

第2章 过程通道

2.1 概述

2.2 模拟量输出通道与接口

2.3 模拟量输入通道与接口

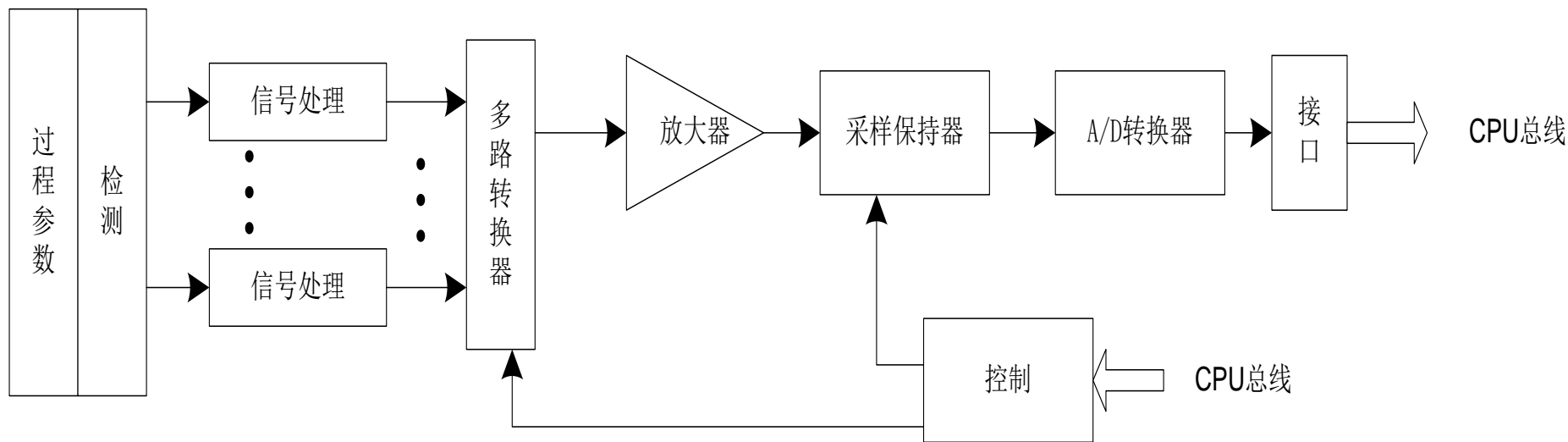
2.4 数字量输入/输出通道

2.5 单片微机原理（补充）

主要学习内容

- 1、模拟量输入通道的结构形式
- 2、A/D转换器的外围电路
- 3、A/D转换器的工作原理
- 4、A/D转换器及其接口电路
- 5、A/D转换模板的标准化设计

模拟量输入通道的结构形式

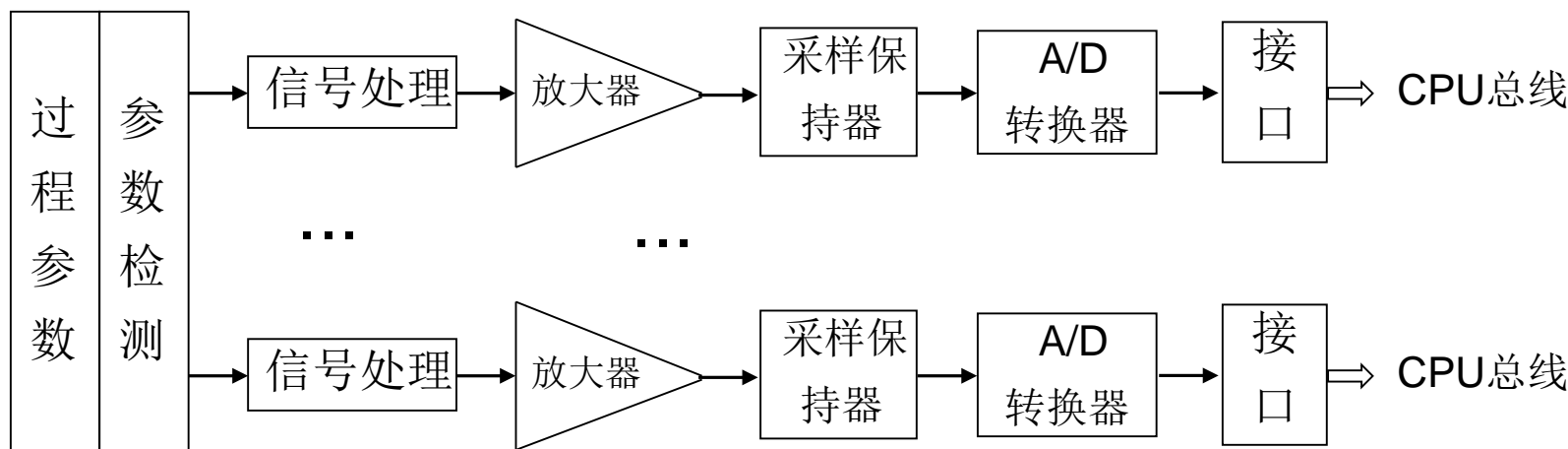


模拟量输入通道的一般组成

- 利用传感器将信号源检测的**非电量转换为电量**
- **采样保持器和A/D转换器**为关键部件
- 多个信号源的模入通道通常有如下几种结构形式
 - (1) 多路A/D通道并行
 - (2) 多路同时采样、分时转换模入通道
 - (3) 多路分时采样、分时转换模入通道

模拟量输入通道的结构形式

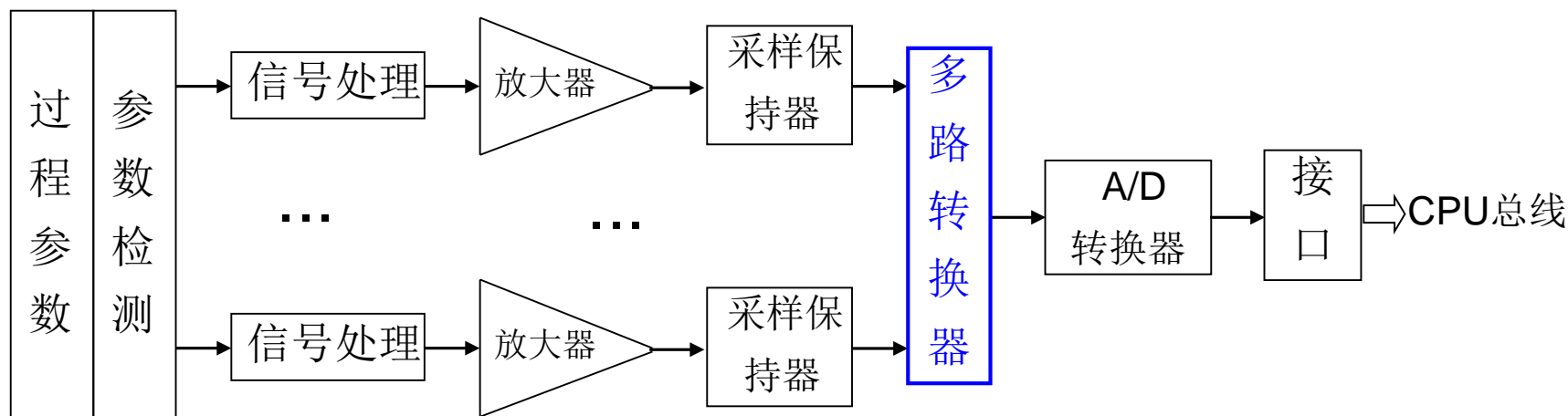
(1) 多路A/D通道并行



- 每个信号源有各自**独立的模入通道**
- 转换速度快，可**同时采样和同时转换**
- 适用于同步高速数据采集、同步转换的控制系统
- 使用较多的采样保持器和A/D转换器，**成本较高**

