

第二章 计算机控制系统设计的 硬件基础

- 2.1 开关量输入
- 2.2 开关量输出
- 2.3 模拟量输入
- 2.4 模拟量输出
- 2.5 计算机控制系统中的电源
- 2.6 信号采样与重构
- 2.7 数字滤波





2.1 开关量输入

在计算机控制系统中，为了获取系统的运行状态或设定信息，经常需要进行开关量信号的输入。开关量的共同特征是幅值离散，可以用1位或多位二进制码表示。

☐ 开关量输入信号的类型

☐ 开关量信号输入通道



1. 开关量输入信号的类型

开关量输入信号有以下基本类型

- ✓ 1位的状态信号。如阀门的闭合与开启、电机的起动与停止、触点的接通与断开。
- ✓ 成组的开关信号。如用于设定系统参数的拨码开关组等。
- ✓ 数字脉冲信号。许多数字式传感器(如转速、位移、流量的数字传感器)将被测物理量值转换为数字脉冲信号，这些信号也可归结为开关量。

2. 开关量信号输入通道

针对不同性质的开关量输入信号，可以采取不同的方法输入计算机进行处理。一般的系统设定信息和状态信息可以采用并行接口输入；极限报警信号采用中断方式处理；数字脉冲信号可以使用系统的定时/计数器来测量其脉冲宽度、周期或脉冲个数。

出于安全或抗干扰等方面的考虑，现场的开关量输入至计算机接口前，一般需要进行预处理，然后再送至接口。

► 几种常用的预处理方法

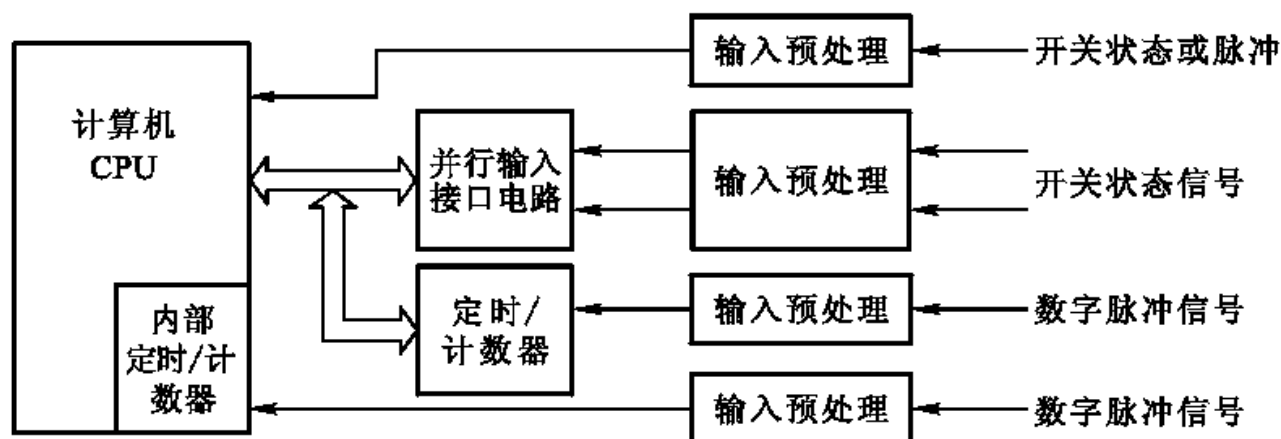


图2.1 开关量输入通道的典型结构

开关量输入的常用预处理方法

- ☐ 信号转换处理
- ☐ 安全保护措施
- ☐ 消除机械抖动影响
- ☐ 滤波处理
- ☐ 隔离处理
- ☐ 光电耦合器件原理与使用



信号转换处理

从工业现场获取的开关量或数字量，在逻辑上表现为逻辑“1”或逻辑“0”，信号形式则可能是电压、电流信号或开关的通断，其幅值范围也往往不符合数字电路的电平范围要求，因此必须进行转换处理。

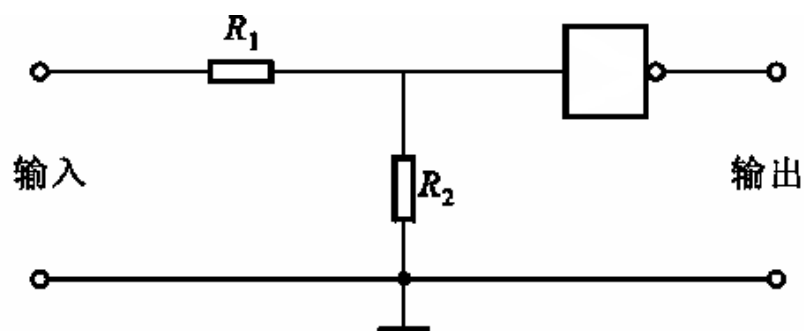


图2.2 电压或电流输入电路

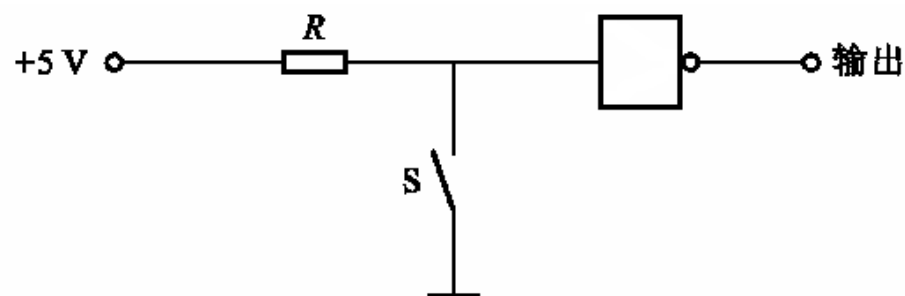


图2.3 开关触点输入电路

安全保护措施

在设计一个计算机控制系统时，必须针对可能出现的输入过电压、瞬间尖峰或极性接反的情况，预先采取安全保护措施。

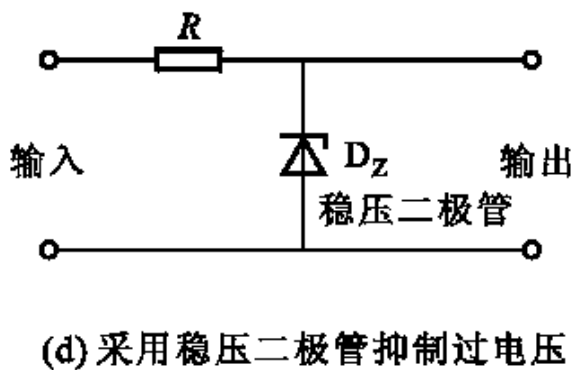
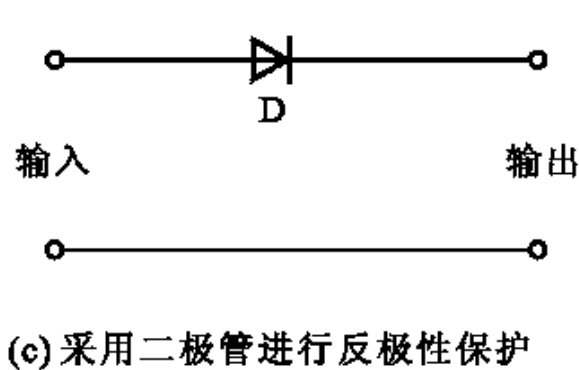
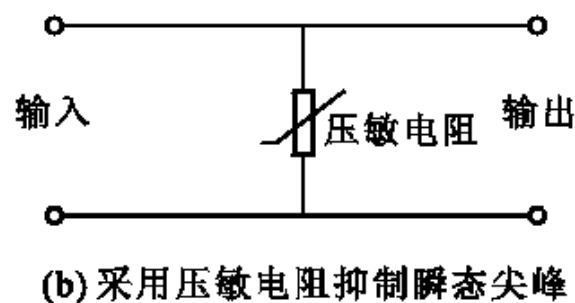
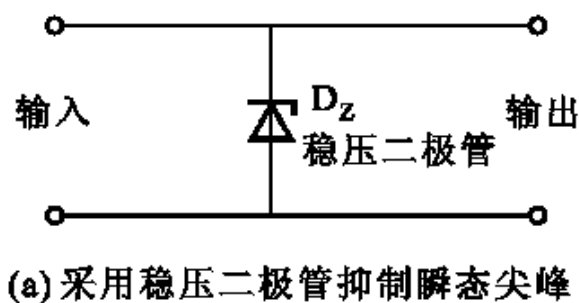


图2.4 输入保护电路

消除机械抖动影响

操作按钮、继电器触点、行程开关等机械装置在接通或断开时均要产生机械抖动，体现在计算机的输入上就是输入信号在逻辑“0”和“1”之间多次振荡，如不适当处理就会导致计算机的错误控制。

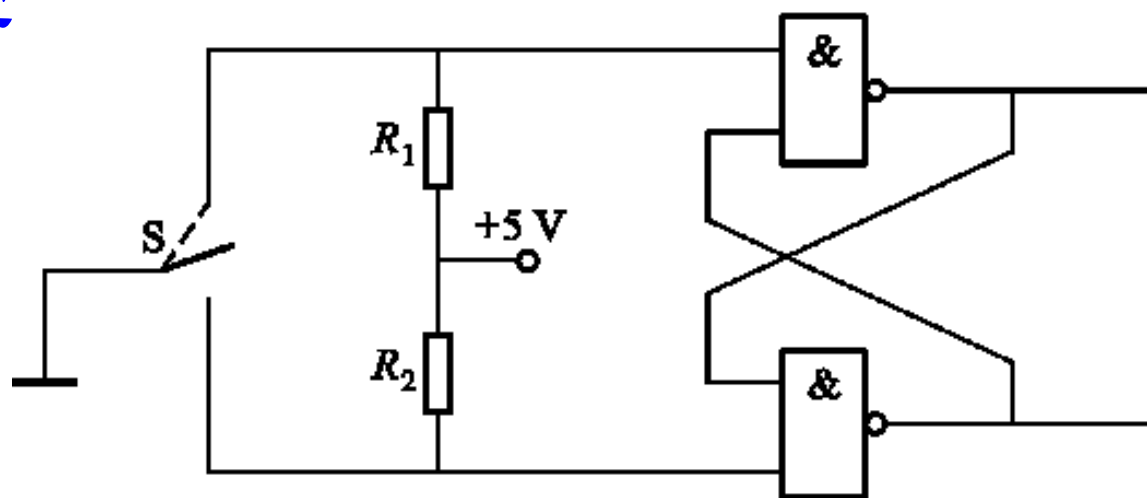


图2.5 消除开关抖动的电路

滤波处理

由于长线传输、电路内部干扰影响，使得输入信号带有噪声信号，这有可能导致误读信号而出错。图2.6给出一种用RC滤波电路去除接口噪声的方法，它同样可以消除开关的抖动信号。

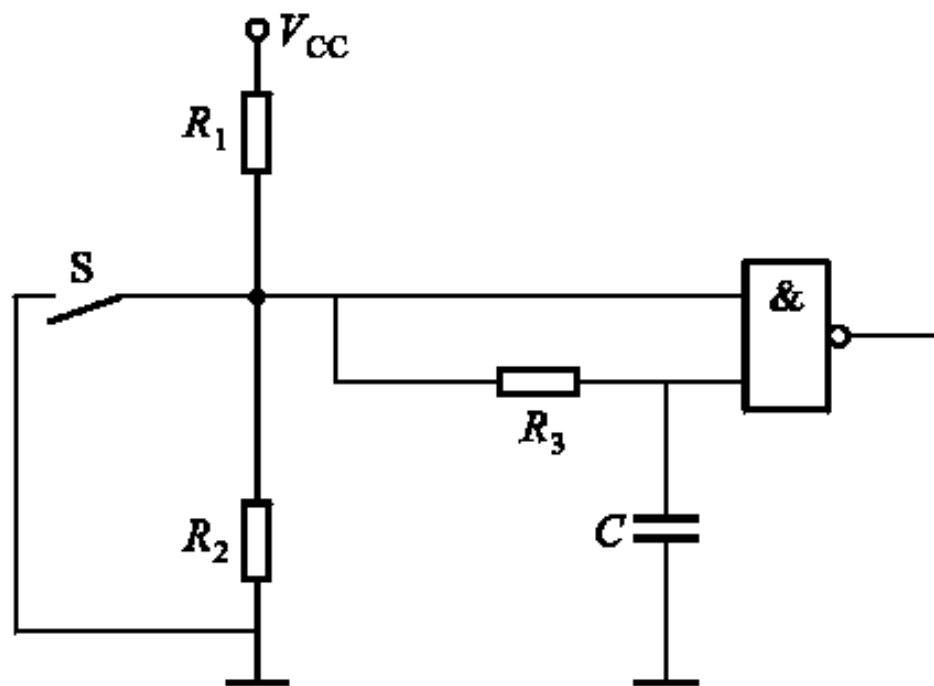
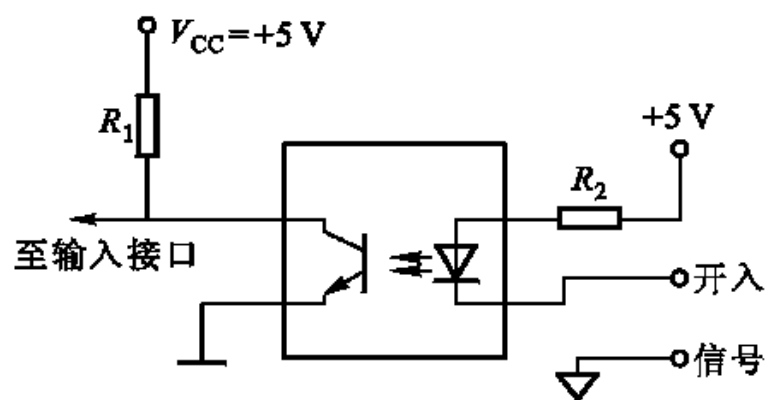


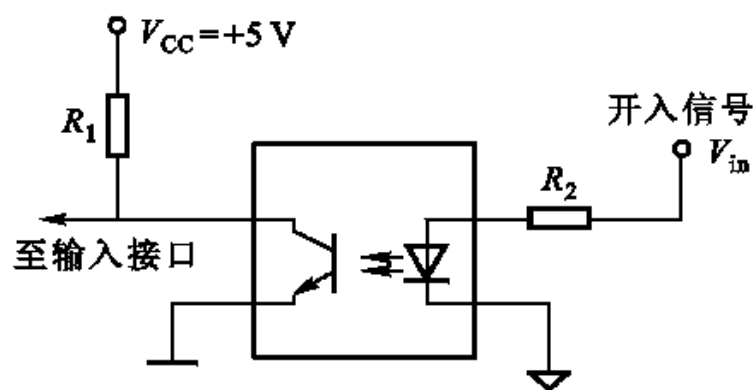
图2.6 RC滤波电路

隔离处理

从工业现场获取的开关量或数字量的信号电平往往高于计算机系统的逻辑电平，即使输入开关量电压本身不高，也有可能从现场引入意外的高压信号，因此必须采取电隔离措施，以保障计算机系统的安全。常用的隔离措施是采用光电耦合器件实现的。图2.7给出了两种开关量光电耦合输入电路，它们除了实现电气隔离之外，还具有电平转换功能。



(a) 适于触点信号或TTL信号输入的隔离电路



(b) 适于非TTL电平信号输入的隔离电路

图2.7 开关量光电耦合输入电路

光电耦合器件原理与使用

光电耦合器件是一种常用且非常有效的电隔离手段，由于它价格低廉、可靠性好，被广泛地用于现场设备与计算机系统之间的隔离保护。根据输入级的不同，用于开关量隔离的光电隔离器件可分为三极管型、晶闸管型等几种，但其工作原理都是采用光作为传输信号的媒介，实现电气隔离。

► 使用光电隔离器件的注意事项

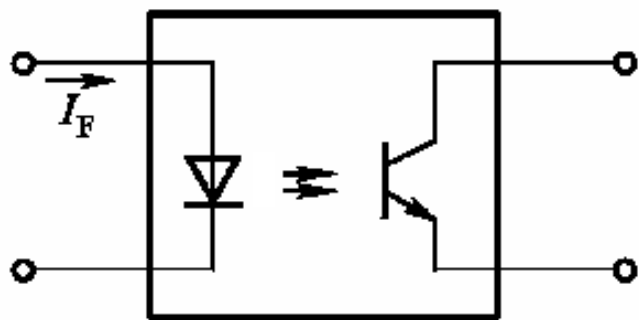


图2.8 三极管输出型光电隔离器件原理

当输入侧流过一定的电流 I_F 时，发光二极管开始发光，它触发光电三极管使其导通；当撤去该电流时，发光二极管熄灭、三极管截止。这样，就实现了以光路来传递信号，保证了两侧电路没有电气联系，从而达到了隔离的目的。

使用光电隔离器件的注意事项

□ 输入侧导通电流

要使光电隔离器件导通，必须在其输入侧提供足够大的导通电流，以使发光二极管发光。不同的光电隔离器件的导通电流也不同，典型的导通电流 $I_F=10\text{mA}$ 。

□ 频率特性

受发光二极管和光电元件响应时间的影响，光电隔离器件只能通过一定频率以下的脉冲信号。因此，在传送高频信号时，应该考虑光电隔离器件的频率特性，选择通过频率较高的光电隔离器。



使用光电隔离器件的注意事项

□ 输出端工作电流

光电隔离器输出端的灌电流不能超过额定值，否则就会使元件发生损坏。一般输出端额定电流在mA量级，不能直接驱动大功率外部设备，因此通常从光电隔离器至外设之间还需设置驱动电路。

□ 输出端暗电流

这是指光电隔离器处于截止状态时，流经输出端元件的电流，此值越小越好。在设计接口电路时，应考虑由于输出端暗电流而可能引起的误触发，并予以处理。

使用光电隔离器件的注意事项

□ 隔离电压

它是光电隔离器的一个重要参数，表示了其电压隔离的能力。

□ 电源隔离

输出光隔两侧的供电电源必须完全隔离。无论是输入隔离还是输出隔离，只要采取光电隔离措施，就必须保证被隔离部分之间电气完全隔离，否则就起不到隔离作用了。



2.2 开关量输出

在计算机控制系统中，经常需要控制执行机构的开/关或启/停，某些控制算法也需要控制执行机构在一定时间 T 内的全负荷工作时间 $t(0 \leq t \leq T)$ ，这些控制是通过计算机开关量输出通道来实现的。

