

第一节 数-模转换

- ❖ 概述
- ❖ 权电阻网络D/A转换器
- ❖ 倒梯形电阻网络D/A转换器
- ❖ D/A转换器的转换精度与转换速度

一、概述

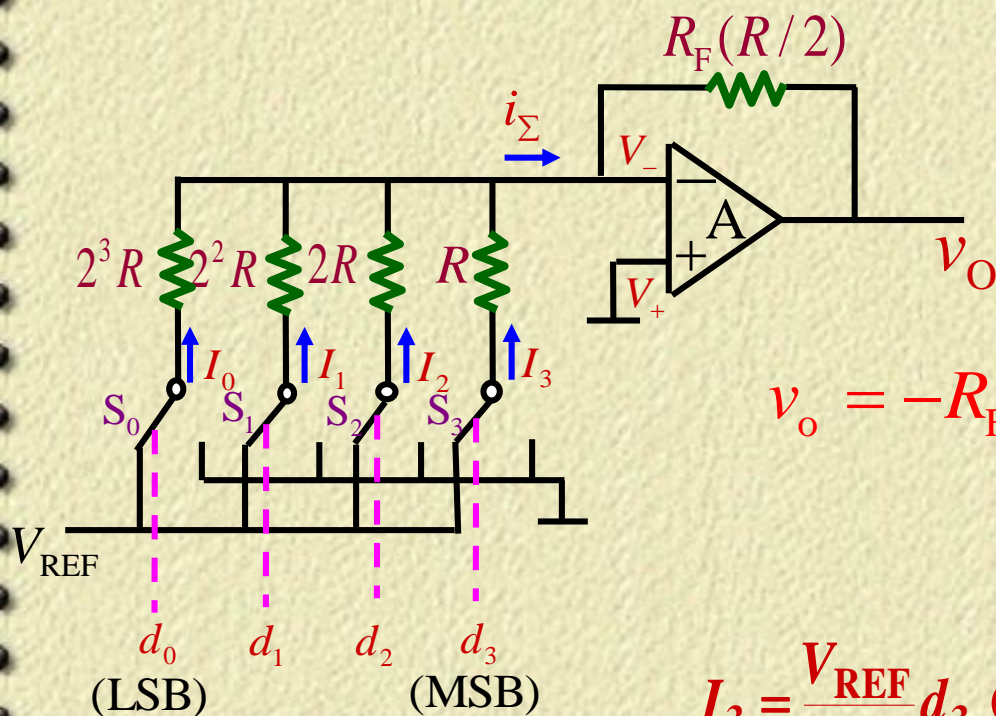
为了能够使用数字电路处理模拟信号，
必须把模拟信号转换成相应的数字信号，
才能送入数字系统（计算机）进行处理。
还经常需要把处理后的数字信号再转换成模拟信号，
作为最后的输出。

从模拟信号到数字信号的转换称为模-数转换，
简称A/D转换。

从数字信号到模拟信号的转换称为数-模转换，
简称D/A转换。

转换精度和转换速度是衡量A/D转换器和D/A转换器
性能优劣的主要指标。

二、权电阻网络D/A转换器



权电阻网络D/A转换器

$$v_o = -R_F i_{\Sigma} = -R_F (I_0 + I_1 + I_2 + I_3)$$

各支路电流为

$$I_3 = \frac{V_{\text{REF}}}{R} d_3 \quad (d_3 = 1 \text{ 时 } I_3 = \frac{V_{\text{REF}}}{R}, \quad d_3 = 0 \text{ 时 } I_3 = 0)$$

$$I_2 = \frac{V_{\text{REF}}}{2R} d_2 \quad I_1 = \frac{V_{\text{REF}}}{2^2 R} d_1 \quad I_0 = \frac{V_{\text{REF}}}{2^3 R} d_0$$