模拟量输入通道的结构形式

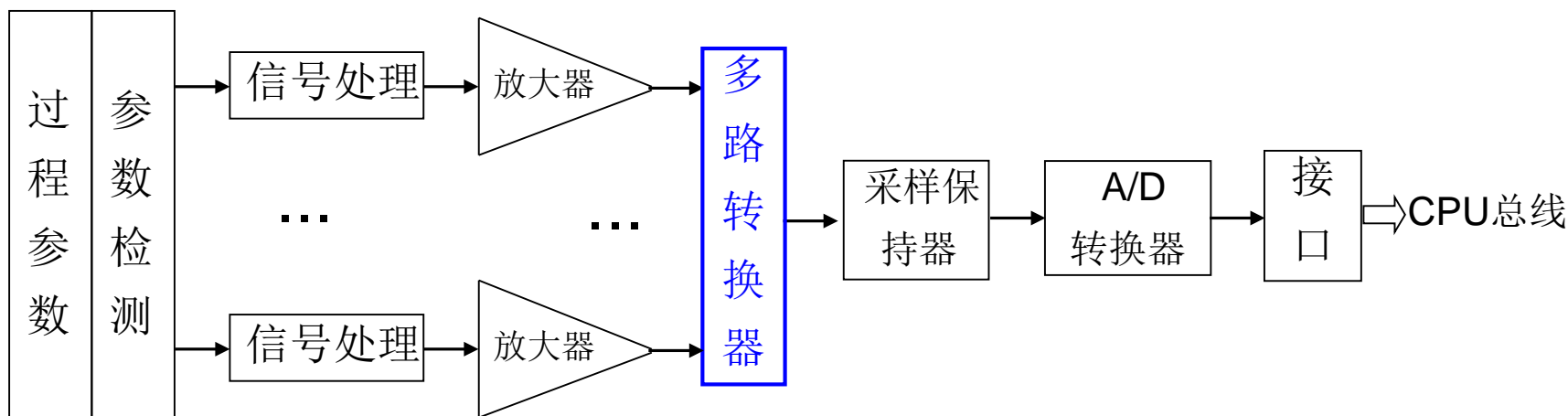
(2) 多路同时采样、分时转换模入通道



- 各模入通道**共用A/D转换**
- **同时采样、分时转换**
- 速度较慢，多路开关增加误差
- 集成芯片 有ADC0808/0809(8位)，ADS7864(12位)

模拟量输入通道的结构形式

(3) 多路分时采样、分时转换模入通道

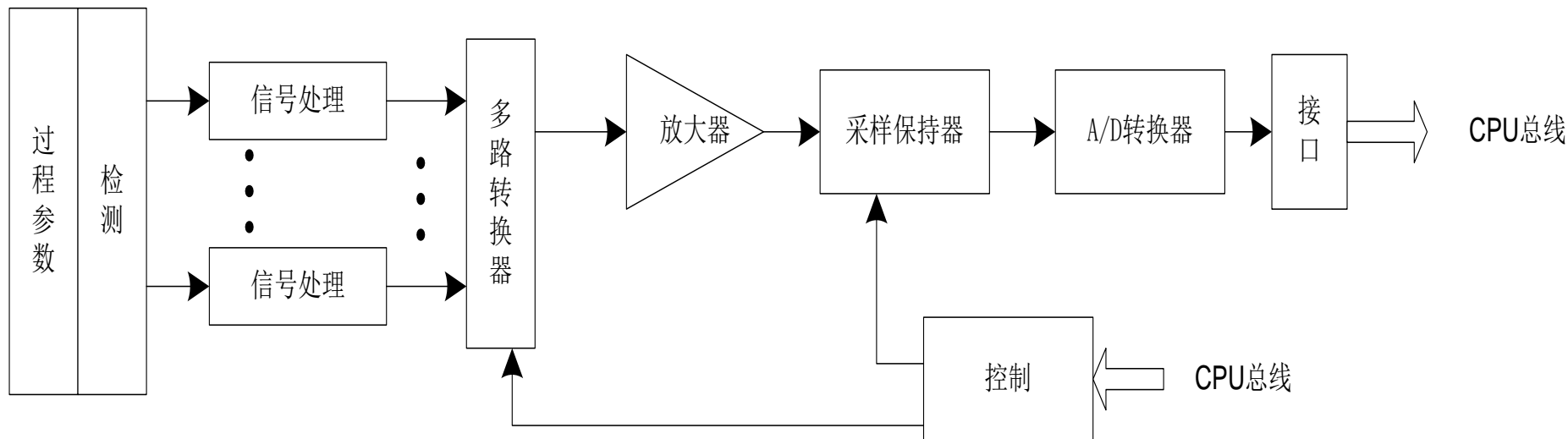


- 各模入通道**共用采样保持器和A/D转换**
- **分时采样和转换**
- 节省硬件资源，成本低
- **速度慢**

主要学习内容

- 1、模拟量输入通道的结构形式
- 2、A/D转换器的外围电路
- 3、A/D转换器的工作原理
- 4、A/D转换器及其接口电路
- 5、A/D转换模板的标准化设计

A/D转换器的外围电路



模拟量输入通道的一般组成

外围电路主要有：

- 信号调理电路
- 多路转换器
- 前置放大电路
- 采样保持电路

A/D转换器的外围电路

■ 信号调理电路

- **标度变换器**：把经由各种传感器所得到的不同种类和不同电平的被测模拟信号**变换成统一的标准信号**。
- **滤波电路**：①滤掉干扰信号；②消除混频现象。
- **线性化处理**：有些电信号转换后与被测参量呈现非线性，需对信号进行线性化处理，使它接近线性化。
- **电参量间的转换电路**：电信号之间的转换(I/V变换)。

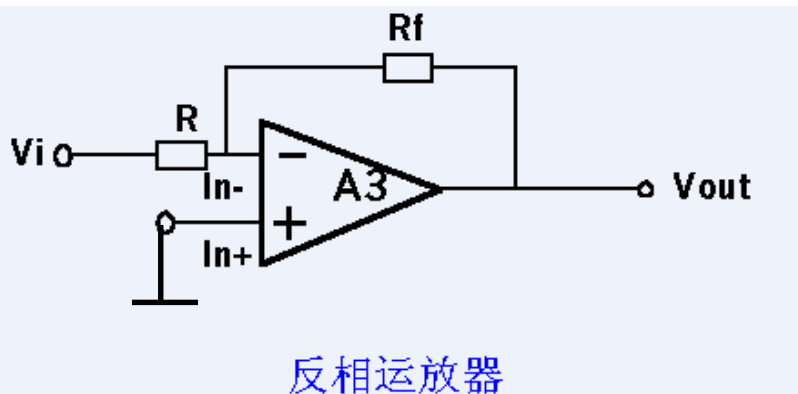
A/D转换器的外围电路

■ 前置放大电路

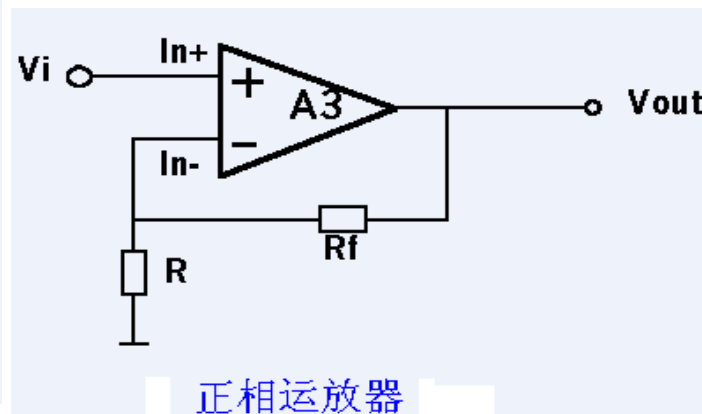
- **任务**：将传感器测得的现场**小信号**（热电偶、热电阻、流量信号等）**放大**到A/D转换的量程范围之内，如0~5V。
- **三个作用**：
 - (1) 保证A/D转换的精度
 - (2) 传感器部分负载能力很小，放大器可提高信号的负载能力
 - (3) 放大器可以提高模入通道的抗共模干扰的能力
- **主要类型**
 - (1) 运算放大器
 - (2) 测量放大器
 - (3) 可变增益放大器
 - (4) 隔离放大、斩波稳零放大等