✓ 在计算机控制系统中，开关量输出信号用于控制各种现场设备，因此要考虑电平转换、功率放大、抗干扰及安全等问题。针对具体情况，往往采取一些措施。

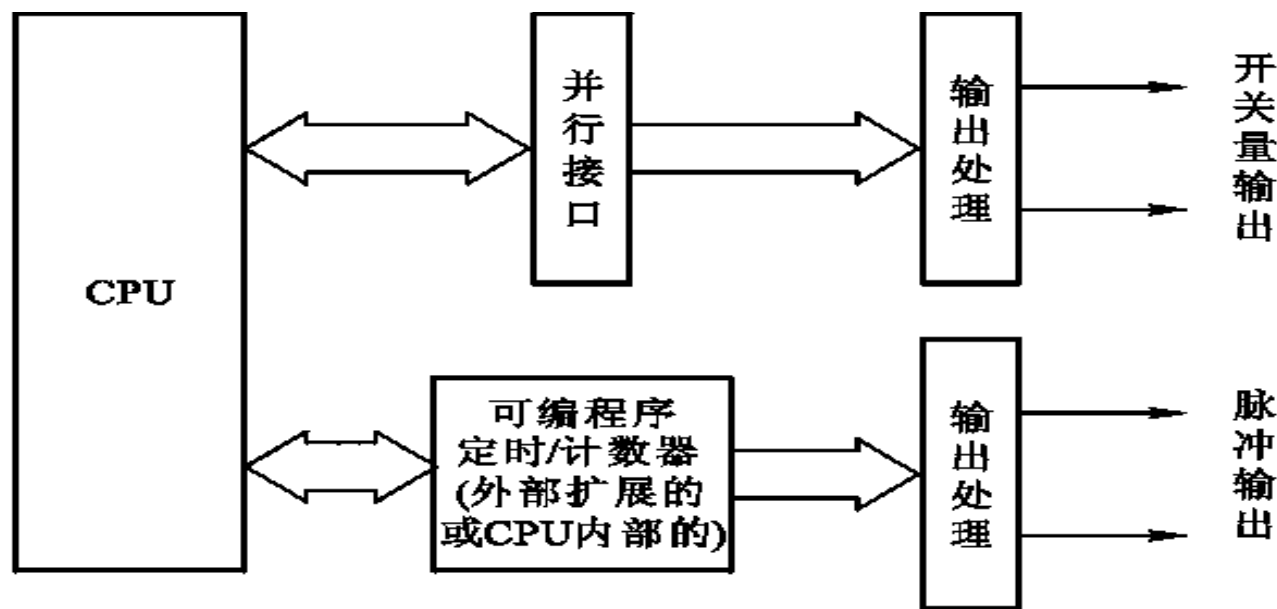


图2.9 典型的开关量输出通道结构



常用措施

- ☐ 隔离处理
- ☐ 电平转换和功率放大



隔离处理

当计算机控制系统的开关量输出信号用于控制较大功率的设备时，为防止现场设备上的强电磁干扰或高电压通过输出通道进入计算机系统，一般需要采取光电隔离措施隔离现场设备和计算机系统。图2.10是采用了光电隔离的开关量输出电路。

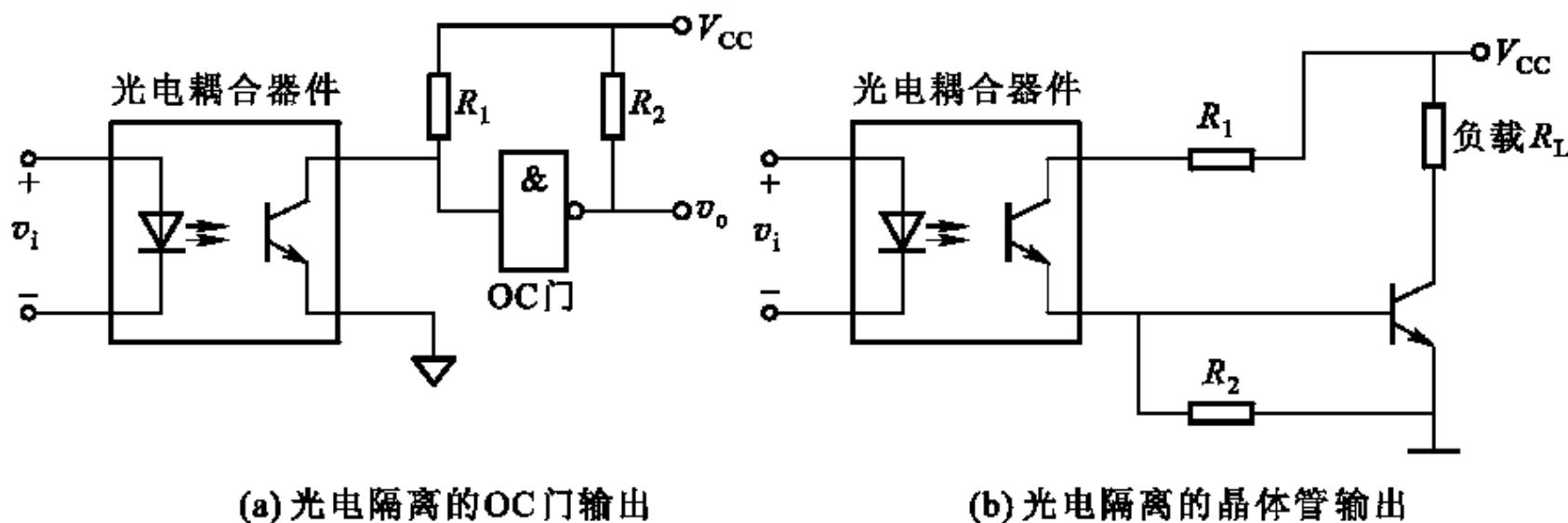


图2.10 低压小功率开关量输出

电平转换和功率放大

计算机通过并行接口电路输出的开关量信号，往往是低压直流信号。一般来说，这种信号无论是电压等级、还是输出功率，均无法满足执行机构的要求，所以应该进行电平转换和功率放大，再送往执行机构。

☐ 小功率低压开关量输出

☐ 继电器输出

☐ 晶闸管输出

☐ 功率场效应管输出

☐ 集成功率电子开关输出



小功率低压开关量输出

对于低压小功率开关量输出，可采用晶体管、OC门或运放等方式输出，图2.10给出的两种电路一般仅能提供几十毫安级的输出驱动电流，可以驱动低压电磁阀、指示灯等。

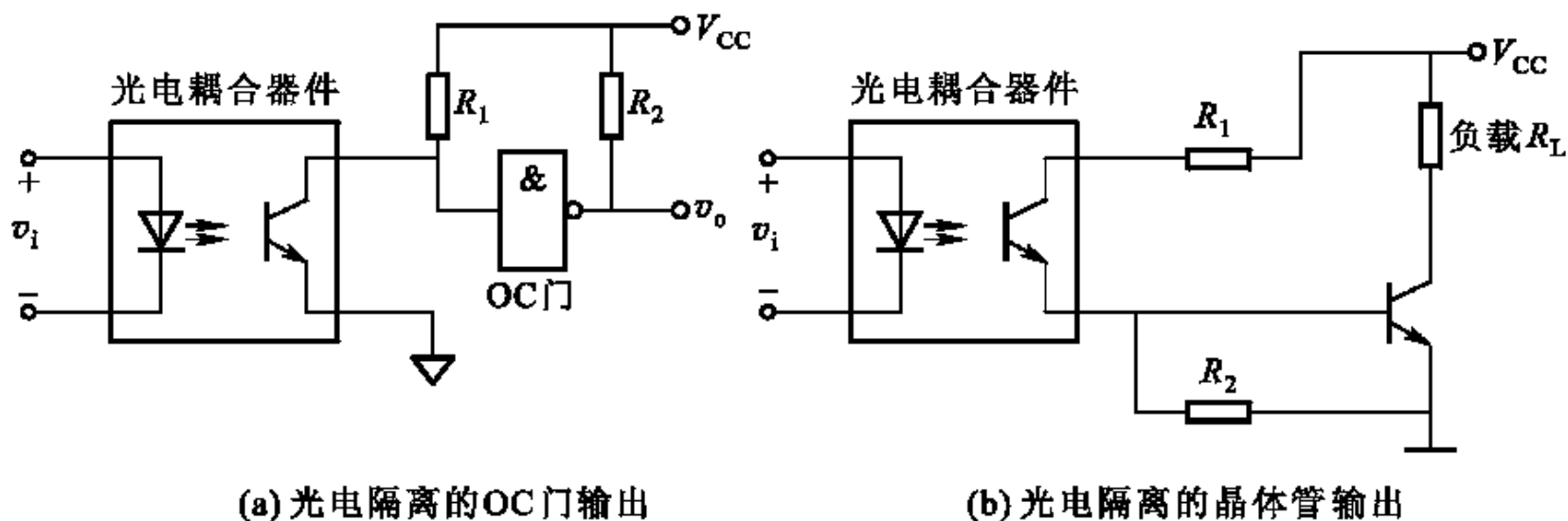
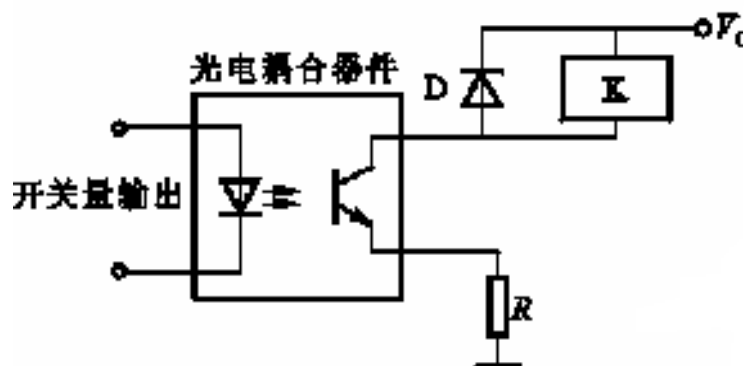


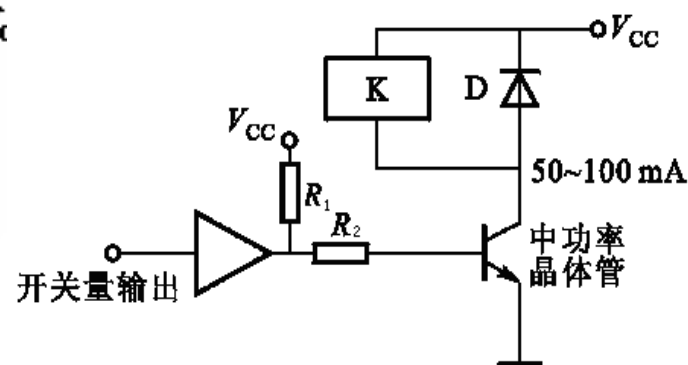
图2.10 低压小功率开关量输出

继电器输出

继电器经常用于计算机控制系统中的开关量输出功率放大，即利用继电器作为计算机输出的执行机构，通过继电器的触点控制较大功率设备或控制接触器的通断以驱动更大功率的负载，从而完成从直流低压到交流(或直流)高压、从小功率到大功率的转换。使用继电器输出时，为克服线圈反电势，常在继电器的线圈上并联一个反向二极管。继电器输出也可以提供电气隔离功能，但其触点在通断瞬间往往容易产生火花而引起干扰，还是必须予以注意的，一般可采用阻容电路予以吸收。



(a) 带光电隔离的继电器输出

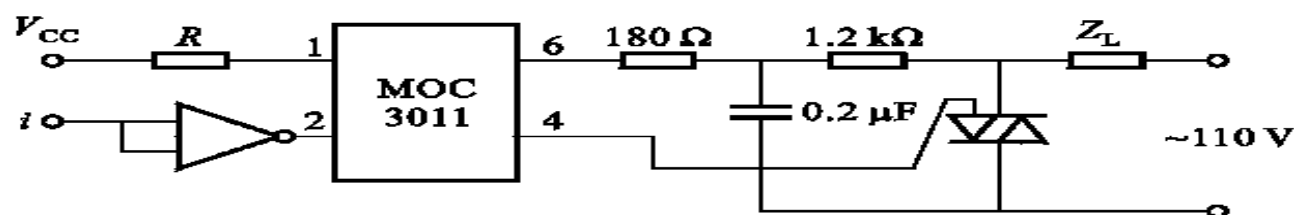


(b) 晶体管驱动的中功率继电器输出

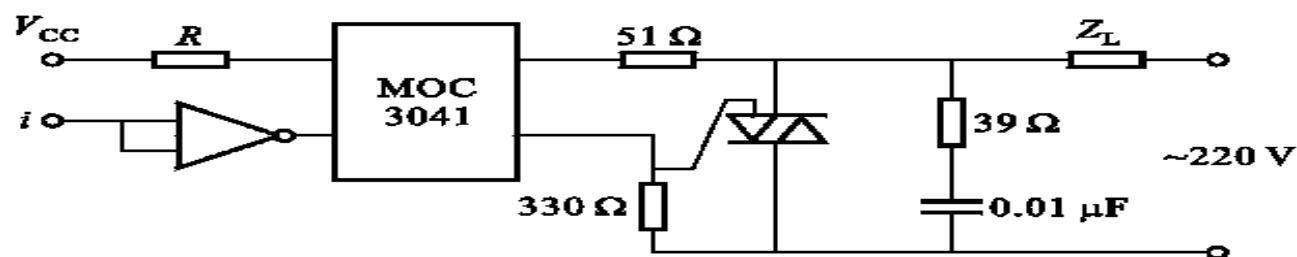
图2.11 继电器式开关量输出

晶闸管输出

作为一种大功率半导体无触点开关器件，晶闸管具有以较小的功率来控制大功率的特点，因此在计算机控制系统中被广泛地用作功率执行元件，一般是由计算机发出数字触发脉冲信号实现其通断控制。图2.12是采用晶闸管输出型光电隔离器驱动双向晶闸管的电路图，图中与晶闸管并联的 RC 网络用于吸收带感性负载时产生的与电流不同步的过压，晶闸管门极电阻则用于提高抗干扰能力，以防误触发。



(a) 110 V交流负载控制



(b) 220 V交流负载控制

图2.12 光电隔离的双向晶闸管输出

功率场效应管输出

功率场效应管(MOSFET)是压控电子开关，只要在其栅极G和源极S之间加上足够的控制电压，漏极D和源极S之间即可导通。MOSFET的栅极控制电流为微安级，而导通后漏极D和源极S之间允许通过较大的电流，如IRF640导通时，D、S间允许通过的最大电流可达18A。

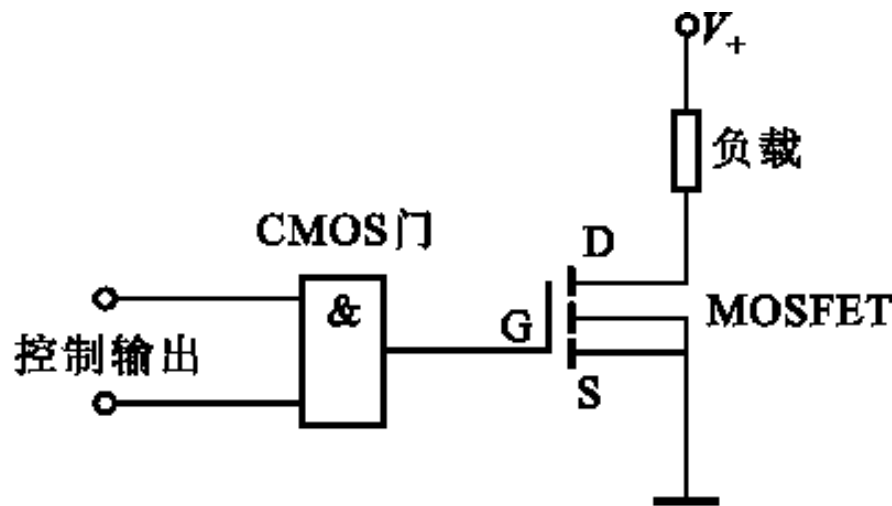


图2.13 功率场效应管的典型使用方法

集成功率电子开关输出

集成功率电子开关是一种可由数字电路直接驱动的直流电子逻辑开关，具有开关速度快、无触点、无噪声、寿命长等特点，一般用于直流负载且电流不大（几安培以下）的场合，有时也可在交流场合使用，常用于微电机、电磁阀的驱动或取代机械触点或继电器作为开关量输出器件。常用的集成功率电子开关有 TWH8751、TWH8728 等。

图2.14是TWH8751的引脚图，其中 V_+ 和 V_- 是外接电源的正端和地、 V_{IN} 是输入端、 S_T 是控制端、 V_O 是输出端，当输入端的电平高于控制端的电平时，输出端导通。图2.15是TWH8751作为直流输出开关的接线方法，当 S_T 为低电平时，负载得电。

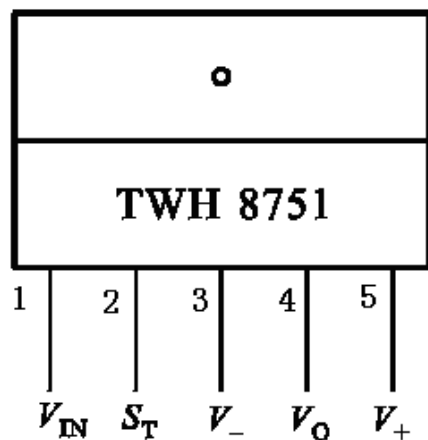


图2.14 TWH8751的引脚图

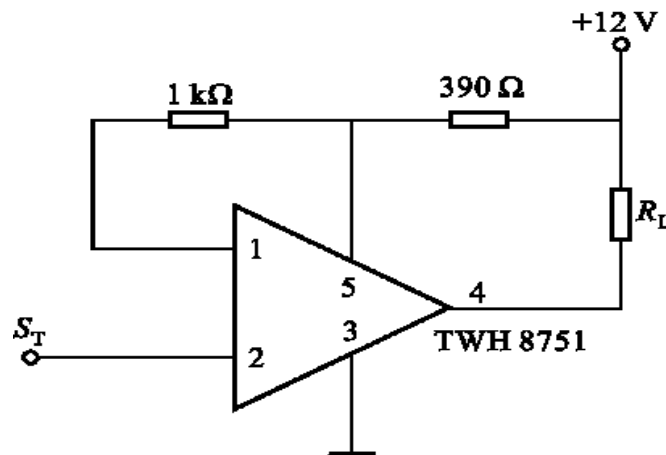


图2.15 TWH8751作为直流输出开关

2.3 模拟量输入

生产过程中的随时间连续变化的物理量，如温度、压力、流量、液位、湿度等，由传感器检测并转换为模拟的电信号，通过模拟量输入通道送至计算机系统，最终经A/D转换器转化为数字量，才能交由计算机处理。

- ☐ 多路A/D转换技术
- ☐ 采样-保持器
- ☐ 模拟量输入的隔离
- ☐ 模拟输入信号的放大
- ☐ 模拟量输入信号滤波



1. 多路A/D转换技术

✓ 多路A/D转换系统的结构

- 采用集成多路A/D转换器
- 每个模拟量输入配置一个A/D转换器
- 多路模拟量输入复用一個A/D转换器

✓ 多路开关

□ 机械触点式

集成多路模拟开关

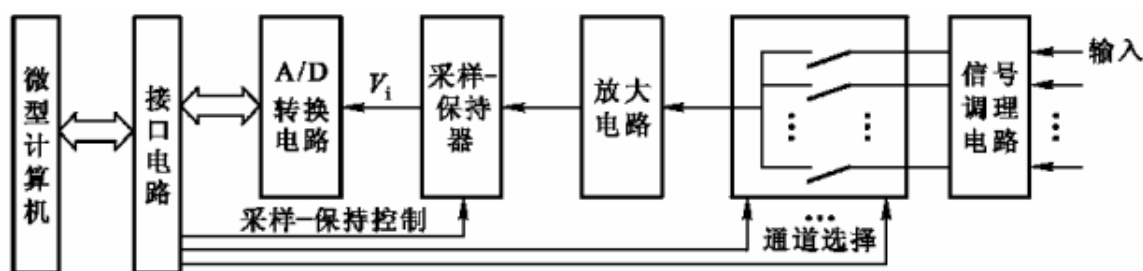


图2.16所示电路工作时，由计算机控制多路模拟开关选择某一路模拟信号，将其送至采样-保持器，再经放大、A/D转换处理变为数字量，从而完成该路模拟输入的采样与转换工作。

