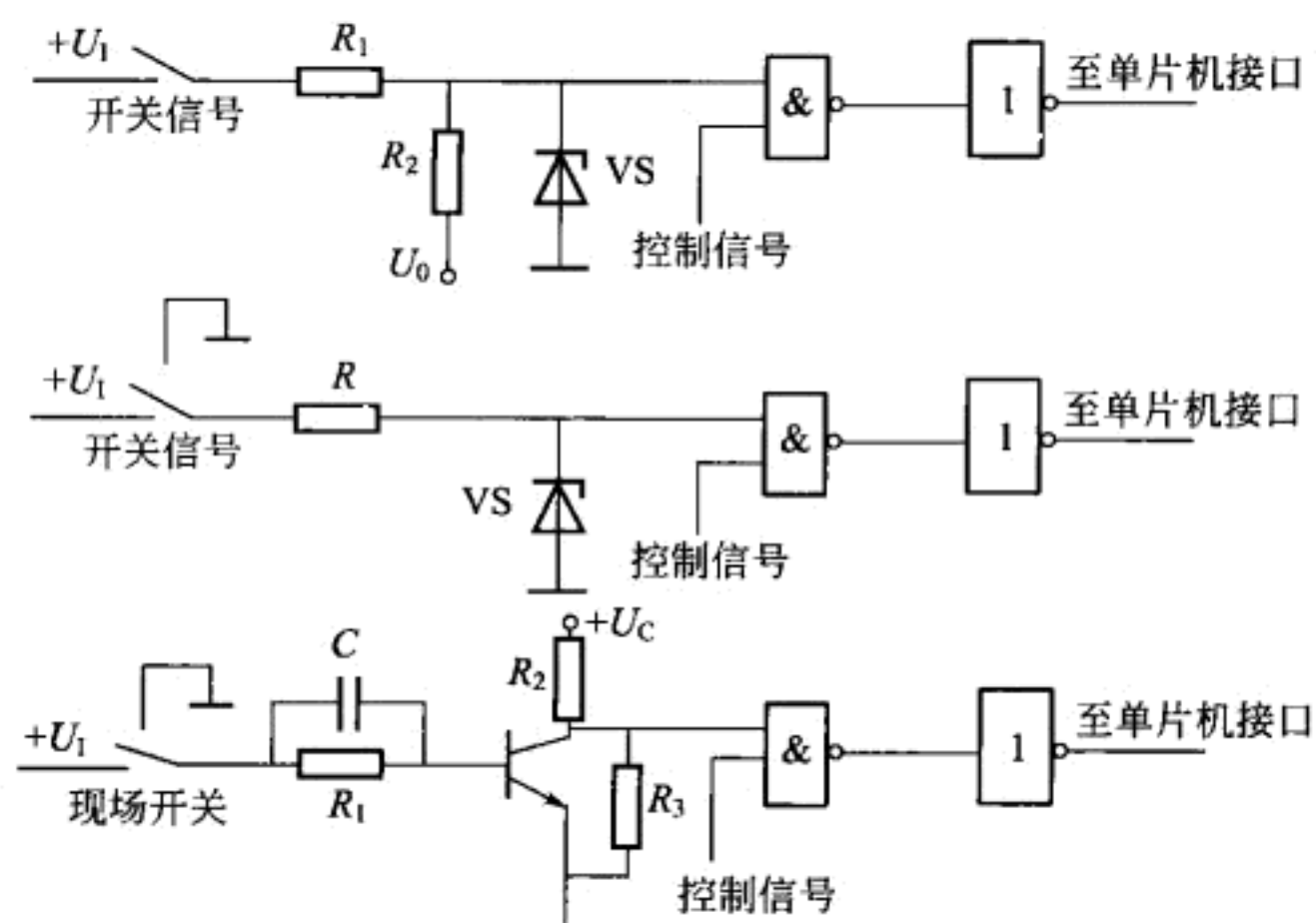


图 4-45 开关输入电平转换电路