A/D转换器的外围电路

■ 运算放大器



$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R}$$



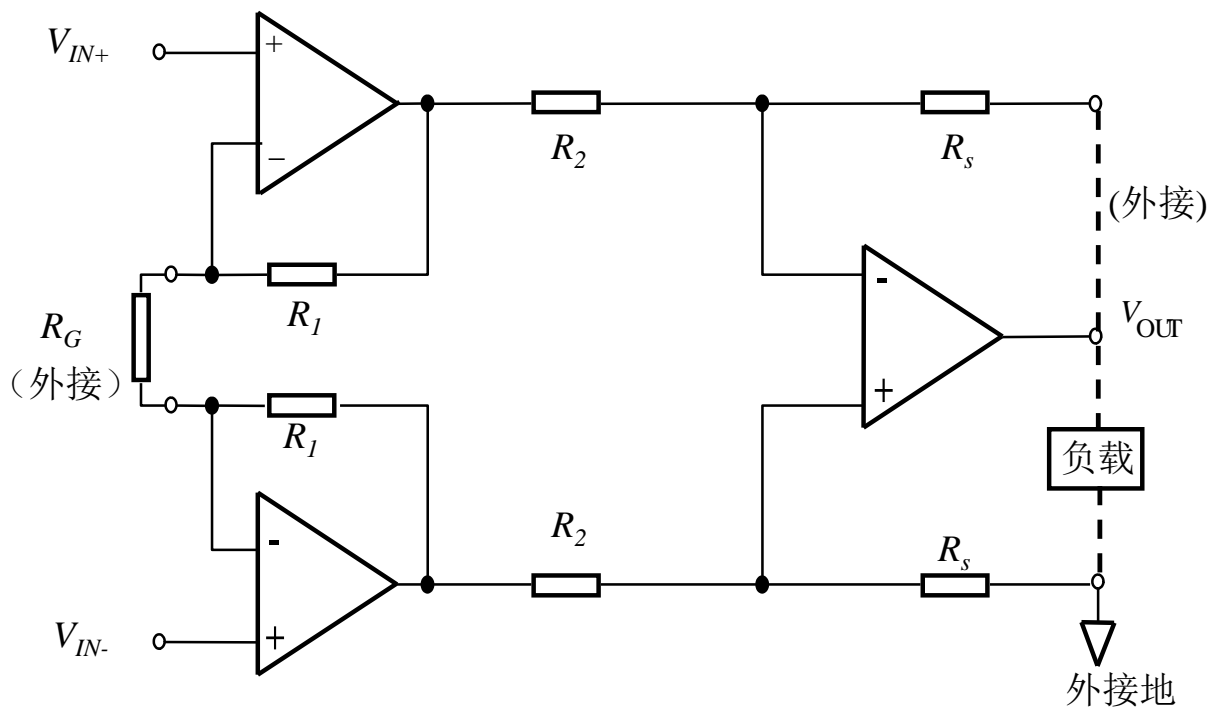
$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \frac{R_f}{R}$$



- OP07、OPA627、THS4631等
- 由于一般的运放器2个信号输入端是不对称的，属于**非差动输入**，故**难以很好地抑制共模干扰**。
- 通常需要采用专用的**测量放大器**，来对小信号放大。

A/D转换器的外围电路

■ 测量放大器

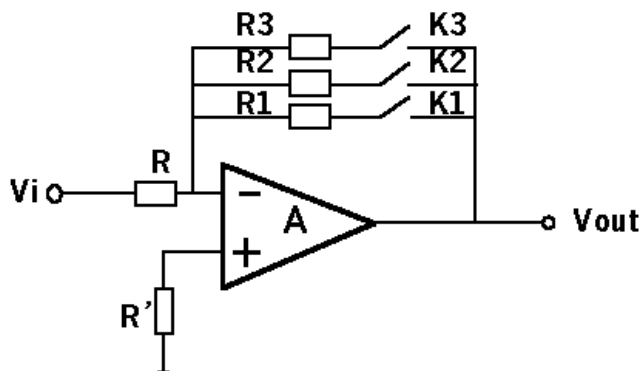


$$A = \frac{R_S}{R_2} \left(1 + \frac{2R_1}{R_G} \right)$$

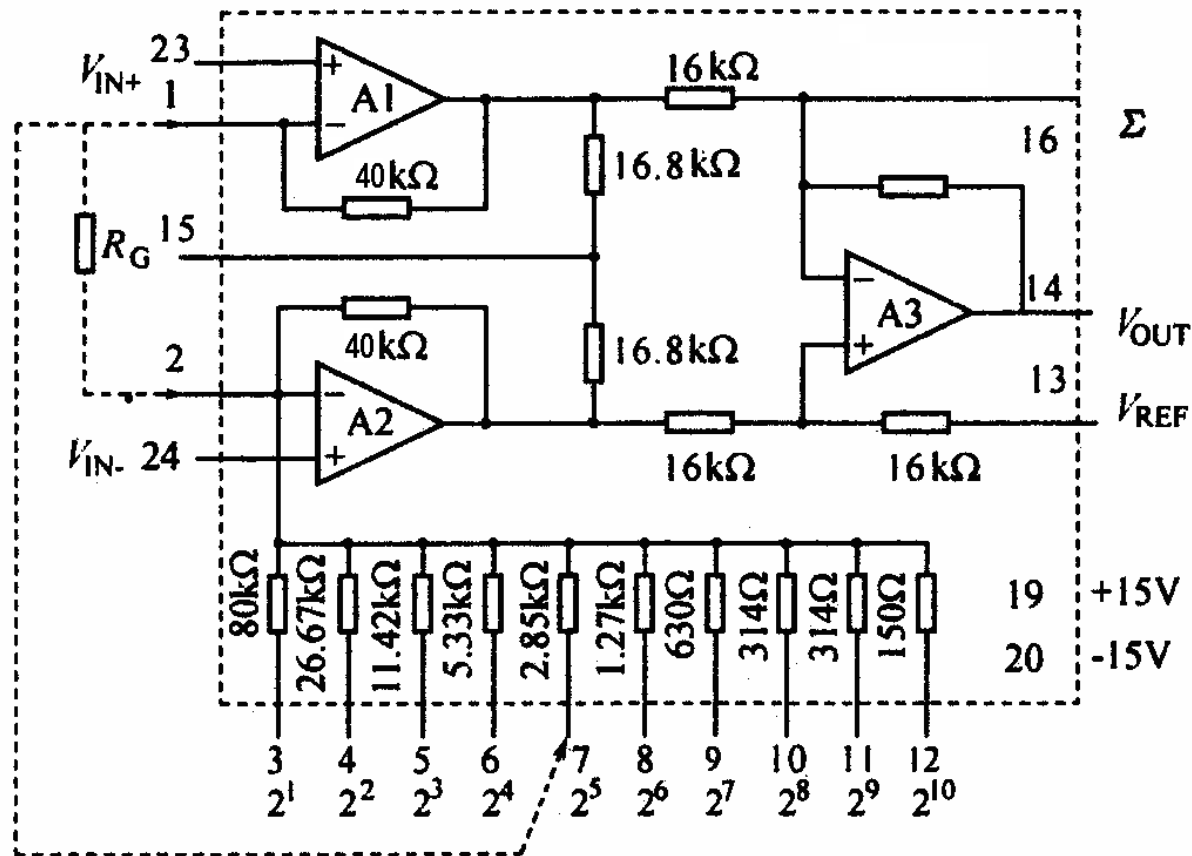
- 对输入的差值按放大，抑制共模干扰信号。
- AD521/522、AD624、LM363等
- 为了使性能对称，要求A1、A2二个输入放大器性能完全相同。