图2.16 多路复用方式A/D转换原理

机械触点式多路开关

机械触点式多路开关主要有干簧继电器、水银继电器等，其中干簧继电器体积小、切换速度快、噪声小、寿命长，最适合作为模拟输入的多路开关。干簧继电器的开关频率为10~40次/秒，断开时的电阻大于 $1\text{M}\Omega$ ，导通电阻小于 $50\text{m}\Omega$ ，切换动作时间约 1ms ，不受环境温度影响，可通过的电压、电流容量大，动态范围宽；与电子开关相比，其缺点是体积大、工作频率低，而且通断时有机械抖动现象，故一般用于低速高精度检测系统中。图2.17为干簧继电器的原理图，线圈通/断电就使触点接触或断开。

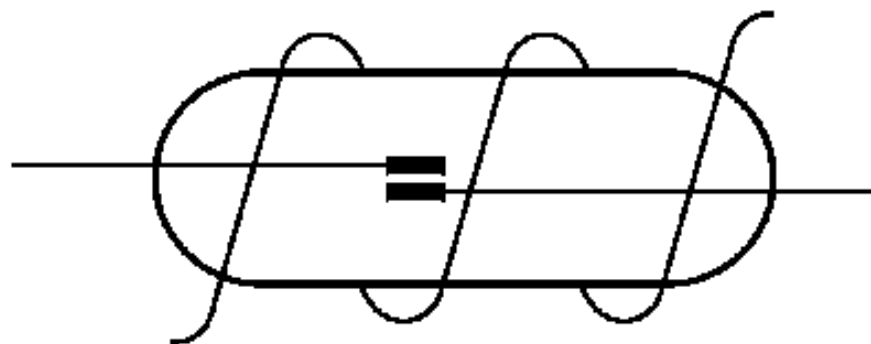


图2.17 干簧继电器的原理



集成多路模拟开关

集成模拟开关是将多路半导体模拟开关集成在一个芯片上，其特点是切换速度快、体积小、应用方便，但比机械多路开关的导通电阻大，为几十至几百欧姆，而且各通道之间有时会互相串扰。



集成多路模拟开关

图2.18是AD7501的结构，通过芯片使能端 EN 和通道选择端 A_0 、 A_1 、 A_2 ，每次只选择8个输入端中的一个与公共输出端 OUT 接通，其真值表见主教材表2.4。 EN 、 A_0 、 A_1 、 A_2 为数字信号输入，逻辑上兼容TTL/DTL或CMOS电平。

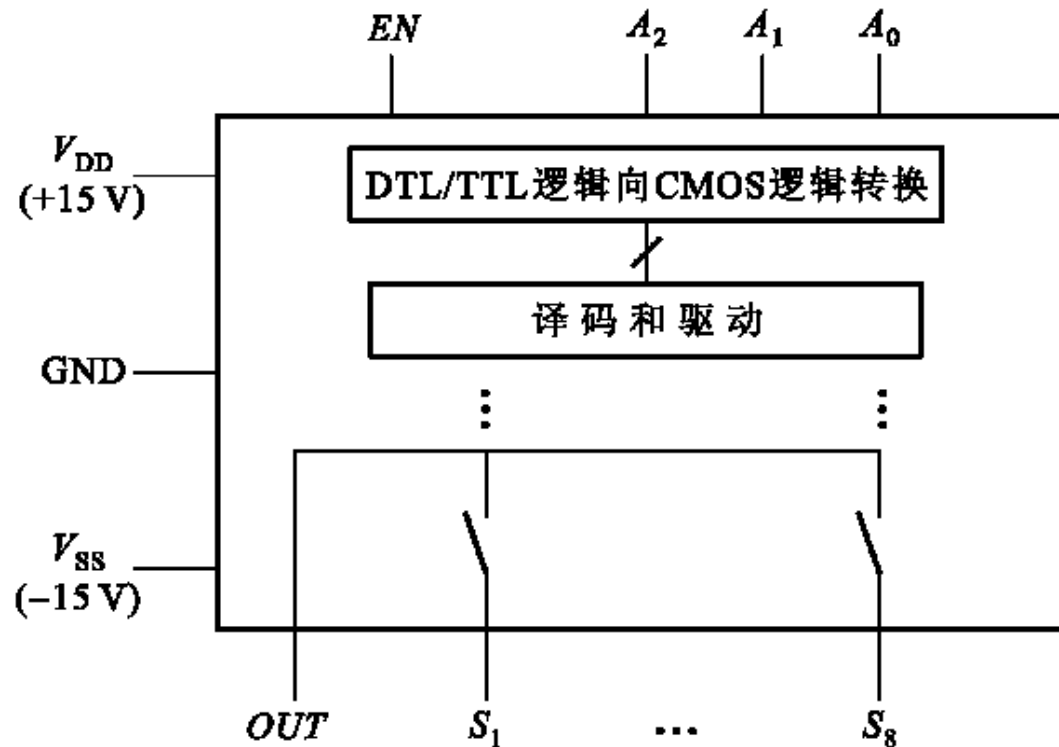


图2.18 AD7501的结构图

集成多路模拟开关

图2.19是采用AD7501构成的8路差分模拟信号输入电路，其中 V_{1i} 为第 i 路 ($i=1, 2, \dots, 8$) 模拟输入信号的正端, V_{2i} 为第 i 路 ($i=1, 2, \dots, 8$) 模拟输入信号的负端, V_+ 为输出模拟信号的正端, V_- 为输出模拟信号的负端。

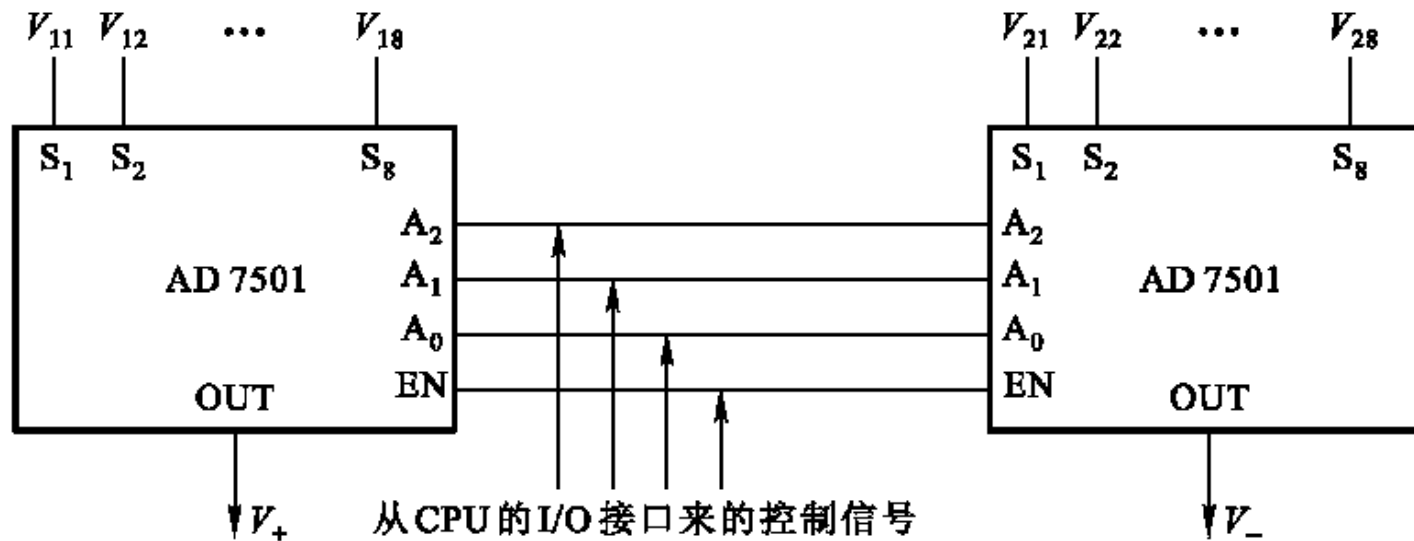


图2.19 8路差分模拟信号输入电路

2. 采样-保持器

在进行模数转换时，如果模拟信号的频率较高，就会由于A/D转换器的孔径时间(即转换时间)而造成较大的转换误差，克服的方法是在A/D转换器之前设置采样-保持电路。在计算机控制系统中，一般采用集成的采样-保持器。

□ LF398



LF398

图2.20是LF398的电路原理，放大器 A_2 作为比较器来控制开关S的通断，若 IN_+ 的电压高于 IN_- 的电压，则S闭合，由 A_1 、 A_3 组成跟随器，并向 C_H 端外接的保持电容充电； IN_+ 的电压低于 IN_- 的电压时，则S断开，外接电容保持S断开时刻的电压，并经 A_3 组成的跟随器输出至输出端。

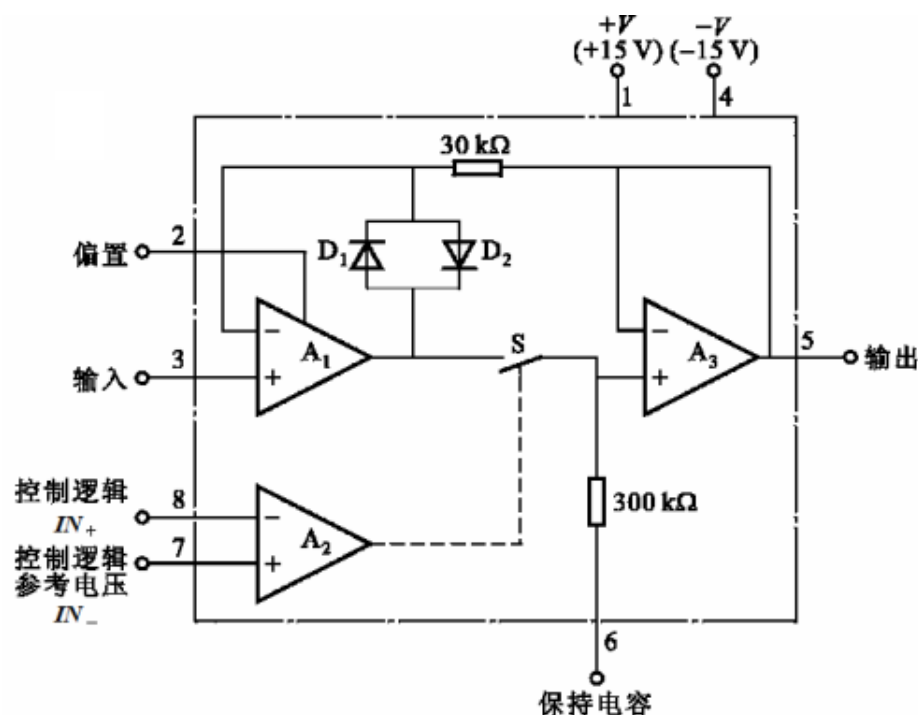


图2.20 LF398的电路原理

LF398

图2.21是LF398典型应用电路。控制端 V_C 为高电平时，处于采样状态，输出跟随输入；控制端 V_C 为低电平时，处于保持状态，输出保持 V_C 由高电平向低电平跳变瞬间的输入电压数值。引脚2所接的电阻用于直流调零，反相器及其所接电阻、电容用于交流调零。

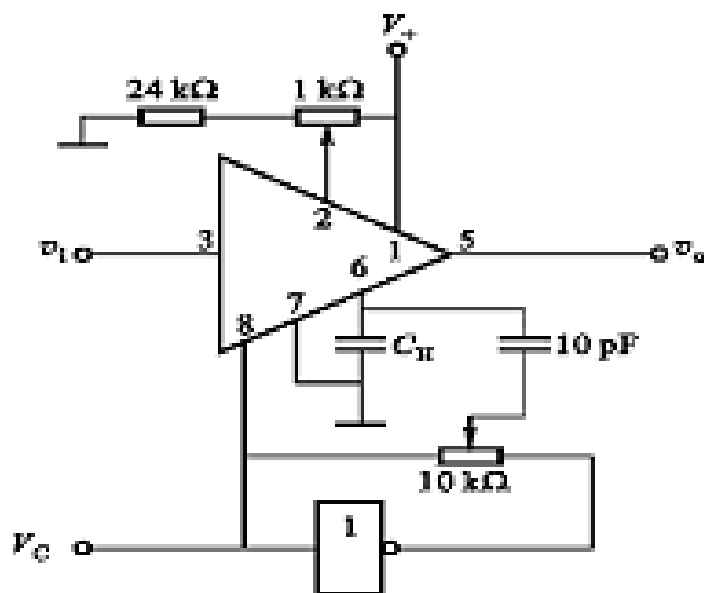


图2.21 LF398的典型应用

3. 模拟量输入的隔离

出于对系统抗干扰、噪声抑制及安全等因素的考虑，往往对模拟量信号输入进行隔离。根据具体情况，可以采用以下几种措施

☐ 光电隔离

☐ 共模电压的隔离



光电隔离

在计算机控制系统中，一般在计算机接口和A/D转换电路之间实施光电隔离。这种隔离保证了模拟量信号输入部分和计算机数字处理系统之间的彻底的电气隔离，而且由于是在数字接口部分隔离，使得其实现简单、造价低廉。

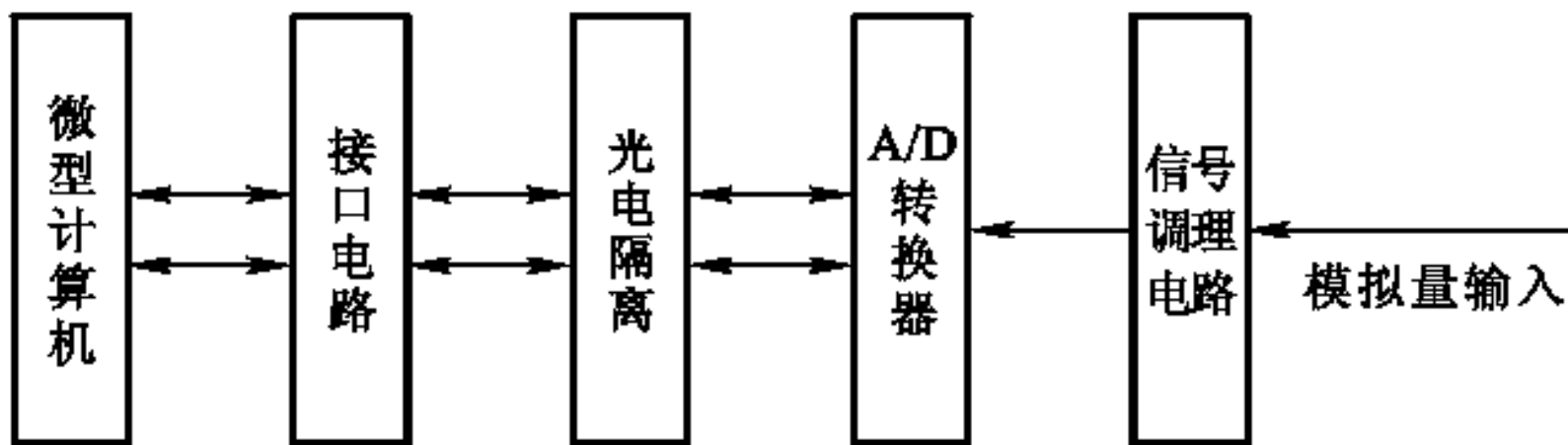


图2.22 模拟量信号输入的光电隔离

共模电压的隔离

共模电压是指多根信号线上的电压相对参考电压的相等的部分。

常用的共模电压隔离措施有以下几种：

✓ 光电隔离 这种隔离即前面所述的模拟量信号输入光电隔离技术，它实现了模拟部分和数字部分的电气隔离，能够克服光电隔离输出、输入两端设备的地线间的共模干扰，但无法克服模拟信号之间的共模干扰。

□ 电容隔离技术

□ 隔离放大器

电容隔离技术

原理见图2.23。平时，开关 $S_{1i}(i=1,2,\dots,n)$ 处于闭合状态， C_i 的电压跟踪 V_i 的输入值，开关 $S_{2i}(i=1,2,\dots,n)$ 处于断开状态。需检测 V_i 时，则令 S_{1i} 断开， S_{2i} 闭合，放大器A的输出经采样-保持器送至A/D转换器化为数字量，然后开关再恢复平时的状态。在采样、转换过程中，放大器A不与任何模拟量信号输入共地，电容 C_i 的电压均为差模电压，这样就克服了共模电压的影响。

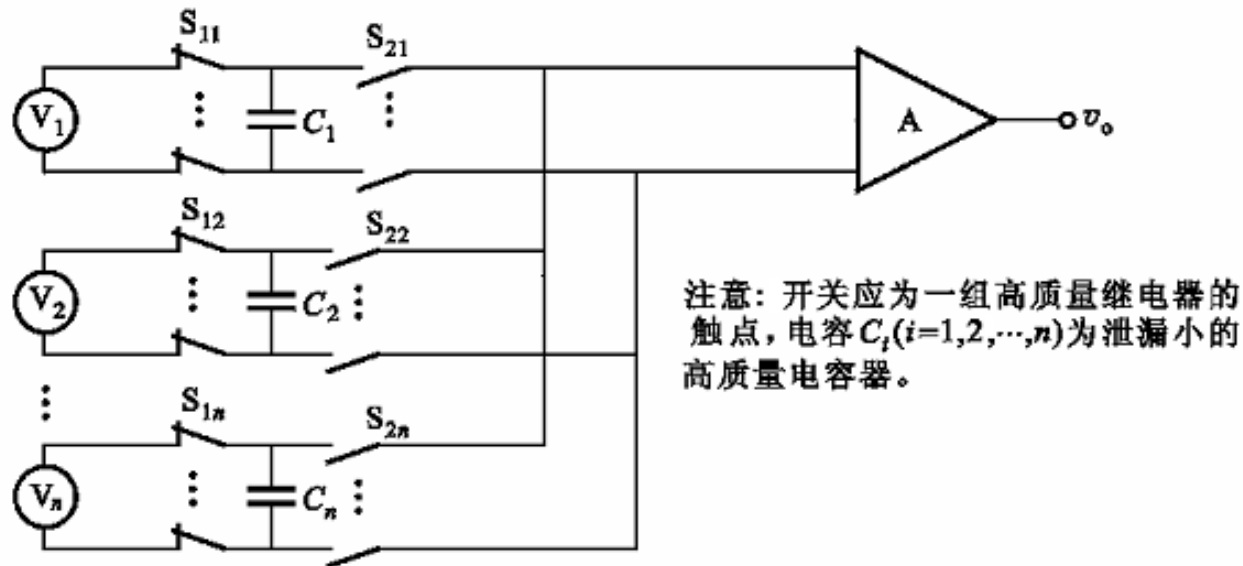


图2.23 共模电压的电容隔离技术

隔离放大器

隔离放大器包括高性能的运算放大器、调制解调器、信号耦合变压器、输出运算放大器、滤波器和电源几个部分。输入、输出和电源都是由变压器隔离的，没有任何电路连接，从而实现了输入信号、输出信号及电源的隔离。图2.24给出了GF289型集成隔离放大器的原理图。