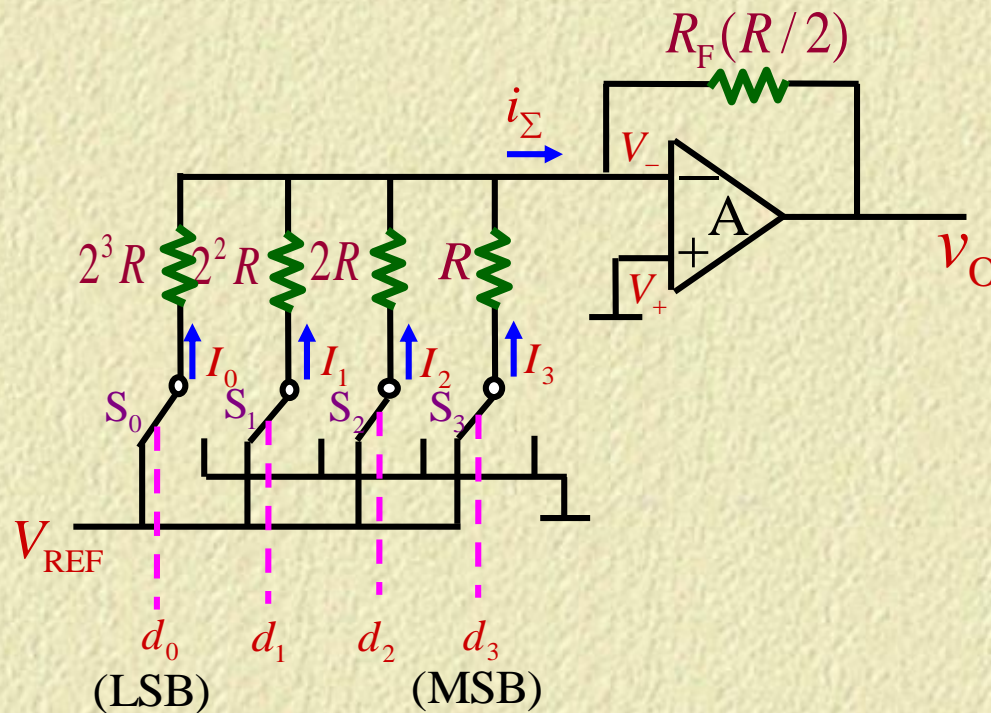
$$v_O = -R_F i_{\Sigma} = -R_F (I_3 + I_2 + I_1 + I_0)$$

$$I_3 = \frac{V_{\text{REF}}}{R} d_3 \quad I_2 = \frac{V_{\text{REF}}}{2R} d_2 \quad I_1 = \frac{V_{\text{REF}}}{2^2 R} d_1 \quad I_0 = \frac{V_{\text{REF}}}{2^3 R} d_0$$

取 $R_F = R/2$, 得
$$v_O = -\frac{V_{\text{REF}}}{2^4} (d_3 2^3 + d_2 2^2 + d_1 2^1 + d_0 2^0)$$

对 n 位权电阻网络 D/A 转换器取 $R_F = R/2$, 得

$$v_O = -\frac{V_{\text{REF}}}{2^n} (d_{n-1} 2^{n-1} + d_{n-2} 2^{n-2} + \cdots + d_1 2^1 + d_0 2^0) = -\frac{V_{\text{REF}}}{2^n} D_n$$