A/D转换器的外围电路

■ 可变增益放大器



程控增益放大器原理图



AD612/AD614结构图

- 需要配合多路开关（多路转换器）使用

A/D转换器的外围电路

■ 多路转换器

- 模拟多路开关又称多路转换器，用来切换模拟电压信号。
- 可将各路模拟信号依次连接到程控放大器或A/D转换器上。
- 多路转换器分类：
 - 机械触点式：各类继电器
 - 无触点电子式：晶体管开关、场效应管开关、集成电路开关
- 常用的多路开关有：
 - CD4051（双向、单端、8路）
 - CD4052（单向、双端、4路）
 - AD7506（单向、单端、16路）

A/D转换器的外围电路

■ CD4051 (双向、单端、8路)

VEE: 负电源

VSS: 地端

VDD: 正电源

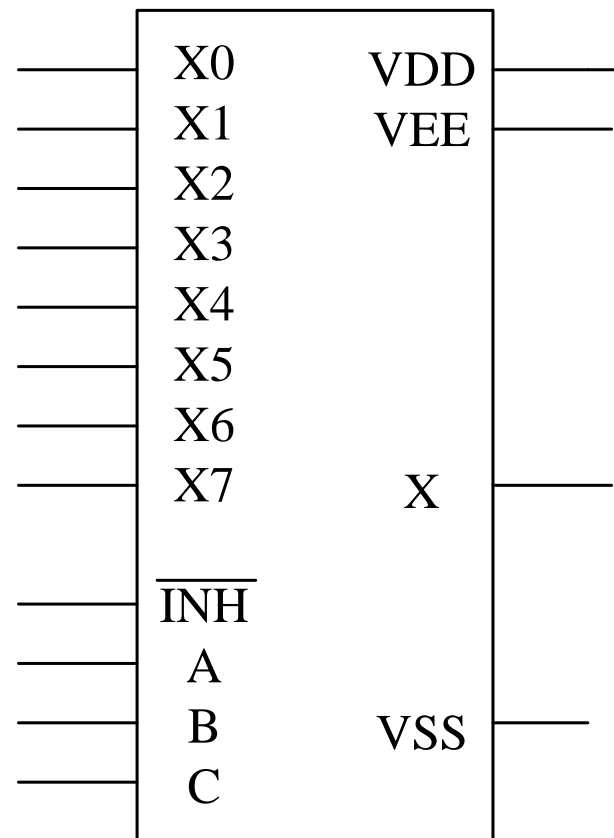
X: 输出/输入公共端。

C, B, A: 地址信号

$\overline{\text{INH}}$: 为允许 / 禁止输出控制端。

为“1”时, 前后级通道断开;

为“0”时, 正常选通。

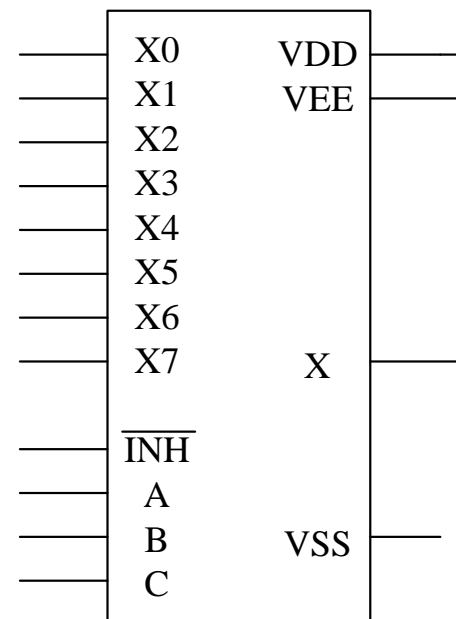


A/D转换器的外围电路

■ CD4051 (双向、单端、8路)

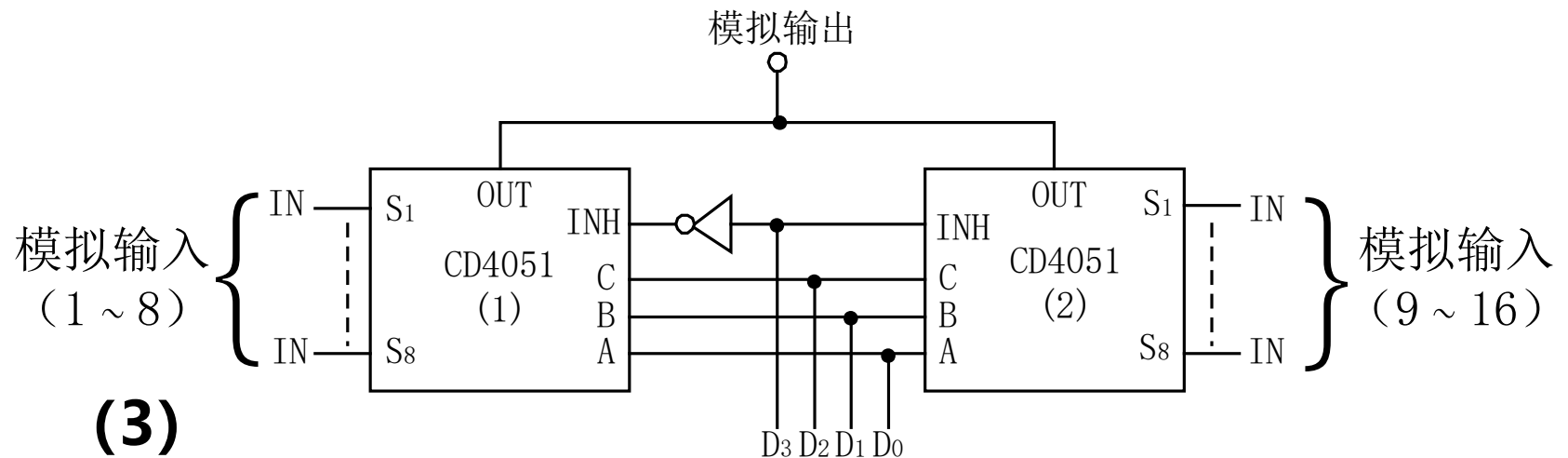
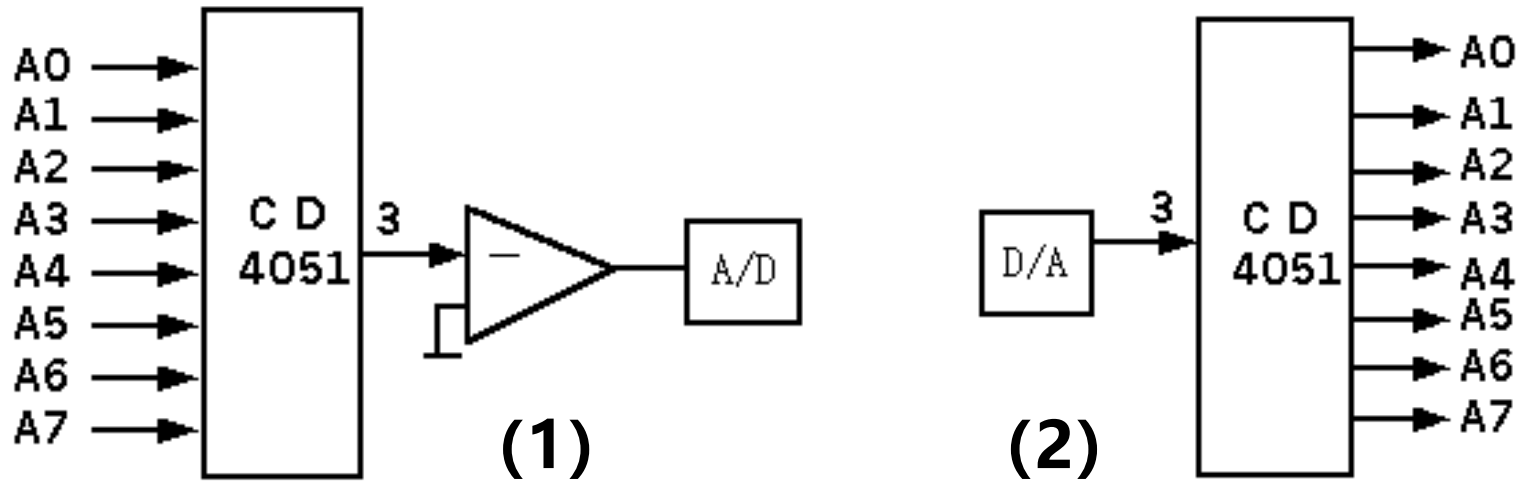
多路开关译码逻辑:

INH	C	B	A	与X相连的信号
0	0	0	0	X0
0	0	0	1	X1
0	0	1	0	X2
0	0	1	1	X3
0	1	0	0	X4
0	1	0	1	X5
0	1	1	0	X6
0	1	1	1	X7
1	x	x	x	无



A/D转换器的外围电路

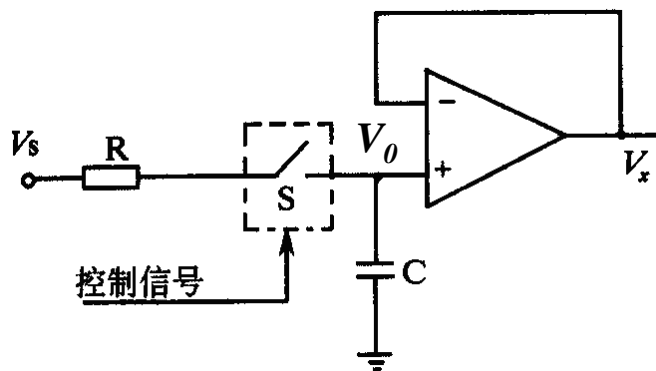
■ CD4051 (双向、单端、8路)



A/D转换器的外围电路

■ 采样保持器

- 采样保持器是对输入信号进行采集、保持的器件，采集瞬时电压信号并保持。



模拟开关S：采样或保持

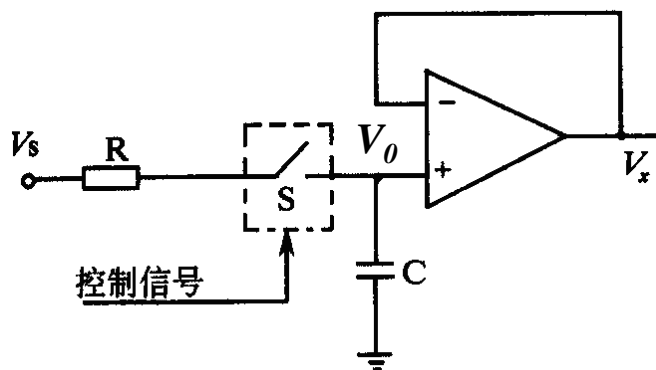
保持电容C：保持输入电压

缓冲放大器：隔离保持电容与负载

- 采样过程：**控制信号为高电平，开关S闭合，输入信号通过电阻R向保持电容C充电。要求充电时间越短越好，以使电容**迅速达到输入电压值**。
- 保持过程：**控制信号为低电平时，开关S断开， **V_0 保持S断开时的电压值**。A / D转换器就根据电容C上的电压进行整量化。

A/D转换器的外围电路

■ 采样保持器



模拟开关S：采样或保持

保持电容C：保持输入电压

缓冲放大器：隔离保持电容与负载

- 模拟通道中是否加采样保持器，取决于模拟信号的幅值、频率和A/D分辨率、A/D转换时间。
- 如果是**快变信号**，为减少转换误差，**应加采样保持器**
- 如果是**缓变信号**，并有意识采用双积分型A/D转换器滤去高频干扰，**可不加采样保持器**。
- 通用数采系统中，为了满足不同信号的输入，在A/D转换器前应加上采样保持器。

主要学习内容

- 1、模拟量输入通道的结构形式
- 2、A/D转换器的外围电路
- 3、A/D转换器的工作原理
- 4、A/D转换器及其接口电路
- 5、A/D转换模板的标准化设计