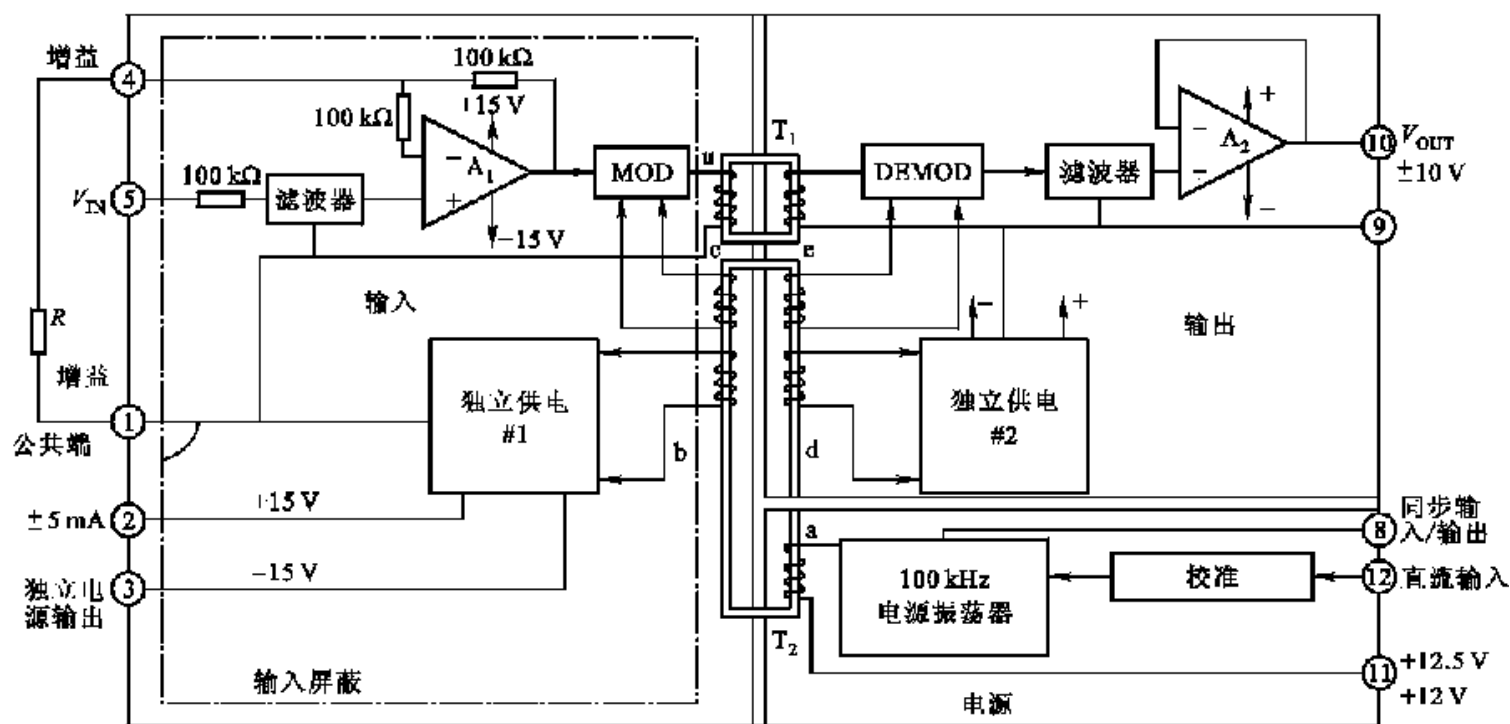


图2.24 GF289型集成隔离放大器原理图

隔离放大器

图2.25介绍了GF289型集成隔离放大器的典型接线。
若每一路模拟量信号输入都采用这种放大器隔离，就可以从根本上消除共模电压的影响。

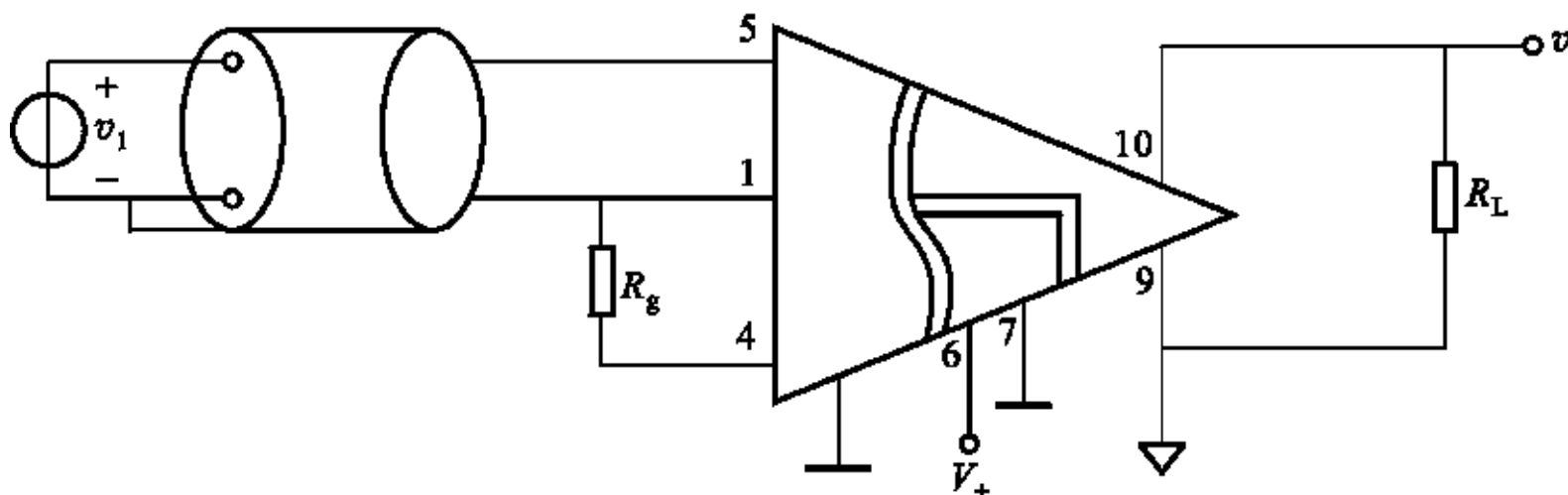


图2.25 GF289型集成隔离放大器的典型接线

4. 模拟输入信号的放大

传感器的输出信号通常都是弱信号，需经放大才能进行A/D转换，信号放大是控制系统中不可缺少的环节。集成放大器体积小、精度高、可靠性好、开环增益大，利用它们可构成比例、加减、积分、微分等运算，因此得到广泛应用。

☐ 测量放大器

☐ 程控增益放大器



测量放大器

传感器的输出信号一般较弱，且其中含有各种共模干扰，这就要求对其放大的电路具有很高的共模抑制比和高增益、高输入阻抗、低噪声，习惯上称这种放大器为测量放大器或仪表放大器。图2.26是四个运放构成的仪表放大器电路，其中，运算放大器 $A_1 \sim A_3$ 构成仪表放大器， A_4 用于实现零输出的综合补偿。

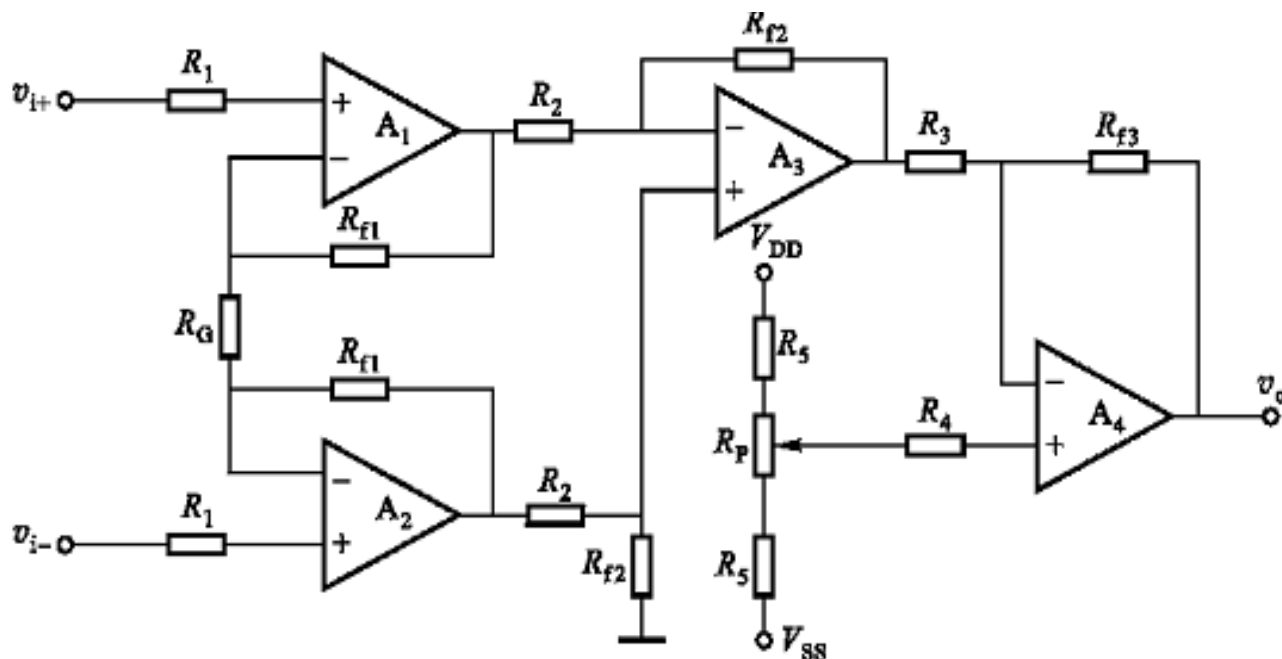


图2.26 四个运放构成的仪表放大器电路

测量放大器

集成仪表放大器外接元件少，无需精密匹配电阻，使用灵活，能够处理从几微伏到几伏的电压信号，可对差分交/直流信号进行精密放大，适合于快速采样，能够抑制从直流到数百兆赫频率的噪声信号。常用的集成仪表放大器有AD521、AD522、ZF603、ZF605和BG004等。

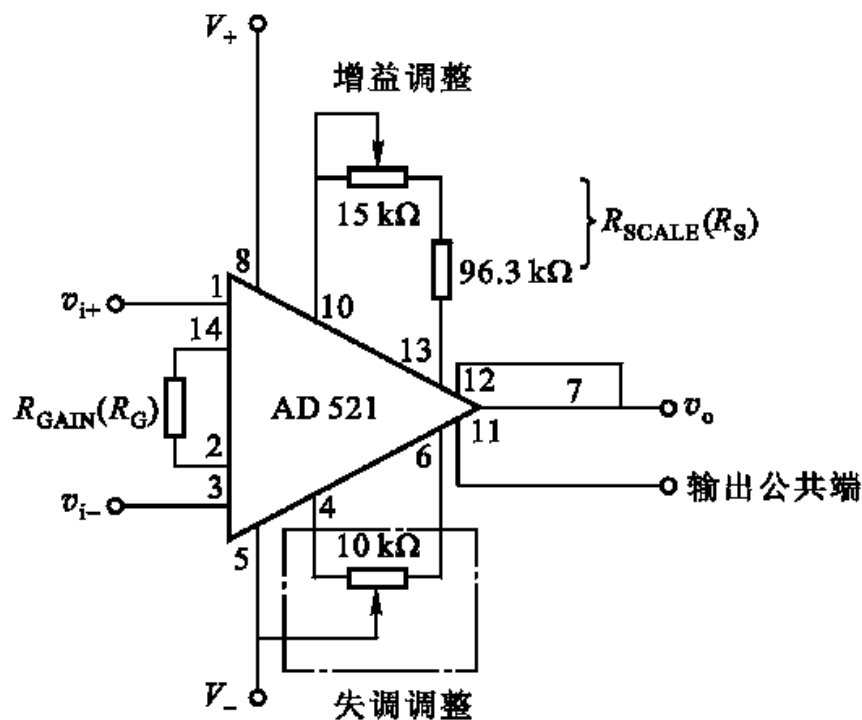


图2.27 AD521的典型接线图

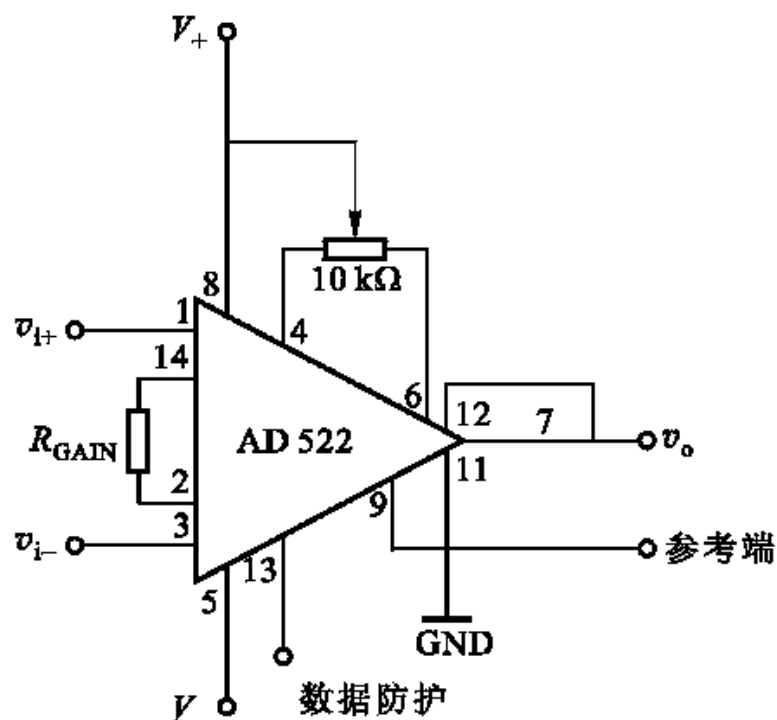


图2.28 AD522的典型接线图

程控增益放大器

为了减少A/D转换的误差，应使模拟量输入信号的幅值范围尽可能接近A/D转换器的量程。如果采用固定增益的放大电路，当输入信号幅值波动范围大时无法在输入信号的整个变化范围内实现减少误差的目的。另外，当有多路模拟量信号输入时，各信号的幅值也可能相差悬殊，采用固定增益的放大电路同样会造成大信号转换精度高而小信号转换误差大的后果。这时，可以采用程控增益放大器来解决这个问题。



程控增益放大器

图2.29是程控增益放大器的原理。模拟开关 $S_1 \sim S_3$ 由计算机程序来控制，任何时候至少有一个开关是闭合的。通常由软件控制使模拟开关中的某一个或某几个闭合，然后进行A/D转换，并由转换结果判断放大倍数是否合适，如不合适则改变开关状态，直至达到可能的最佳的放大倍数。

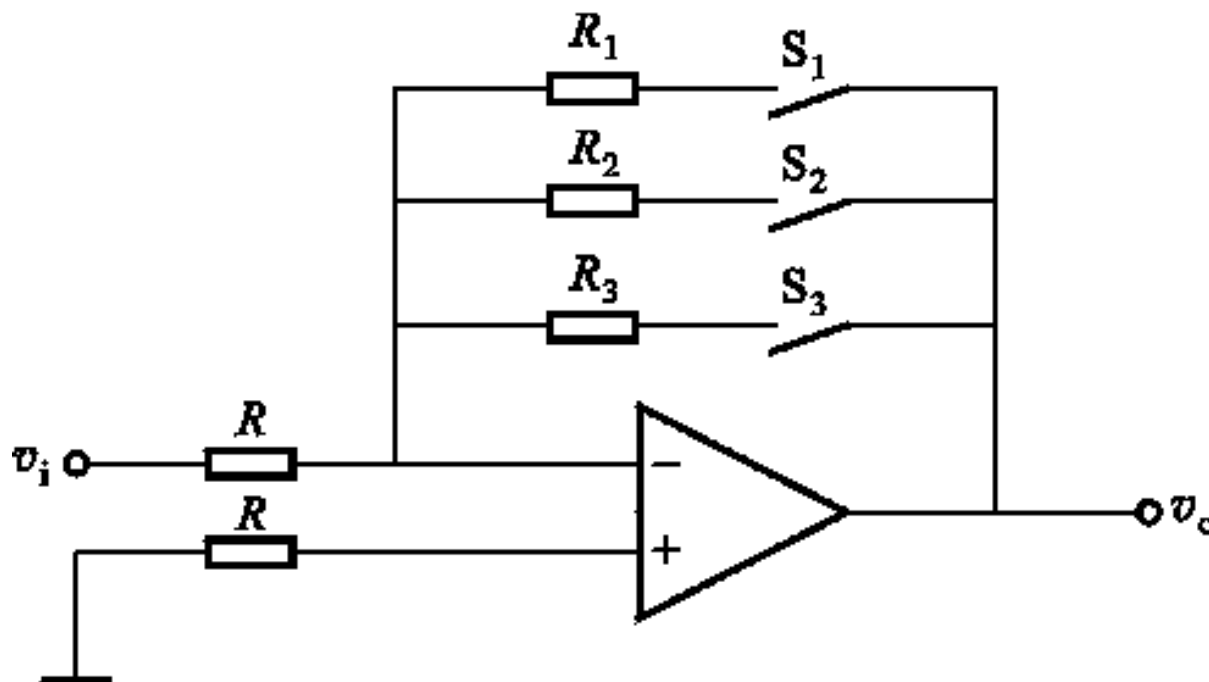


图2.29 程控增益放大器原理

程控增益放大器

图2.30是用8选1的模拟开关CD4051组成的程控增益放大器电路。图中A、B、C是输入通道地址选择端，通过计算机的并行输出口控制，每次只选中8个输入 $Y_0 \sim Y_7$ 中的一路与公共端COM接通。此电路可实现8种不同的放大倍数。

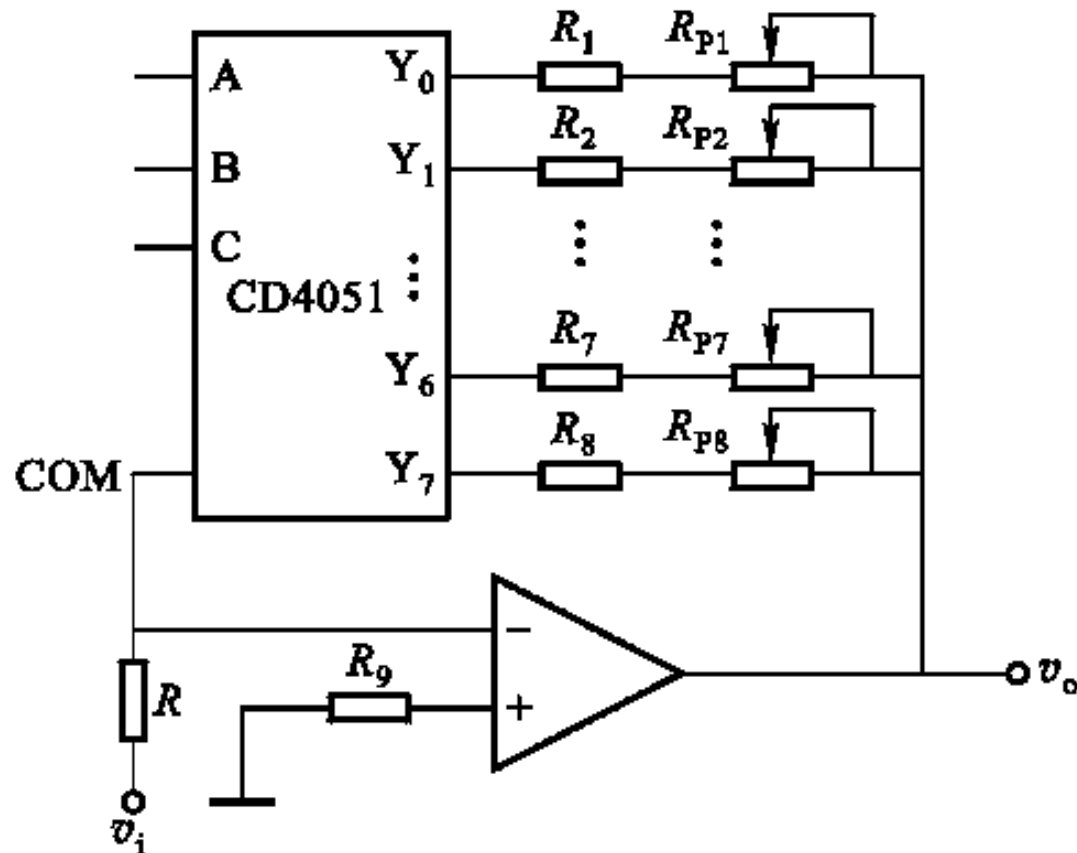


图2.30 CD4051组成的程控增益放大器

5. 模拟量输入信号滤波

工业现场的环境往往非常恶劣，致使由传感器得到的模拟量信号中混有噪声信号，用长线传输时尤为突出，严重时噪声信号可能淹没真实信号，如不加处理，就会导致系统控制失败。因此，必须进行模拟量信号滤波处理以抑制噪声，提高信噪比。硬件滤波是指在模拟信号进入A/D转换器前，用硬件电路进行滤波。通过合理的滤波电路的设计，可以滤除模拟输入信号中的特定频段的噪声信号。按是否采用有源器件，滤波器可以分为有源滤波器和无源滤波器两大类；按滤波的频段，又可以分为低通滤波、高通滤波、带通滤波和带阻滤波。

□ FLT-U₂集成RC滤波器



FLT-U₂集成RC滤波器

FLT-U₂是采用厚膜混合集成技术制造的，其内部有四级运放和RC元件，前三级组成滤波器，第四级是独立的，可用做增益级、缓冲级或形成附加单极点的滤波器。FLT-U₂的工作电源电压范围宽，可为 $\pm 5 \sim \pm 15\text{V}$ ，输入阻抗达 $5\text{M}\Omega$ ，频率范围为 $0.001 \sim 2 \times 10^6\text{Hz}$ ， Q 值（特征频率下的滤波电路的电压放大倍数的模与通带电压放大倍数之比）范围在 $0.1 \sim 1000$ 之间，通带截止频率准确度为 $\pm 5\%$ ，单位增益带宽为 5MHz 。

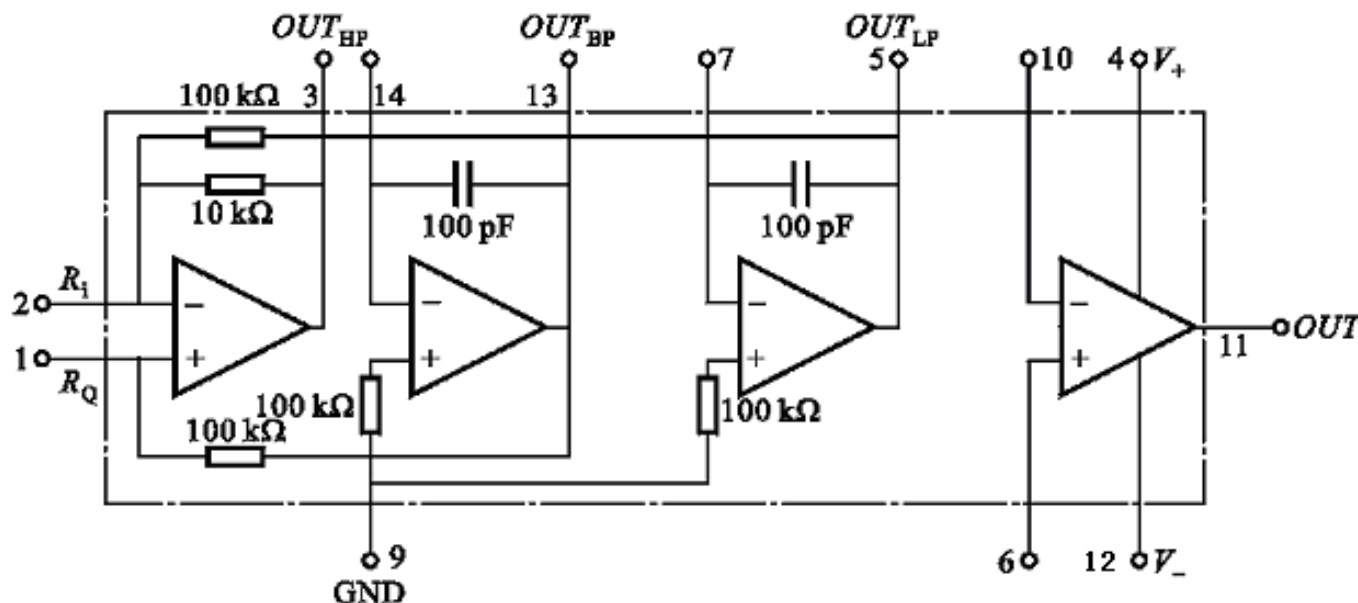


图2.31 FLT-U₂的电路原理图

FLT-U₂集成RC滤波器

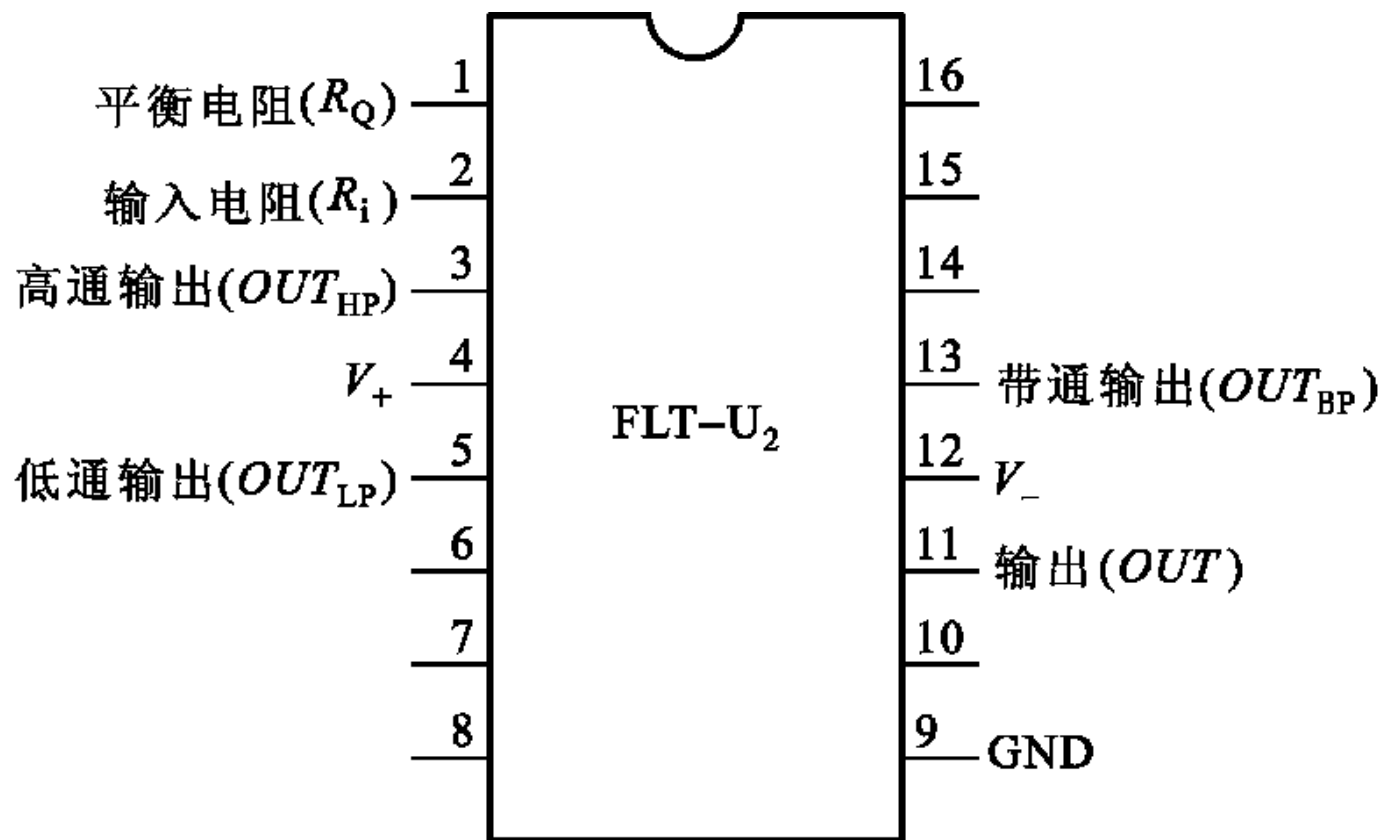


图2.32 FLT-U₂的外部引脚图

FLT-U₂集成RC滤波器

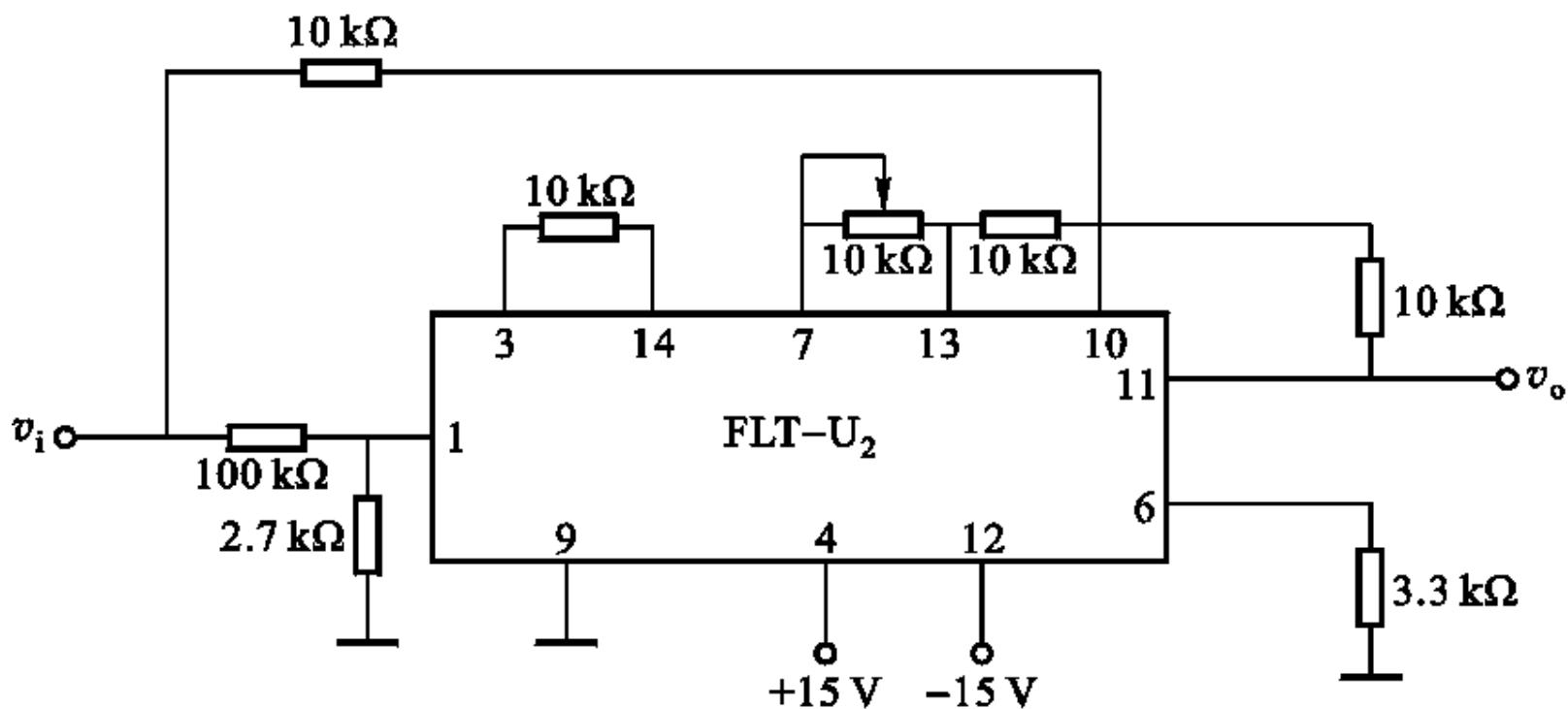


图2.33 FLT-U₂的典型应用线路图



2.4 模拟量输出

在计算机控制系统中，有些被控对象或执行机构需要模拟量信号输入，这就要求计算机把计算好的数字控制量转换为模拟量信号输出出去。从数字量到模拟量的转换，一般采用集成D/A转换器实现。



模拟量信号输出的两个共性问题

由于D/A转换器的种类繁多，不同种类的D/A转换器的具体使用方法也不尽相同。此处仅介绍模拟量信号输出的两个共性问题：

✓ 多通道D/A转换系统设计

- ☐ 每一个通道设置一个独立的D/A转换器

- ☐ 多通道共用一个D/A转换器

✓ 模拟量信号输出的光电隔离



每通道设置一个独立的D/A转换器

这种方案的优点是转换速度快、精度高、工作可靠，即使某一通道出现故障也不会影响其他通道的工作，相应软件的编制也比较简单。但是，如果模拟量信号输出通道较多，就会使系统造价增加很多，尤其是采用高精度的D/A转换器时，这一问题尤为严重。



多通道复用一個D/A转换器

这个方案是由计算机通过多路模拟开关分时地把一个D/A转换器的输出送至各个采样-保持放大器，并由保持电容对模拟量信号进行保持。该方案优点是成本较低，缺点是电路结构复杂、精度低、可靠性差，受运算放大器的输入阻抗、模拟开关和保持电容的漏电阻等因素的影响，导致保持电容上的电压信号逐渐衰减，需要计算机定时刷新输出，也因此占用了CPU的大量时间。此方案适用于输出通道不多且对速度要求不高的场合。

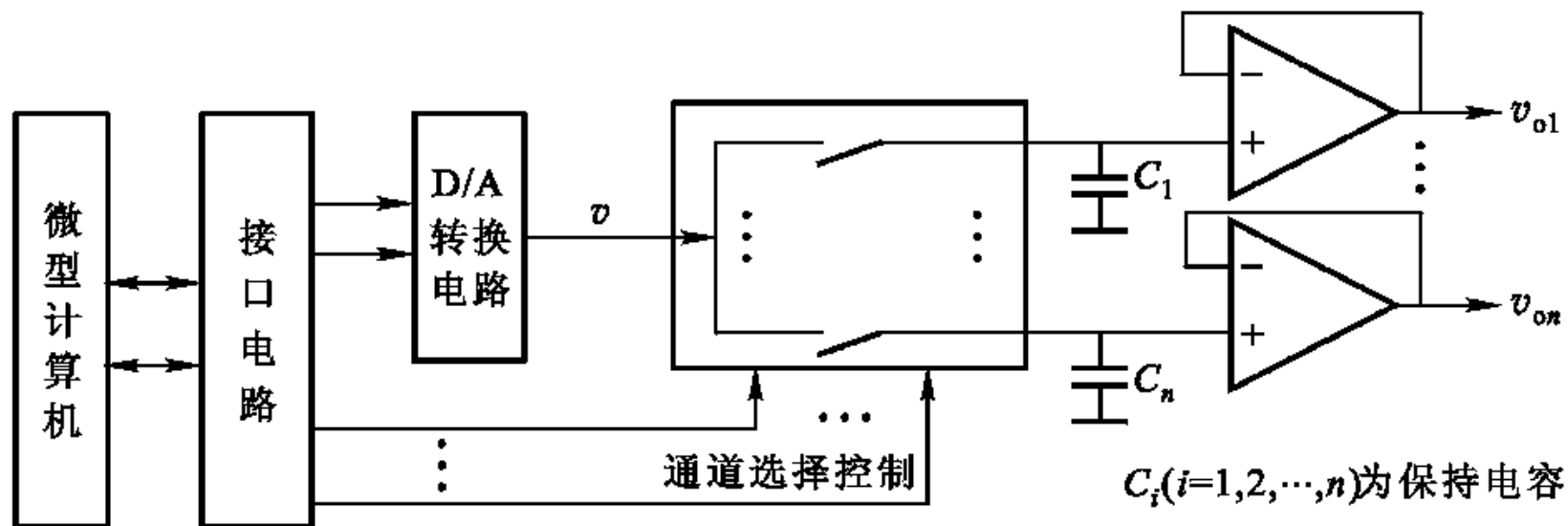


图2.34 多路复用方式D/A转换原理

模拟量信号输出的光电隔离

在工业现场应用中，为了消除公共地线带来的干扰，提高系统的安全性和可靠性，应采用光电隔离措施来隔离计算机控制系统与现场被控设备。模拟量信号输出的光电隔离，一般在计算机与D/A转换器之间的数字接口部分进行，其原理见图2.35。注意对模拟开关的通道选择控制部分也应采取光电隔离措施。

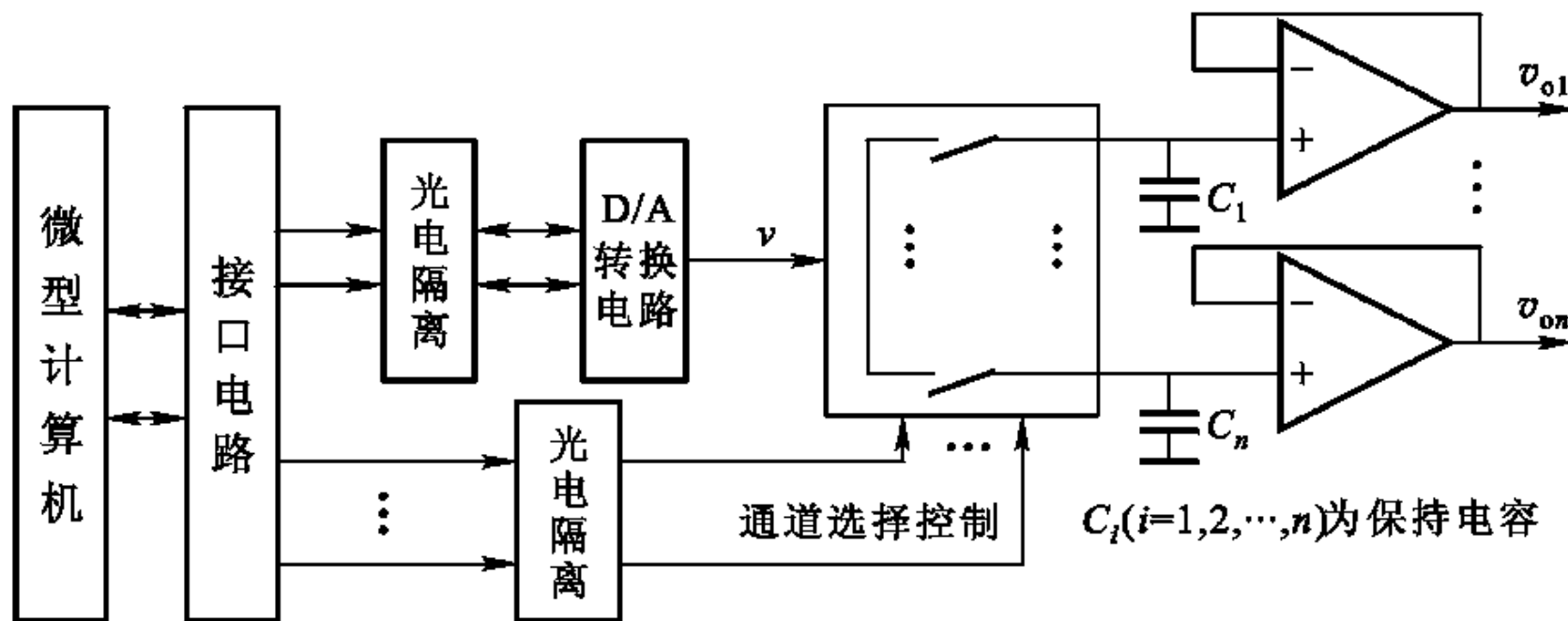


图2.35 带光电隔离的多通道复用方式D/A转换的原理图



2.5 计算机控制系统中的电源

- ☐ 交流电源系统
- ☐ 直流稳压电源设计
- ☐ 基准电源
- ☐ 隔离电源





1. 交流电源系统

交流电源通常和电网相连接，然而，工业现场的电网所接负载极其复杂，导致电网出现浪涌、尖峰、过压、欠压等现象，给计算机控制系统的运行带来了严重的干扰，甚至会使系统无法正常工作。因此，除按需要设计、计算有关交流电源系统的电路和参数外，还要考虑交流电源的净化问题。