A/D转换器的工作原理

■ A/D转换器分类

- 按照数字信号的有效位分：

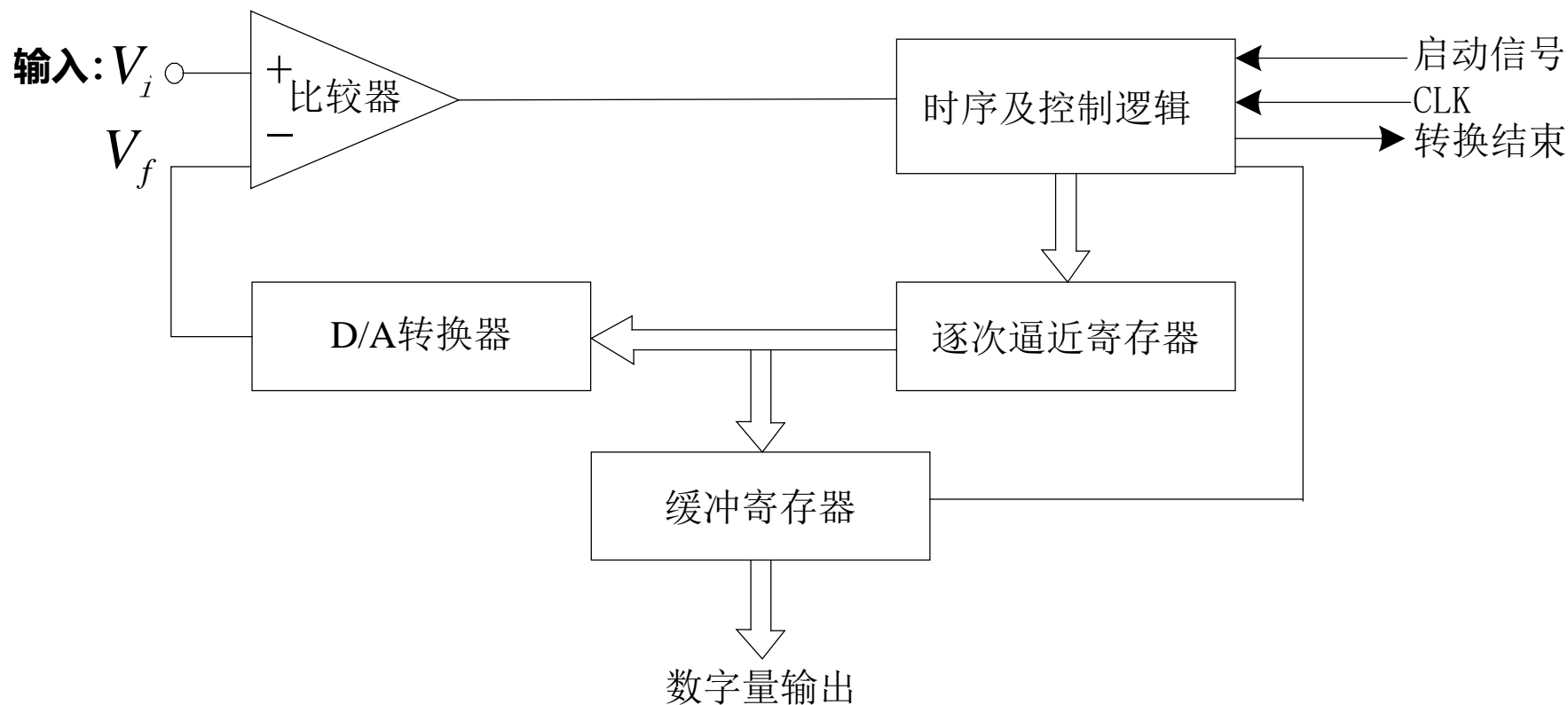
4位、8位、10位、12位、16位等

- 按照结构原理分：

逐位逼近式 双积分式 电压频率转换

A/D转换器的工作原理

■逐位逼近式A/D转换器工作原理

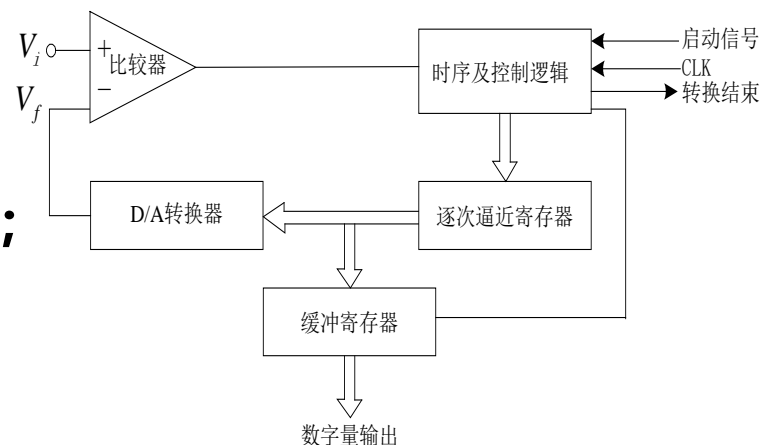


A/D转换器的工作原理

■逐位逼近式A/D转换器工作原理

转换过程（二分搜索法）：

- (1) 微机发‘启动’信号，清除寄存器各位；
- (2) 由控制逻辑将SAR寄存器的最高位置1；
- (3) D/A转换器将 **1000 0000** 转成 V_f ；
- (4) 比较器比较 V_i 和 V_f ：若 $V_i \geq V_f$ ，比较器输出1，说明前步置1正确，予以保留；若 $V_i < V_f$ ，比较器输出0，说明前步置1不正确，清除之；
- (5) 置次高位为1，重复（3）、（4）步，直到SAR所有寄存器位处理完。
- (6) 控制逻辑发‘转换结束’信号，通知CPU，可以读取数据。

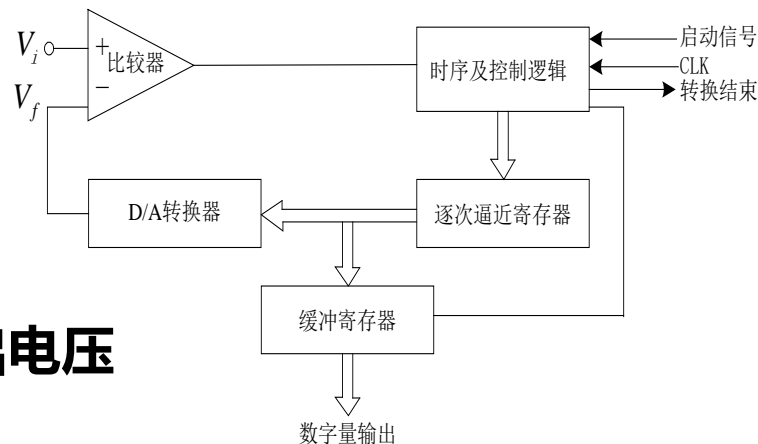


A/D转换器的工作原理

■逐位逼近式A/D转换器工作原理

特点:

- 逐次逼近式A/D转换器的精度取决于D/A的精度，与**比较器无关**
- A/D转换的满量程是D/A输入为全1时的输出电压
 - 如果 $V_{REF} = 5V$ ，则 $V_{f-Max} = 5V$ 。
 - 当 $V_x > 5V$ 时，数字量输出全为1。
 - 只能对0-5V的 V_i 有效转换，大于5V时达到了满量程。
- D/A的位数固定，转换时间固定。
- D/A的位数越高，分辨率越高，转换时间越长。
- 使用最广泛**的ADC, 16位以下的A/D转换时，速度和精度都不错。



A/D转换器的工作原理

■逐位逼近式A/D转换器工作原理

举例说明其工作过程：

设逐次逼近寄存器SAR是8位，基准电压为10.24 V，输入电压8.3V，转换成二进制码。

- 转换开始之前，先将SAR 清零；
- 转换开始，第一个时钟脉冲到来时，SAR的状态置为**1000 0000**(最高位置1)：

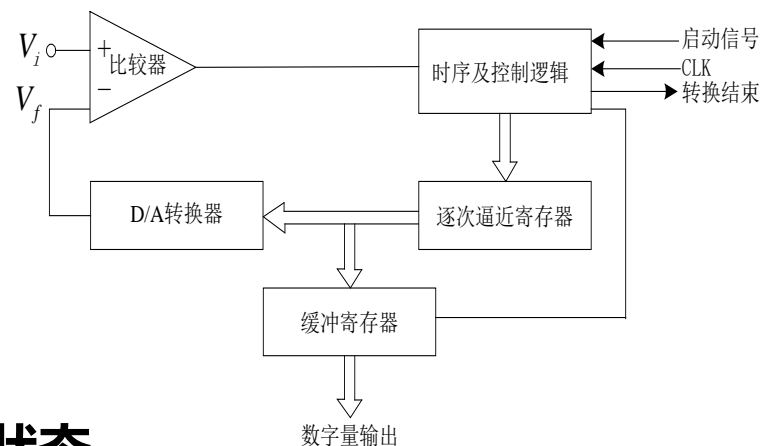
$$V_f = \frac{1}{2} V_{REF} = 5.12 \text{ V}$$

反馈到比较器与 V_i 比较。 $V_i = 8.3 \text{ V} > V_f$ ，保留此位的“1” (**1000 0000**)。

- 第二个时钟脉冲到来时，SAR的状态置为**1100 0000**(次高位置1)：

$$V_f = \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2^2}\right) V_{REF} = 7.68 \text{ V}$$

$V_i = 8.3 \text{ V} > V_f$ ，保留此位的“1” (**1100 0000**)。



A/D转换器的工作原理

■逐位逼近式A/D转换器工作原理

举例说明其工作过程：

设逐次逼近寄存器SAR是8位，基准电压为10.24 V，输入电压8.3V，转换成二进制码。

- 第三个时钟脉冲到来时，SAR的状态置为1110 0000：

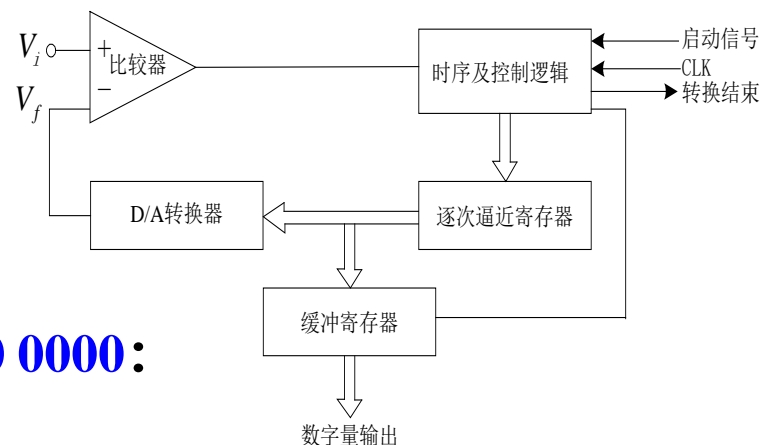
$$V_f = \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^3}\right)V_{REF} = 8.96 \text{ V}$$

$V_i=8.3 \text{ V} < V_f$ ，此位位置“0”（1100 0000）。

- 第四个时钟

... ..