2. 直流稳压电源设计

在计算机控制系统中，不同的场合需要用到不同电压等级的直流稳压电源供电，如 $\pm 5\text{V}$ 、 $\pm 12\text{V}$ 、 $\pm 15\text{V}$ 、 18V 和 24V ，等等。下面，介绍一下直流稳压电源的一般设计方法。

直流稳压电源可以采用分立元件设计，但更多的采用集成稳压器来设计。集成稳压器具有体积小、可靠性高、成本低、使用方便等优点。

☐ 几种常用的集成稳压器





几种常见的集成稳压器

✓ 三端输出电压固定式集成稳压器

□ W7800系列三端固定式正输出集成稳压器

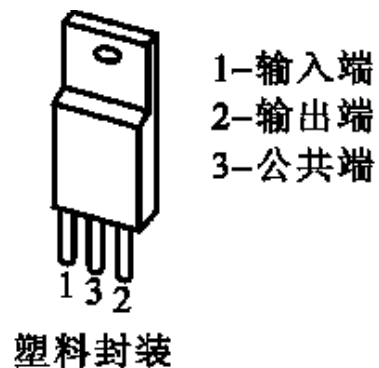
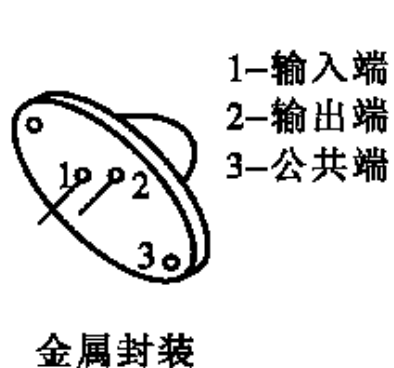
□ W7900系列三端固定式负输出集成稳压器

✓ 三端输出电压可调式集成稳压器

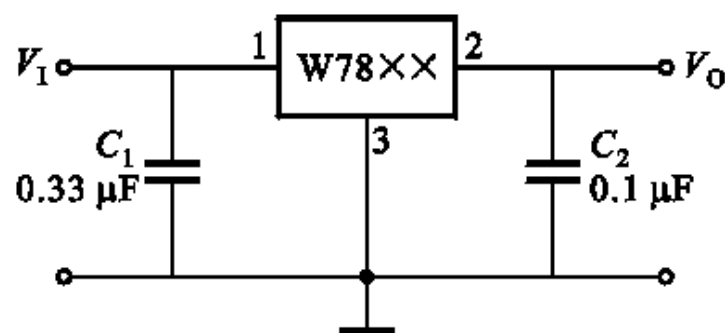


W7800系列三端固定式正输出 集成稳压器

该系列器件只有输入端1、输出端2和公共端3。其外形、管脚和接法见图2.36。使用时需在输入端和输出端与公共端之间各并联一个电容。 C_1 是输入滤波电容，一般为 $0.33\mu\text{F}$ ，用来改善纹波和抑制高频干扰。 C_2 是输出电容，一般为 $0.1\mu\text{F}$ ，用于改善负载的瞬态响应。根据需要可以附加其他的输入滤波电容和输出电容。



(a) 外形



(b) 接线图

图2.36 W7800系列集成稳压器

W7900系列三端固定式负输出集成稳压器

W7900系列是三端固定式负输出集成稳压器，它与W7800系列稳压器在使用的接法上基本相同。值得注意的是W7800系列的管壳是公共端，而W7900系列的管壳为输入端。

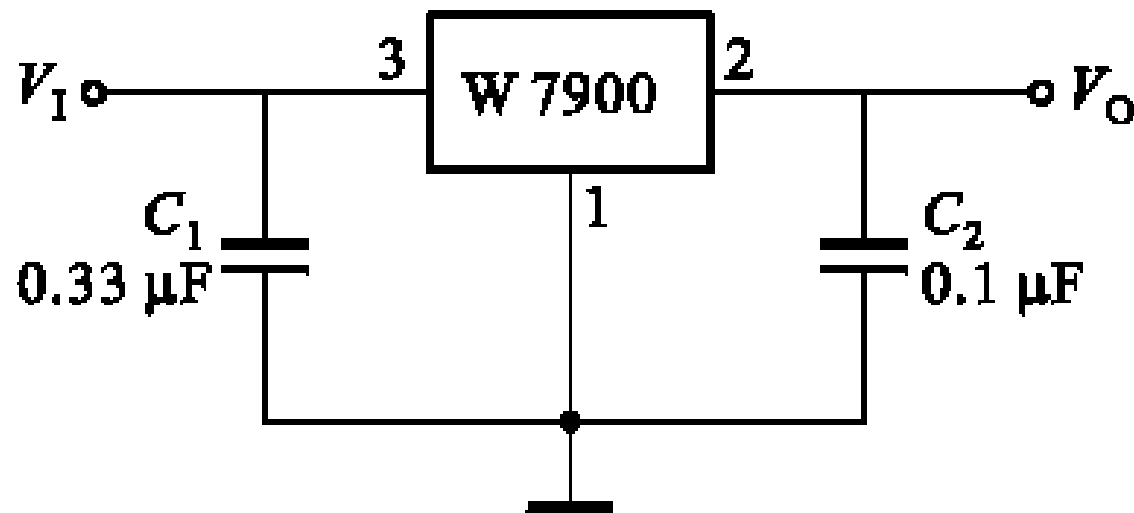


图2.37 W7900系列典型接线图

三端输出电压可调式集成稳压器

✓ W117、W217、W317正输出三端电压可调式集成稳压器

✓ W137、W237、W337负输出三端电压可调式集成稳压器

W137、W237、W337是负输出三端电压可调式集成稳压器，其主要参数和主教材表2.8基本相同，但输入、输出电压均为负值。





W117、W217、W317三端 电压正输出可调式集成稳压器

W117、W217、W317是正输出三端电压可调式集成稳压器，使用方便，内部具有过热、过流等保护措施，比W7800系列稳压器有更高的稳压精度。



W117、W217、W317三端电压正输出可调式集成稳压器

图2.40是用W317组成的可调式稳压电源，其输出电压 $V_O = V_{R1} + V_{R2}$ 。其中， V_{R1} 为电阻 R_1 两端的电压，也即为W317的3脚和1脚之间的基准电压1.25V； V_{R2} 为可变电阻 R_2 两端的电压，满足 $V_{R2} = (I_1 + V_{R1}/R_1)R_2$ 。由于 I_1 很小可以忽略，于是 $V_O = 1.25(1 + R_2/R_1)$ ，改变 R_2 的阻值，即可改变输出电压值。若 R_2 取为6.8kΩ的电位器，可实现输出电压1.25~37V连续可调。图中 C_1 、 C_2 的作用与图2.36中 C_1 、 C_2 的作用相同。 C_0 为滤波电容， D_1 、 D_2 是稳压器的短路保护二极管，用于在输入端或输出端发生对地短路时释放在电容 C_2 或 C_3 上存储的电荷。

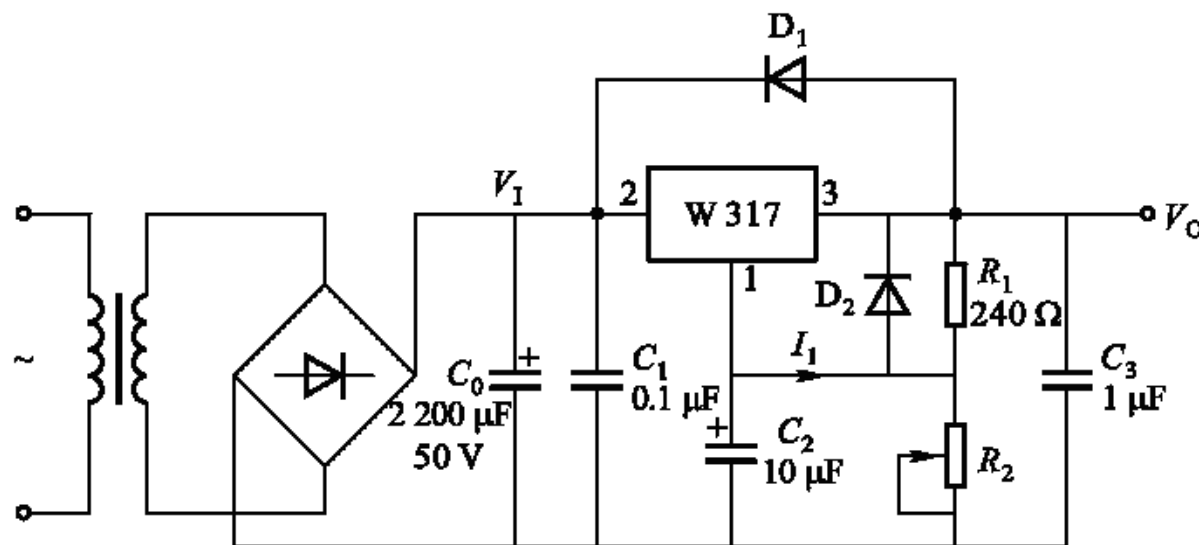


图2.40 W317组成的1.25~37V稳压电源

3. 基准电源

一般A/D、D/A转换器都需要由外部提供参考电源，在A/D、D/A转换器选定后，转换精确度主要取决于参考电源的精度；高精度放大电路需要提供高精度的工作电源，其关键也在于要有精密的参考电源，习惯上，我们常称之为基准电源。

□ AD580系列高精度电压基准集成电路





AD580系列 高精度电压基准集成电路

AD580系列高精度电压基准集成电路具有输出电压精度高、温漂小、输出噪声低和动态内阻小等优点，但输出电流能力很小，一般不能作为稳压器使用，主要用于为A/D、D/A转换电路或其他电路提供参考电源。

□ AD589

□ AD584



AD589

AD589是双端、具有温度补偿的带隙电压基准，其高稳定性主要取决于芯片上元件的匹配和热跟踪，低输出阻抗使得不需外接元件就能在负荷变化条件下保持全精度。AD589在输入电流在 $50\mu\text{A}\sim 5\text{mA}$ 之间时提供固定的 1.2V 输出电压。使用图2.41所示的线路可以得到 1.2V 或更小的基准电压。

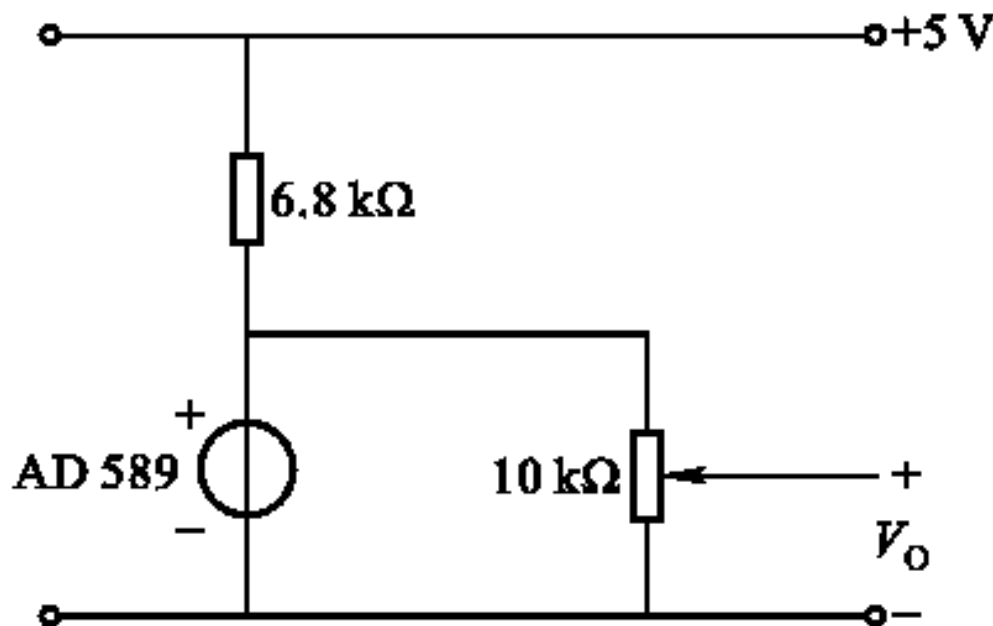


图2.41 AD589应用电路

AD584

AD584在芯片制作阶段经过激光调整，具有很好的温度系数和输出电压的稳定精度。通过引脚编程可以输出四种常用的电压，通过外接电阻还可以得到其他幅值的输出电压。输入电压可在4.5~40V之间变化。下面介绍AD584的几种应用电路。

AD584的几种应用电路

☐ 正电压基准输出

☐ 负电压基准输出

☐ 精密限流器

☐ 精密电流源

☐ $\pm 5V$ 电压跟踪基准

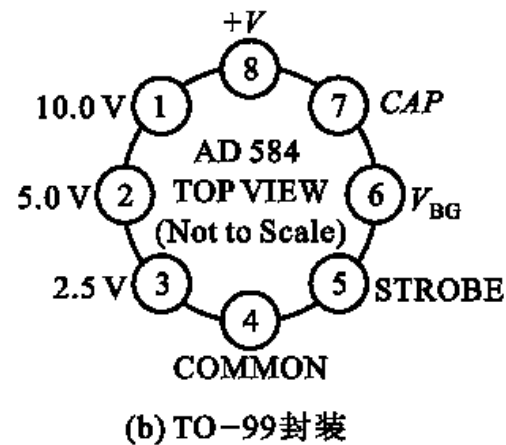
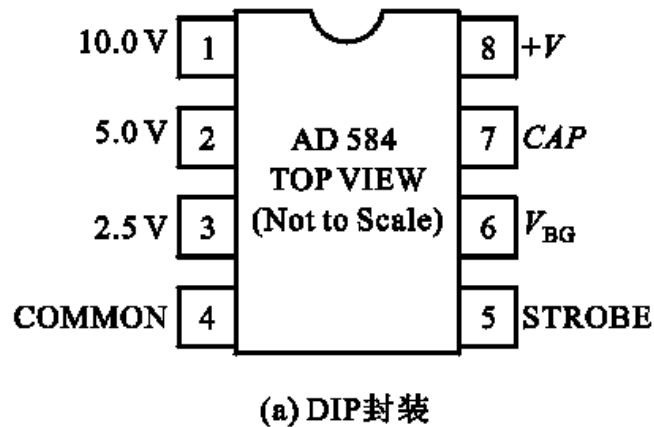


图2.42 AD584的引脚图

正电压基准输出

图2.43中，1端为基准电压输出端，2端为+5V端，3端为+2.5V端。当1端与2、3端都各自互不连接时，1端输出10.000V基准电压；若将3端和2端连接起来，1端电压输出为7.500V；若将2端和1端连接起来，1端电压则为5.000V；若将3端和1端连接起来，在1端可以得到2.500V基准电压输出。