- 第八个时钟

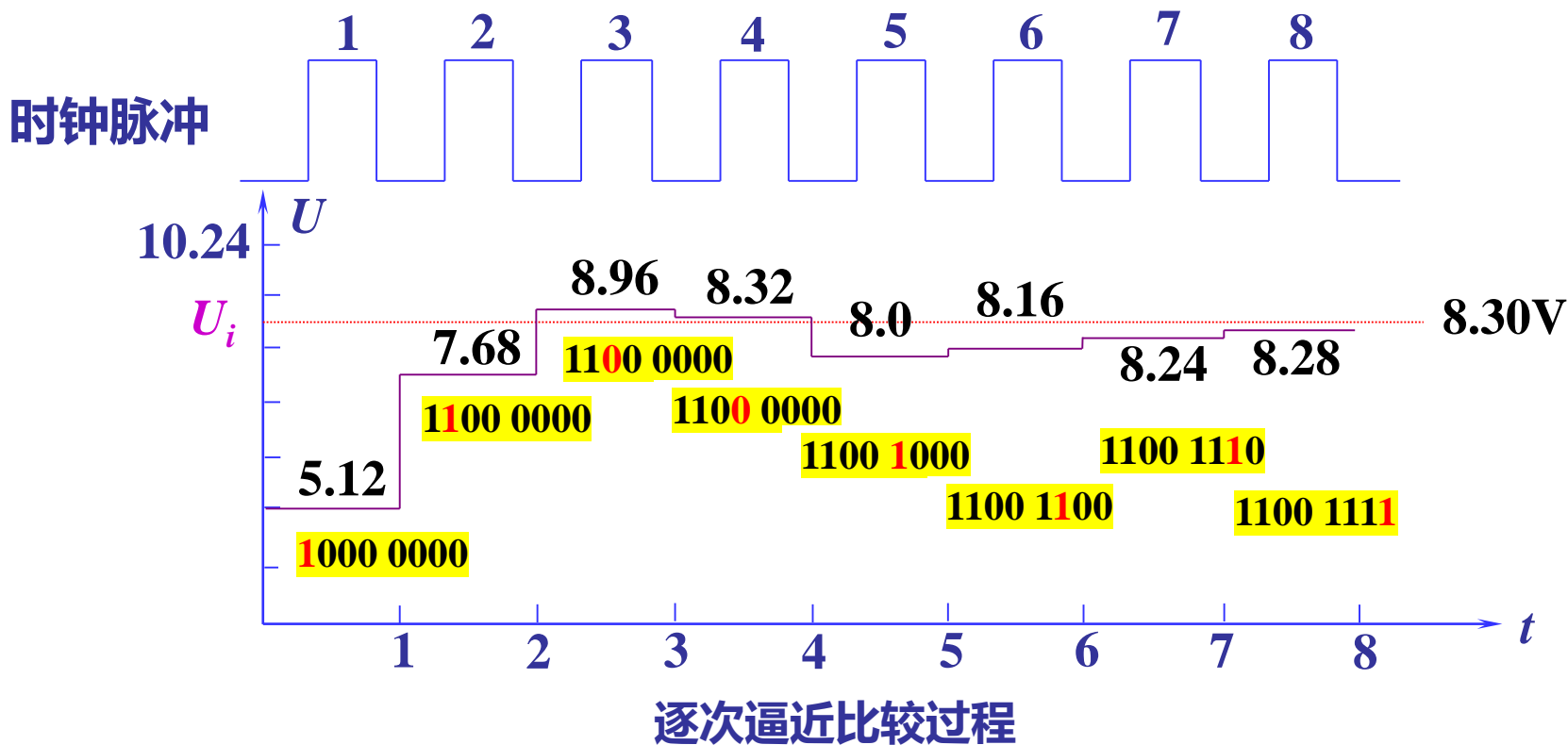
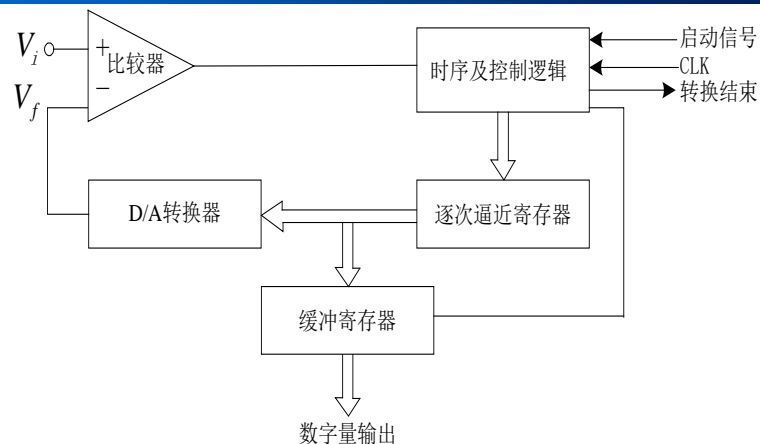


A/D转换器的的工作原理

■逐位逼近式A/D转换器工作原理

举例说明其工作过程：

设逐次逼近寄存器SAR是8位，基准电压为10.24 V，输入电压8.3V，转换成二进制码。



A/D转换器的工作原理

■双积分式A/D转换器工作原理

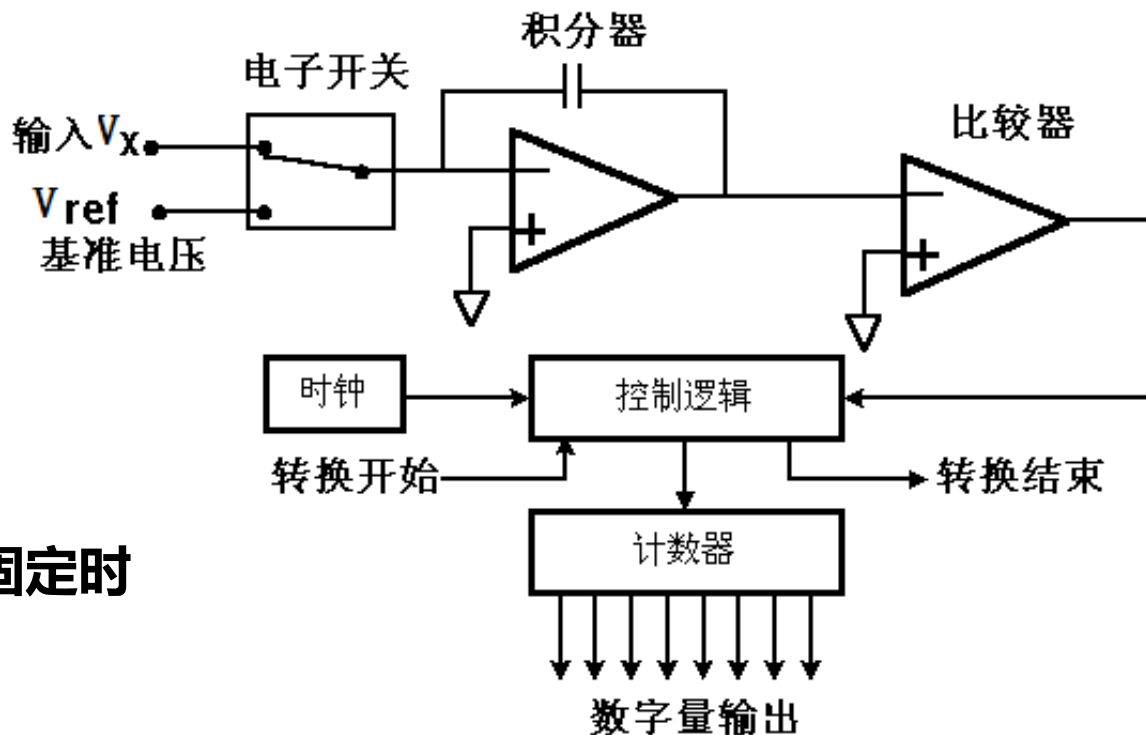
- 采用间接测量原理，将被测电压转换成时间常数 T 。
- 一次转换需要2次积分，故称**双积分**。

- A/D转换过程：

① 对被测输入电压 V_x 进行固定时间 T_0 的**正向积分**。

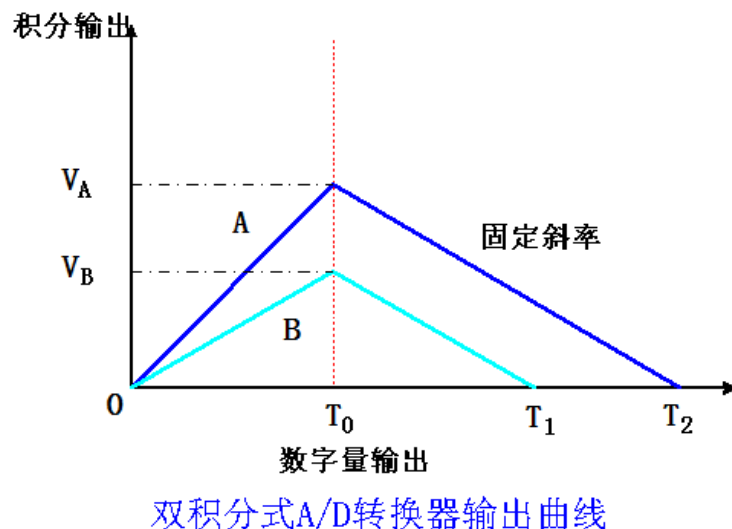
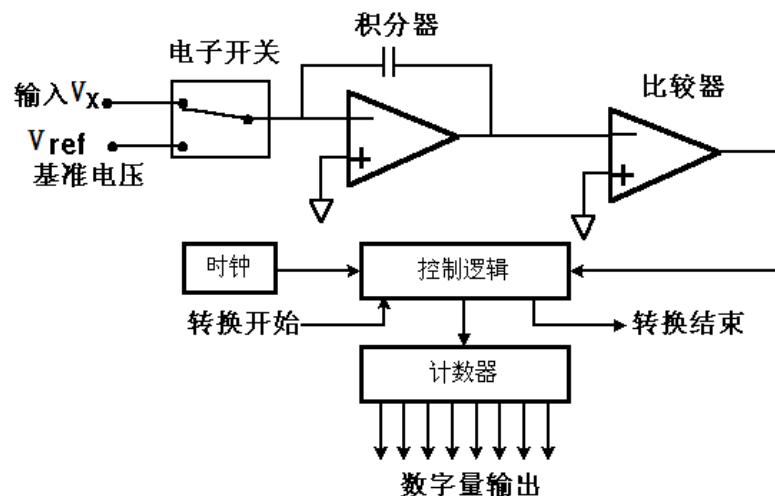
② 控制逻辑将电子开关接参考电压进行**反向积分**，直至反向积分输出返回到起始值。

③ 用高频标准时钟脉冲**测量反向积分时间 T** ，得到对应输入电压的数字量。



A/D转换器的工作原理

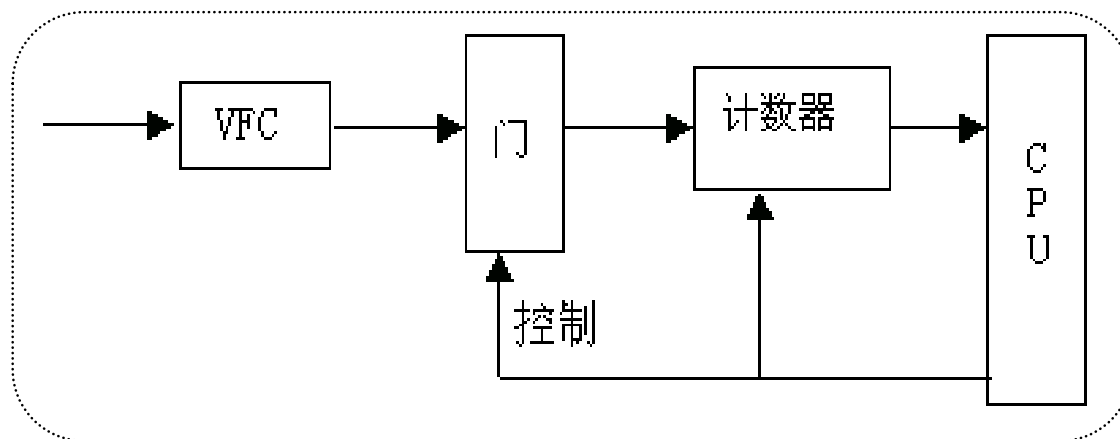
■双积分式A/D转换器工作原理



- 双积分A/D分辨率提高，需提高时钟频率或降低 V_{ref}
- 提高时钟频率，需采用高速器件，以提高转换电路的工作速度
- 特点
 - ① 精度高
 - ② 积分过程对交流干扰有较强的抑制能力
 - ③ 2个积分过程，转换过程较慢

A/D转换器的工作原理

■电压频率转换式A/D转换器工作原理



- 把输入的模拟电压转换成与模拟电压成正比的脉冲信号。
- 工作过程：
 - ① 当模拟电压 V_i 加到V / F的输入端时，便产生频率与 V_i 成正比的脉冲
 - ② 在一定的时间内对该脉冲信号计数
 - ③ 计数器的计数值正比于输入电压 V_i ，从而完成A / D转换

A/D转换器的工作原理

■ A/D转换器性能指标

(1) 分辨率

表示转换器对微小输入模拟量变化的敏感度，用位数来表示，位数越高，分辨率越高。

(2) 转换精度

绝对精度：转换范围内实际输出与理想输出之间的最大偏差。

相对精度：A/D转换器最大绝对误差与输入满量程之比。

(3) 转换时间与转换率

转换时间：完成一次A/D转换所需要的时间。

转换率：单位时间内完成的转换次数。

逐次逼近式A/D转换时间：几-几十 μs

双积分式A/D转换时间：几-几十 ms

A/D转换器的工作原理

■ A/D转换器芯片的选择原则

(1) 根据模拟量输入通道的允许误差，选择A/D转换器的分辨率及精度

(2) 根据信号变化频率，确定ADC转换速度，保证实时性

(3) 环境要求

- 工作温度、湿度、震动、电源稳定性等

- 民用级、工业级、军工级产品等

(4) 根据计算机接口特征，选择ADC输出状态

- 串口或并行输出 - 二进制码还是BCD码输出；

- 内时钟、外时钟 - 是否有转换结束状态信号；