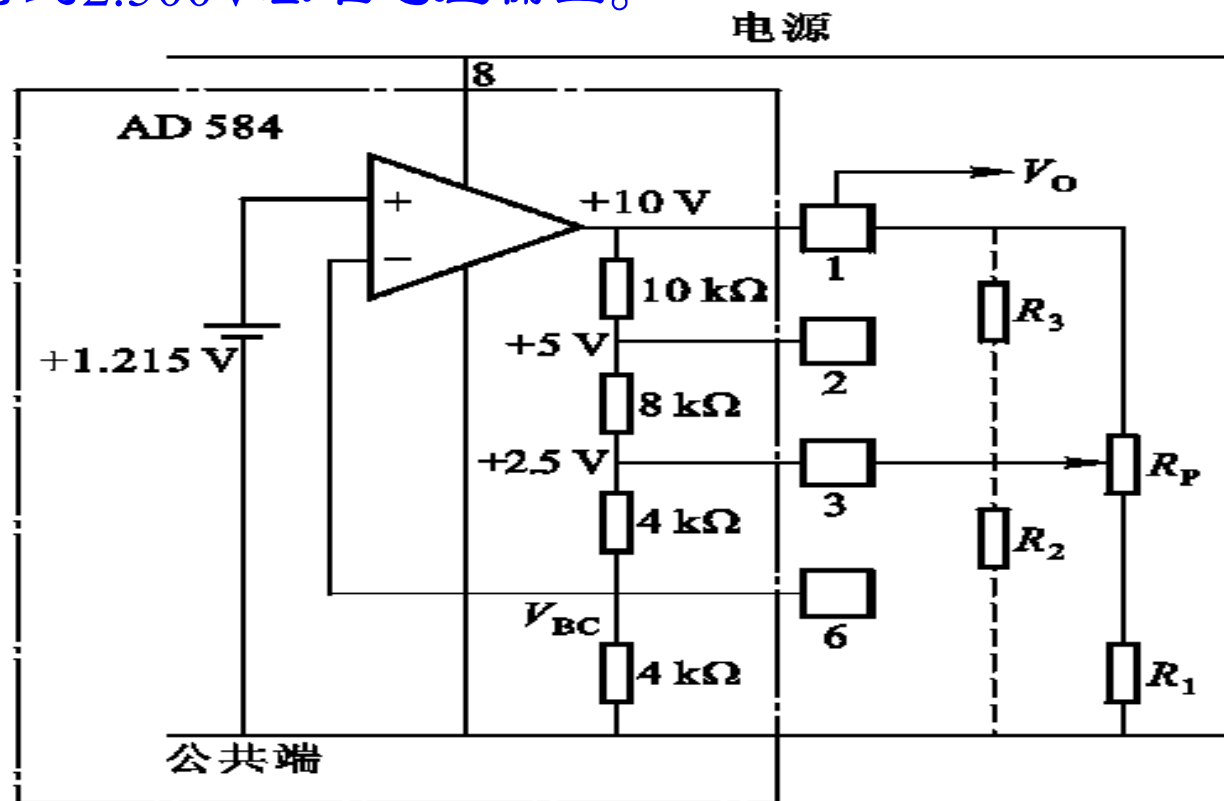


图2.43 正电压基准输出

负电压基准输出

如图2.44所示，使用双端齐纳方式的AD584，分别可以得到值为 -5.000V 、 -7.500V 和 -10.000V 的负基准电压输出。

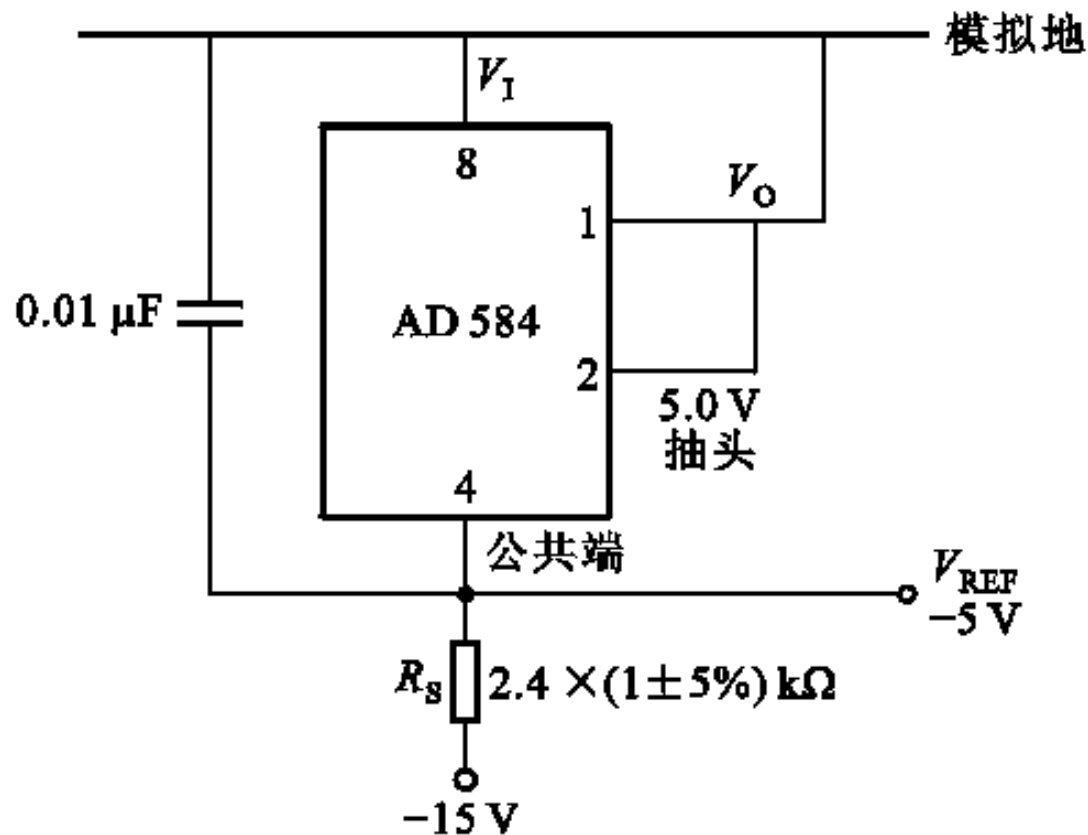


图2.44 负电压基准输出

精密限流器

应用图2.45所示的电路，AD584可被用作精密限流器。

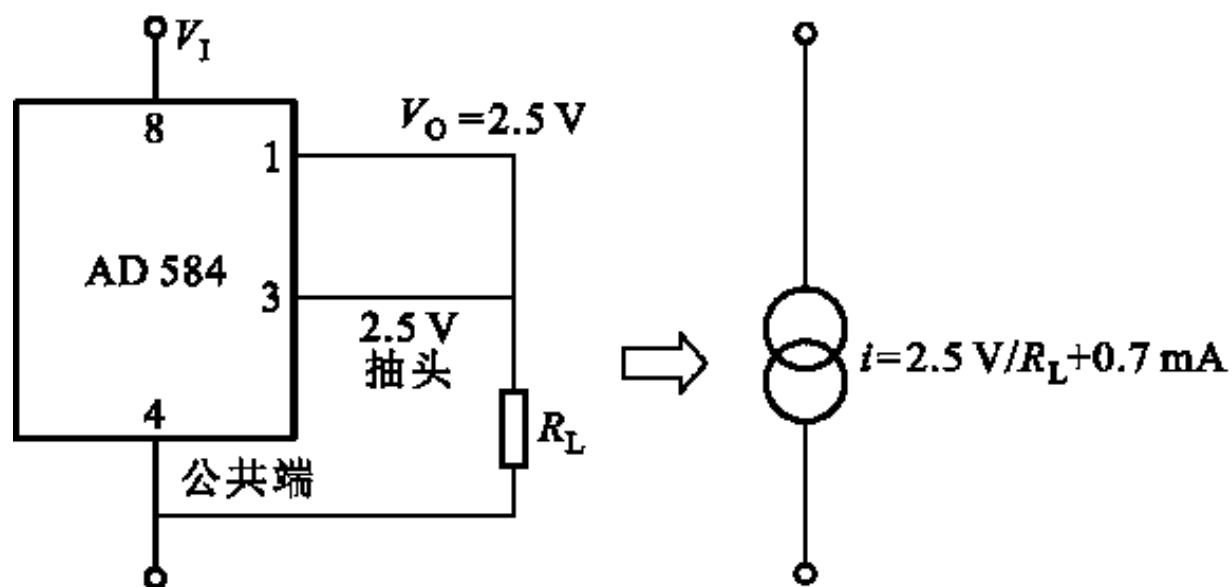


图2.45 AD584构成的精密限流器

精密电流源

AD584外接少量的元件可构成能提供小电流的电流源，应用电路见图2.46。图中 R_C 为精密电阻，其两端电压被运算放大器AD547保持在2.5V，所提供电流为 $2.5V/R_C$ ，此电路能提供低到毫安、微安级的稳定电流。

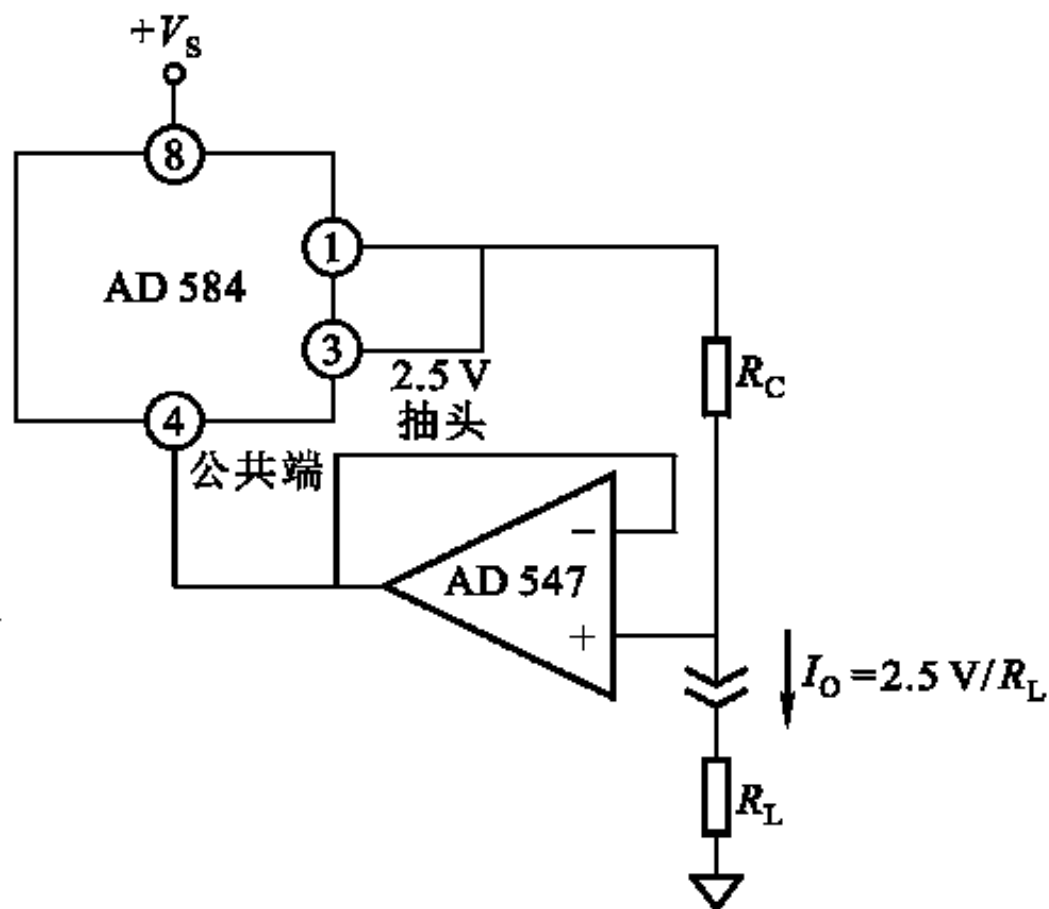


图2.46 AD584构成的精密电流源

精密电流源

若需要能提供较大电流的电流源，可使用图2.47提供的电路。

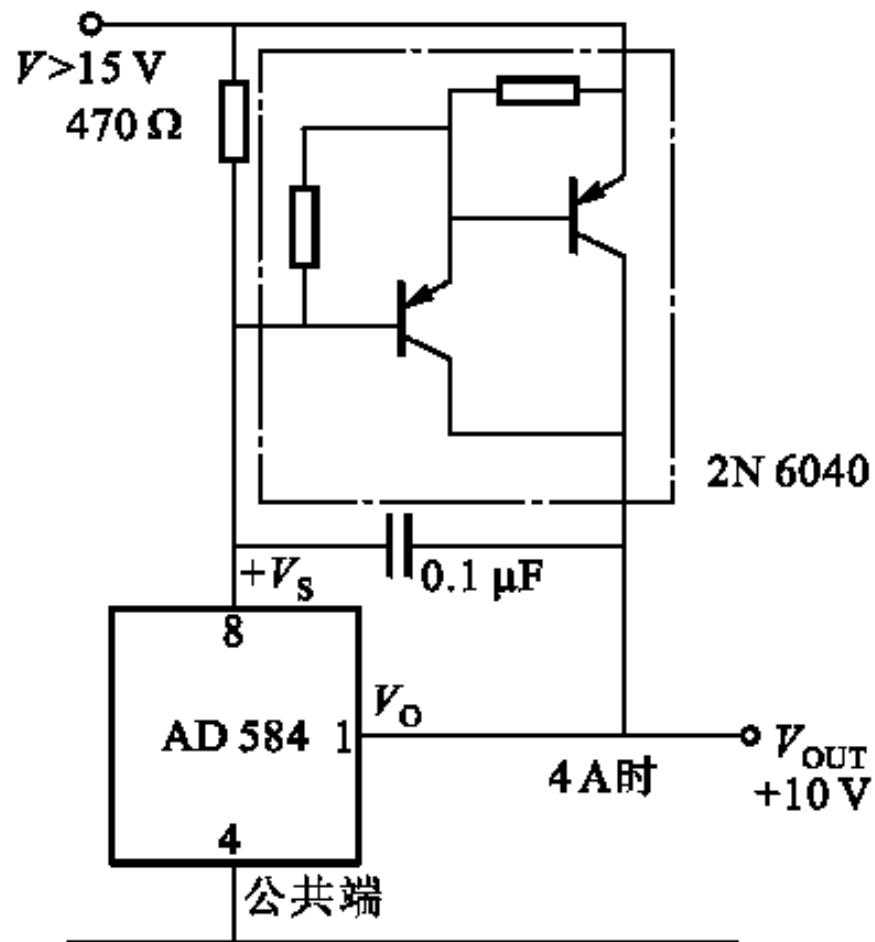


图2.47 可提供大电流的精密电流源

$\pm 5V$ 电压跟踪基准

使用图2.48所示的电路可以提供 $\pm 5V$ 电压跟踪基准。

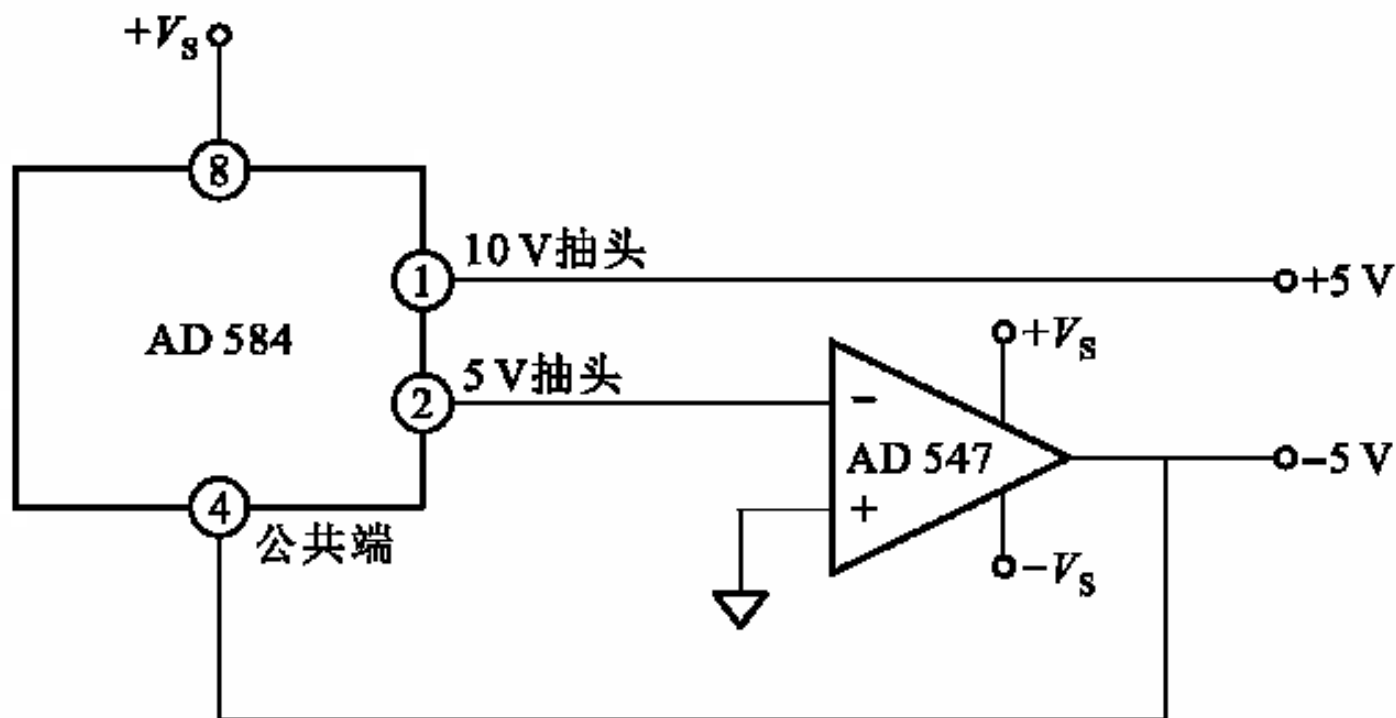


图2.48 $\pm 5V$ 电压跟踪基准

4. 隔离电源

在计算机控制系统中，为了提高系统运行的安全性、可靠性和抗干扰能力，需要使用隔离技术（如光电隔离等）用于隔离计算机系统与信号输入、输出通道以及系统中互联的单元。而实施隔离技术，最基本的要求是被隔离的各个部分由独立的或相互隔离的电源供电，以切断各个部分间的电路联系。因此，隔离电源在计算机控制系统中是不可缺少的。

□ 两种得到隔离电源的方法



两种得到隔离电源的方法

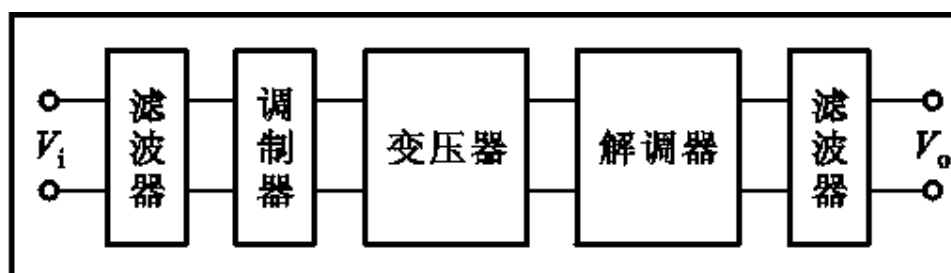
采用不同的电源变压器或相互独立的变压器二次绕组的输出为各隔离部分供电，将它们分别进行整流、稳压等处理，就可获得互相隔离的直流电源。这种方法可以有效抑制高频干扰对系统的影响及系统各部分之间的相互影响，且实现简单，但需要额外的变压器或变压器绕组，使得系统的体积变大。

采用带电压隔离的DC-DC转换器，它不仅可以实现直流电压到直流电压的隔离转换，还可以实现通道与通道之间、输出与输入之间的隔离。

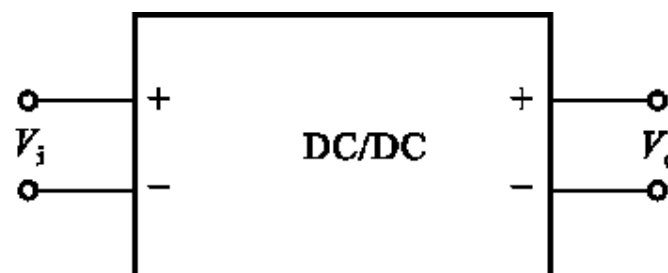


两种得到隔离电源的方法

DC-DC转换隔离电源的基本原理见图2.49。图中，输入级滤波器用于抑制来自系统电源的噪声和从调制器反馈回的脉动信号，调制器把直流信号转换为交流信号以使其可以通过变压器，由变压器实现电压转换和隔离，输出解调器分离出所需的直流电平，输出级滤波器抑制输出噪声和脉动信号。



(a) 原理



(b) 外部引线

图2.49 DC-DC转换隔离电源

两种得到隔离电源的方法

图2.50给出了DC-DC转换隔离电源的应用电路。

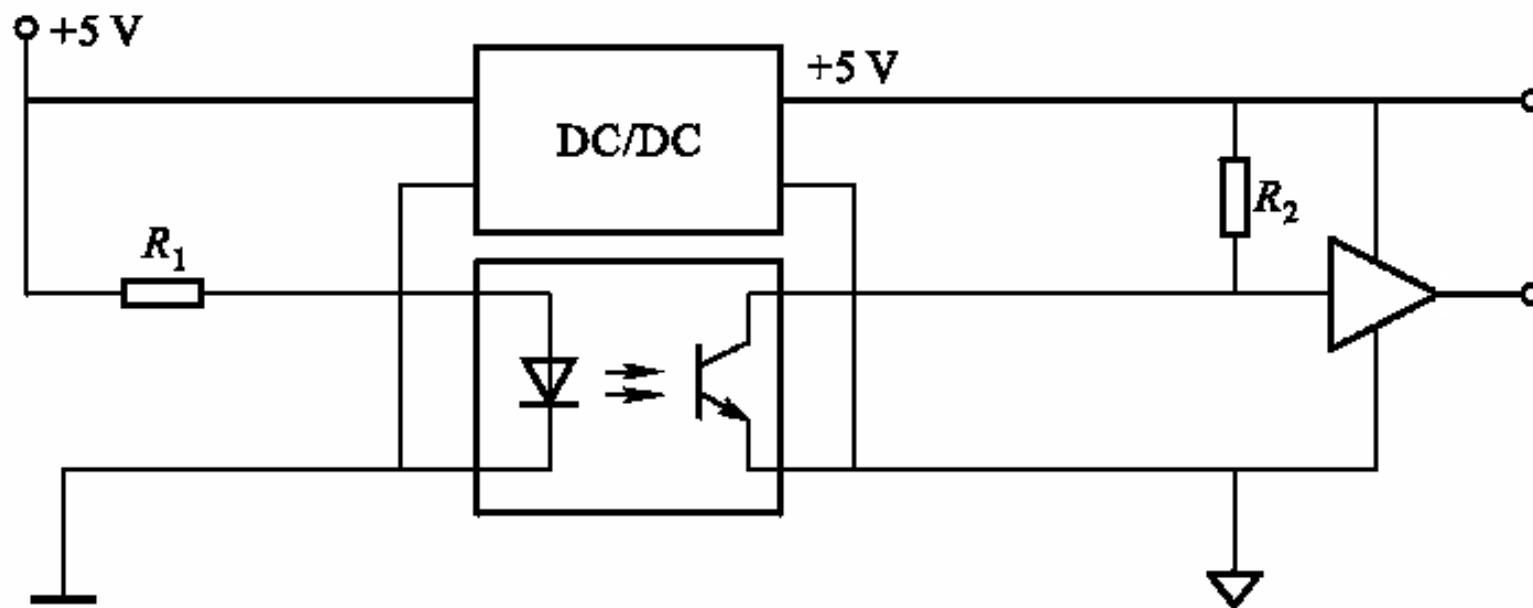


图2.50 DC-DC转换隔离电源应用



2.6 信号采样与重构

- 1. 信号类型定义
- 2. 信号采样
- 3. 采样机理描述
- 4. 采样定理
- 5. 计算机控制系统中采样周期的选择
- 6. 信号重构



1. 信号类型定义

在计算机控制系统中，存在多种类型的信号，图2.51给出了典型的计算机控制系统的结构及其各处的信号形式。

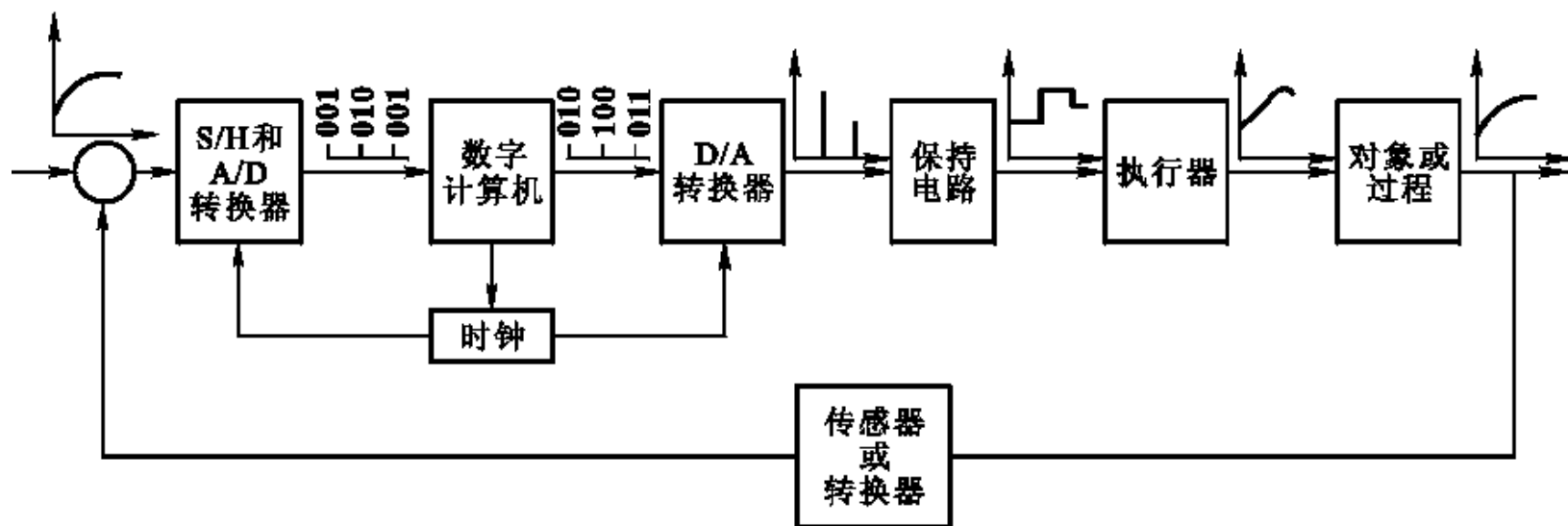
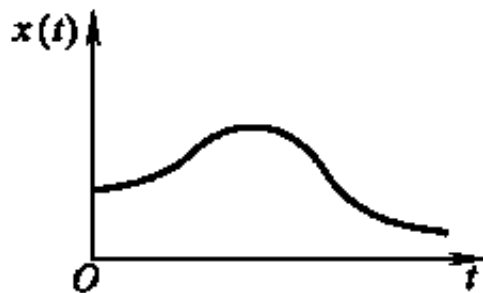


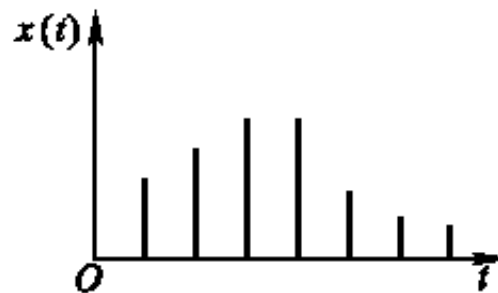
图2.51典型计算机控制系统的结构及其各处的信号形式

信号类型定义

为便于后续的描述和分析，下面定义几种类型信号，并在图2.52中给出了图解。



(a) 模拟信号



(c) 采样信号

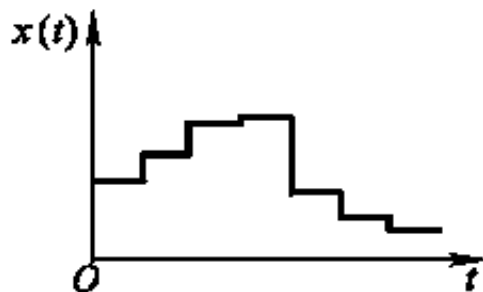
☐ 连续信号

☐ 模拟信号

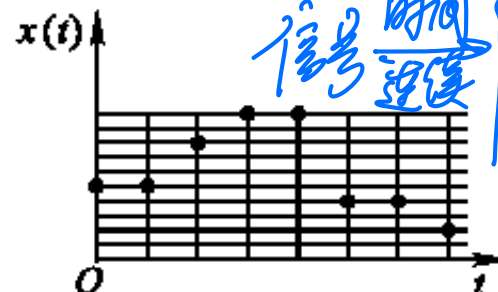
☐ 离散信号

及采样信号

☐ 数字信号



(b) 量化信号



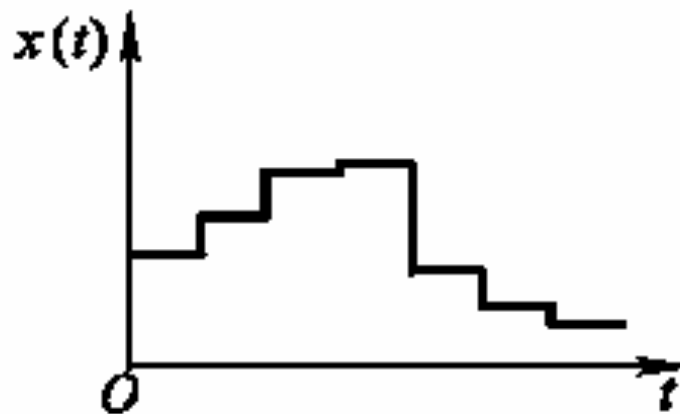
(d) 数字信号

信号时间连续
信号离散
连续信号
离散信号
模拟信号
量化信号
采样信号
数字信号

图2.52 信号类型图解

连续信号

连续信号是在整个时间范围均有定义的信号，它的幅值可以是连续的、也可以是断续的。连续信号的一种特殊情况是幅值整量化的连续信号，如D/A转换器输出的台阶式信号，这种信号称为分段连续信号。

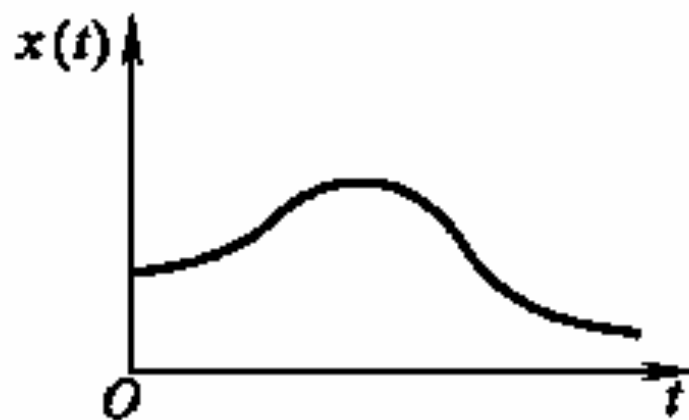


整量化信号



模拟信号

模拟信号是在整个时间范围均有定义的信号，它的幅值在某一时间范围内是连续的。模拟信号是连续信号的一个子集，在大多数场合与很多文献中，将二者等同起来，均指模拟信号。



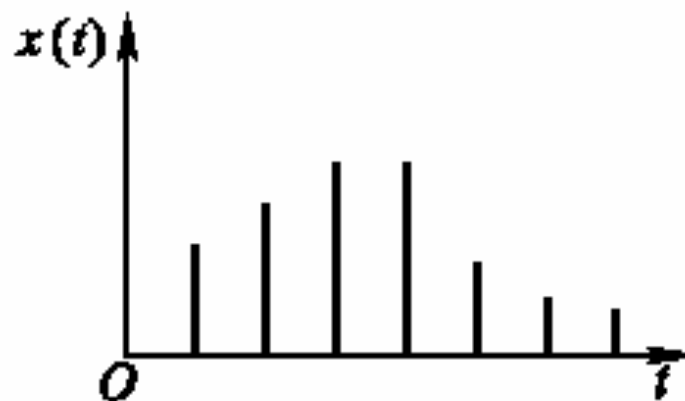
模拟信号



离散信号及采样信号

离散信号是仅在各个离散时间瞬时上有定义的信号。

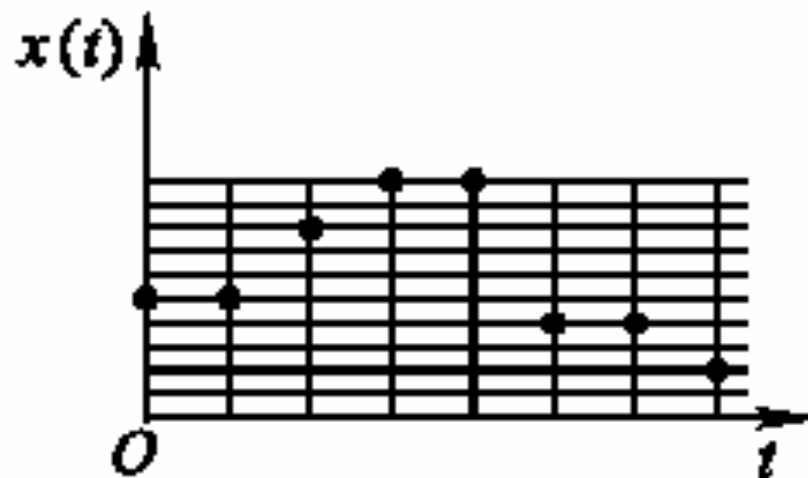
采样信号是离散信号的子集，它是取模拟信号在离散时间瞬时上的值构成的信号序列，因此其幅值可以是模拟信号的连续幅值范围内的任意值，即其在时间上是离散的，而幅值上是连续的。在很多场合中，我们提及离散信号就是指采样信号。



采样信号

数字信号

数字信号是幅值整量化的离散信号，它在时间上和幅值上均是离散的。



数字信号



2. 信号采样

采样或采样过程，就是抽取连续信号在离散时间瞬时值的序列过程，有时也称为离散化过程。

在计算机控制系统中，采样过程是不可缺少的。对时间和幅值均连续的模拟信号经过采样得到在时间上离散、幅值连续的脉冲序列，由A/D转换器整量化后才能送入计算机进行处理和运算。

完成采样操作的装置称为采样器或采样开关。

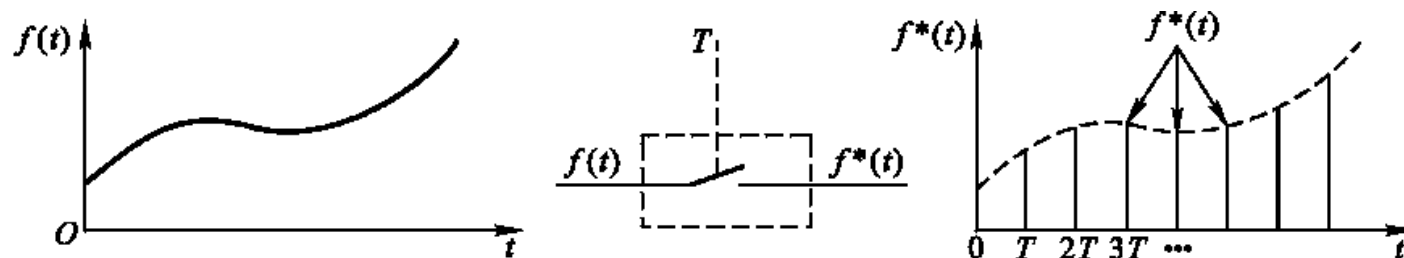


图2.53 理想采样开关的采样过程

采样类型

□ 周期采样

指相邻两次采样的时间间隔相等，也称为普通采样。这里，相邻两次采样之间的时间间隔称为采样周期，记为 T 。采样频率定义为 $f_s = 1/T$ ；采样角频率定义为 $\omega_s = 2\pi f_s = 2\pi/T$ 。周期采样的采样时刻为 $0, T, 2T, 3T, \dots$ 。



采样类型

最常用: 同步采样

□ 同步采样

如果一个系统中**有多个采样开关**，它们的**采样周期相同且同时进行采样**，则称为同步采样。

□ 非同步采样

如果一个系统中**有多个采样开关**，它们的**采样周期相同但不同时开闭**，则称为非同步采样。



采样类型

□ 多速采样

如果一个系统中**有多个采样开关**，**每个采样开关都是周期采样的**，**但它们的采样周期不相同**，则称多速采样。在某些计算机控制系统中，为提高控制质量，对变化比较快的模拟量采用较高的速率进行采样和控制，对变化比较缓慢的模拟量采用较低的速率进行采样和控制，这就是多速采样。多速采样可以用同步采样进行等效分析。

□ 随机采样

若**相邻两次采样的时间间隔不相等**，则称为随机采样。随机采样**主要用于不要求控制的数据采集系统**。



3. 采样机理描述

理想采样开关可表示为

$$\delta_T(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(t - kT)$$

则采样信号可表示为

$$f^*(t) = f(t)\delta_T(t)$$

或

$$f^*(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} f(kT)\delta(t - kT)$$

或

$$f^*(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} f(kT)\delta(t - kT)$$

4. 采样定理

✓ 采样定理: 如果连续信号 $f(t)$ 具有有限频谱, 其最高频率为 ω_{\max} , 则对 $f(t)$ 进行周期采样且采样角频率 $\omega_s \geq 2\omega_{\max}$ 时, 连续信号可以由采样信号唯一确定, 亦即可以从 $f^*(t)$ 无失真地恢复 $f(t)$ 。

✓ $\omega_s/2$ 称为奈奎斯特频率。

可先假设



5. 采样周期的选择

在计算机控制系统中，采样频率或采样周期的选择非常重要，它直接影响控制效果，而且还影响着系统的稳定性。

✓ 按系统闭环频带选取 $\omega_s = (6 \sim 10) \omega_c$ $T = \frac{2\pi}{(6 \sim 10) \omega_c}$

✓ 按系统的开环传递函数选取 $T = \frac{T_{min}}{2 \sim 4}$

✓ 按系统开环阶跃响应的上升时间选取 $T = \frac{t_r}{2 \sim 4}$

✓ 根据生产过程控制的经验选取 $T = \frac{t_d}{2 \sim 4}$

t_r : ① 10% - 90% (20%) ② 第1次上升到达稳态值 (100%)

闭环频带 ω_c 给定

$$G_o(s) = \frac{N(s)}{\pi(s + \frac{1}{T_i}) \pi[(s + \frac{1}{\sigma_j})^2 + \omega_j^2]}$$

$$\theta_j = \frac{2\pi}{\omega_j}$$

$$T_{min} = \min(T_1, \dots, T_{n1}, T_1, \dots, T_{n2}, \theta_1, \dots, \theta_{m2})$$



6. 信号重构

把离散信号变为连续信号的过程，称为信号重构，它是采样的逆过程。

也称为信号保持，信号恢复或数据保持。

✓ 零阶保持器

$$f_{h0}(t) = \sum_{k=0}^{+\infty} f(kT) [1(t - kT) - 1(t - kT - T)]$$

✓ 一阶保持器

$$f_{h1}(t) = f(kT) + \frac{f(kT) - f(kT - T)}{T} (t - kT), \quad kT \leq t \leq (k+1)T$$

m阶保持器

$$f_{hm}(t) = \sum_{i=0}^m a_i (t-kT)^i \quad kT \leq t < (k+1)T$$

$$f_{hm}(kT-iT) = f(kT-iT) \quad i=0, 1, \dots, m$$

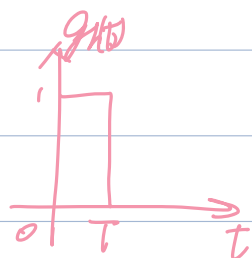
零阶保持器

$$f_{h0}(t) = f(kT) \quad kT \leq t < (k+1)T$$

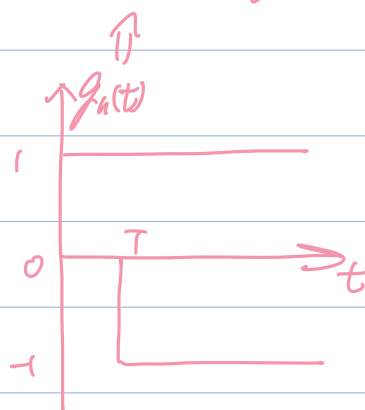
零阶保持器输入单位脉冲时,其输出为一个高度为1,宽度为T的矩形波 $g_{h0}(t)$,称为脉冲传递函数

$$g_{h0}(t) = 1(t) - 1(t-T)$$

$$G_{h0}(s) = \mathcal{L}[g_{h0}(t)] = \frac{1}{s} - \frac{1}{s} e^{-Ts} = \frac{1-e^{-Ts}}{s}$$



保持器阶数 \uparrow , 信号恢复效果越好, 但实现越复杂.



重构误差与T密切相关,为降低重构误差应尽可能的减少T

• 信号的量化: 幅值域连续 \rightarrow 离散

离散化 { 采样: 连续时间的离散化
量化: 连续幅值的离散化



• 每个量化电平取各区间中点

• 量化间隔 $\Delta v = \frac{b-a}{M}$ M -量化级 (a,b) -模拟信号幅值的取值域

• 量化误差

- 绝对误差: $|m(kT_s) - m_q(kT_s)|_{\max} = \frac{1}{2}V$
- 相对误差: $\frac{\text{相对误差}}{\text{相应的量化值}} = \frac{\max \text{时} = \frac{1}{2}V}{q_i}$

小信号时, 量化误差大

{ 均匀量化

{ 非均匀量化

{ 信号浮动小, 量化间隔小

{ 信号浮动大, 量化间隔大

• 零阶保持器 $\frac{1 - e^{-Ts}}{s}$

2.7 数字滤波

数字滤波，是把A/D转换得到的数据通过软件按照一定的算法进行平滑加工等处理，再送给控制程序运算，以增强其有效信号、消除或减小各种干扰和噪声，从而提高控制精度和系统的可靠性与稳定性。

- ✓ 限幅滤波方法
- ✓ 中值滤波方法
- ✓ 算术平均滤波方法
- ✓ 一阶滞后滤波方法
- ✓ 复合滤波方法