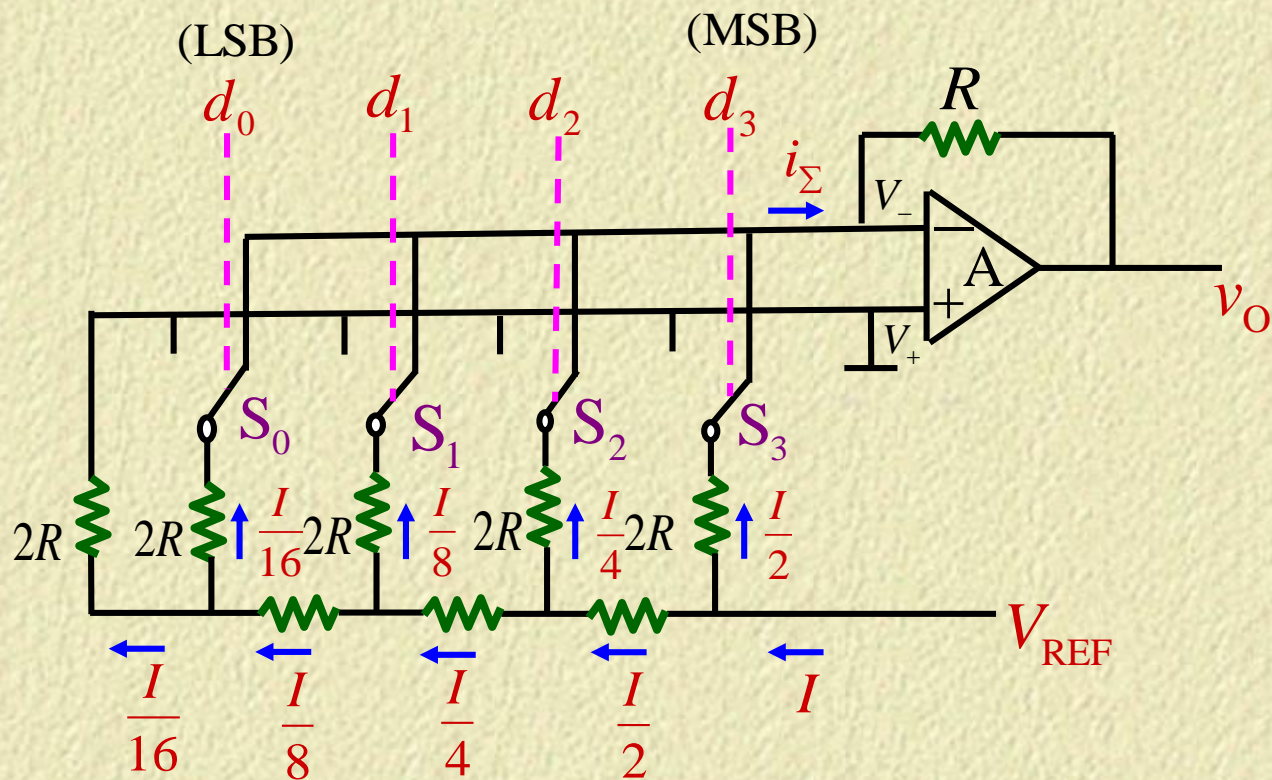


权电阻网络D/A转换器

优点：结构比较简单，所用的电阻元件很少。

缺点：各个电阻的阻值相差较大。

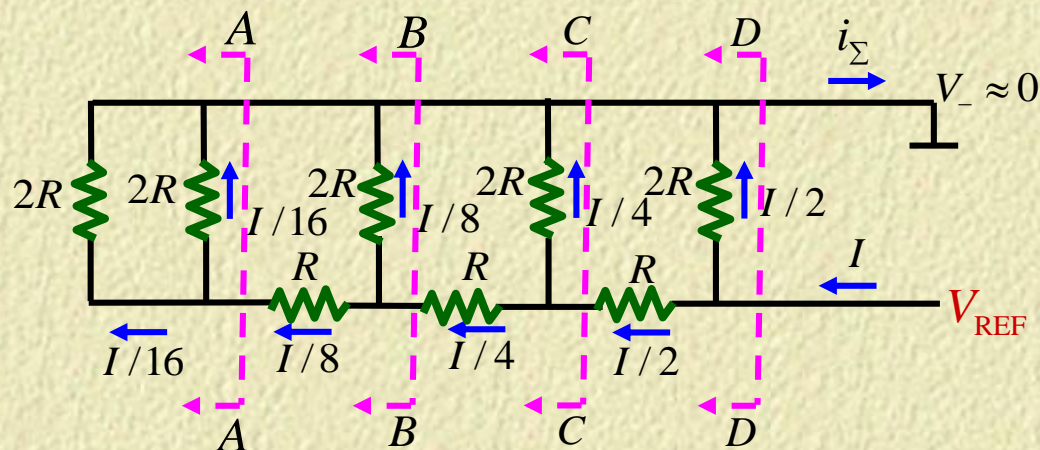
三. 倒T形电阻网络D/A转换器



倒T形电阻网络D/A转换器

$d_i = 0$ 时开关 S_i 接至放大器的 V_+ 。

$d_i = 1$ 时开关 S_i 接至放大器的 V_- 。

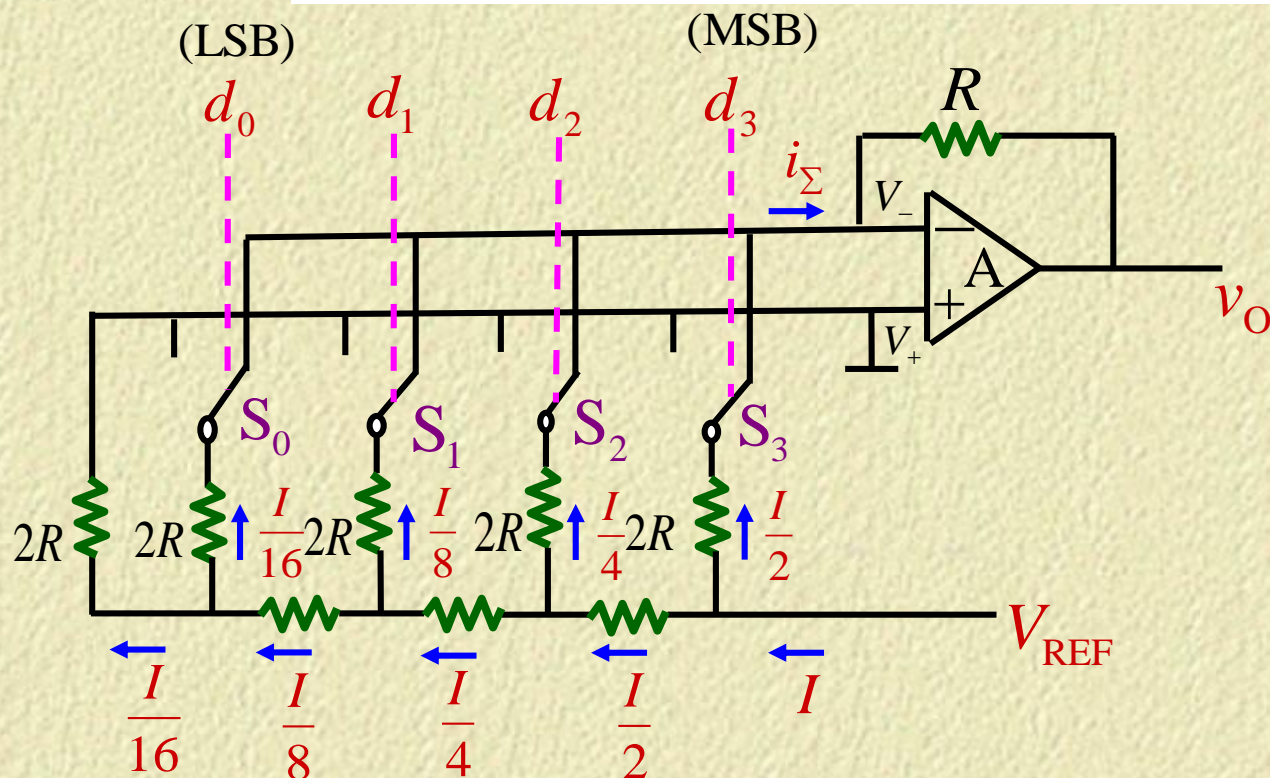


计算倒T形电阻网络支路电流的等效电路

可计算出各支路中的电流:

$$I = \frac{V_{\text{REF}}}{R}$$

每个支路的电流依次为: $\frac{I}{2}$ $\frac{I}{4}$ $\frac{I}{8}$ $\frac{I}{16}$



倒T形电阻网络D/A转换器

$$i_{\Sigma} = \frac{I}{2}d_3 + \frac{I}{4}d_2 + \frac{I}{8}d_1 + \frac{I}{16}d_0$$

$$v_O = -Ri_{\Sigma} = -\frac{V_{\text{REF}}}{2^4}(d_32^3 + d_22^2 + d_12^1 + d_02^0)$$

$$v_O = -\frac{V_{\text{REF}}}{2^n}(d_{n-1}2^{n-1} + d_{n-2}2^{n-2} + \cdots + d_12^1 + d_02^0) = -\frac{V_{\text{REF}}}{2^n}D_n$$

四. D/A转换器的转换精度与转换速度

在D/A转换器中常用分辨率和转换误差来描述转换精度。

分辨率：{ 用输入二进制数码的位数给出。
用D/A转换器能够分辨出的最小电压与最大电压之比给出。

$$\frac{1}{2^n - 1}$$

转换误差:

实际D/A转换特性和理想D/A转换特性间的最大偏差。

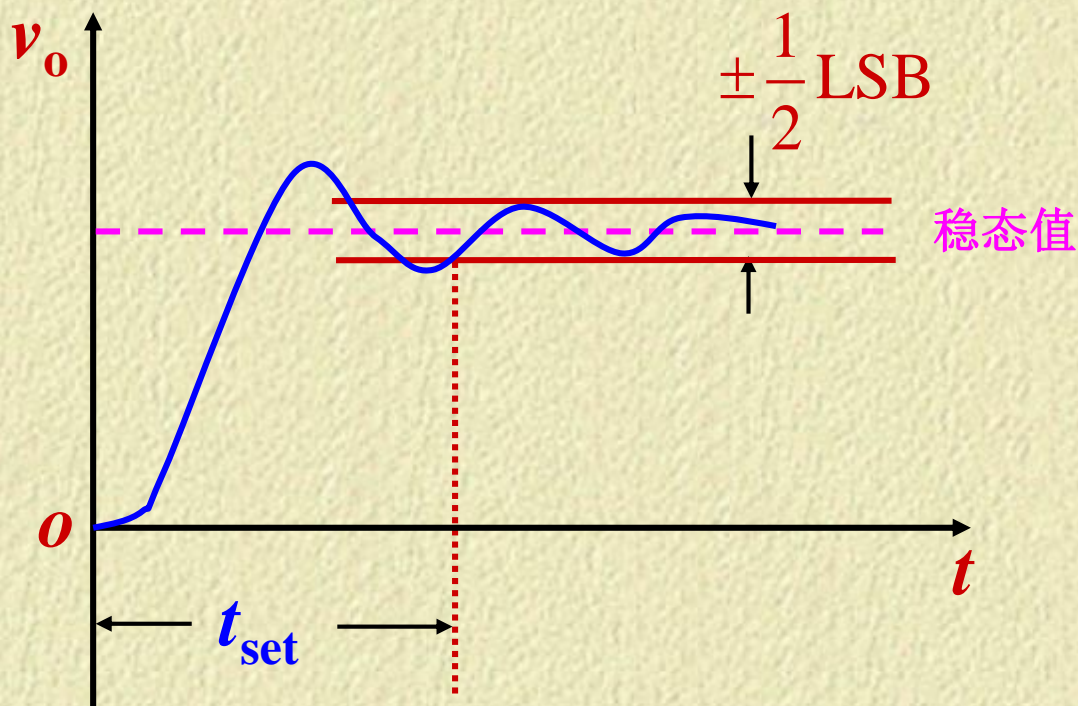
表示方法: { 一般用最低有效位的倍数表示。
也可用输出电压满刻度FSR的百分数。
表示输出电压误差绝对值的大小。

如果 V_{REF} 偏离标准值 ΔV_{REF} , 则4位倒T形电阻网络D/A转换器的输出电压误差为:

$$\Delta v_{o1} = -\frac{1}{2^4}(d_3 2^3 + d_2 2^2 + d_1 2^1 + d_0 2^0)\Delta V_{REF}$$

转换速度:

通常用建立时间 t_{set} 来定量描述D/A转换器的转换速度。



第二节 模-数转换

- ❖ A/D转换器的基本原理
- ❖ 取样-保持电路
- ❖ 并联比较型A/D转换器
- ❖ 反馈比较型A/D转换器
- ❖ V - F 变换型A/D转换器
- ❖ A/D转换器的转换精度和转换速度

一、A/D转换器的基本原理

1. 取样定理

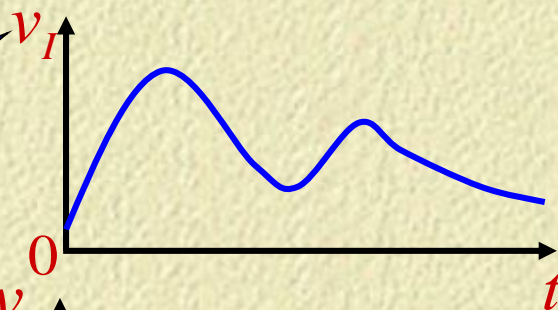
取样信号必须有
足够高的频率

$$f_s \geq 2f_{i(\max)}$$

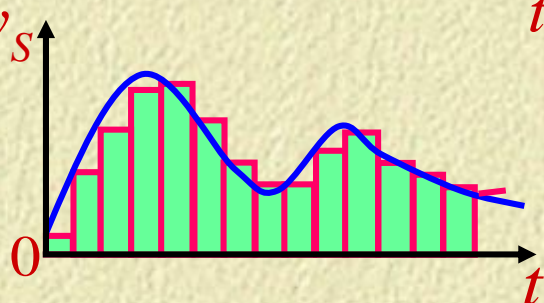
f_s 取样频率

$f_{i(\max)}$ v_I 最高频率

模拟信号

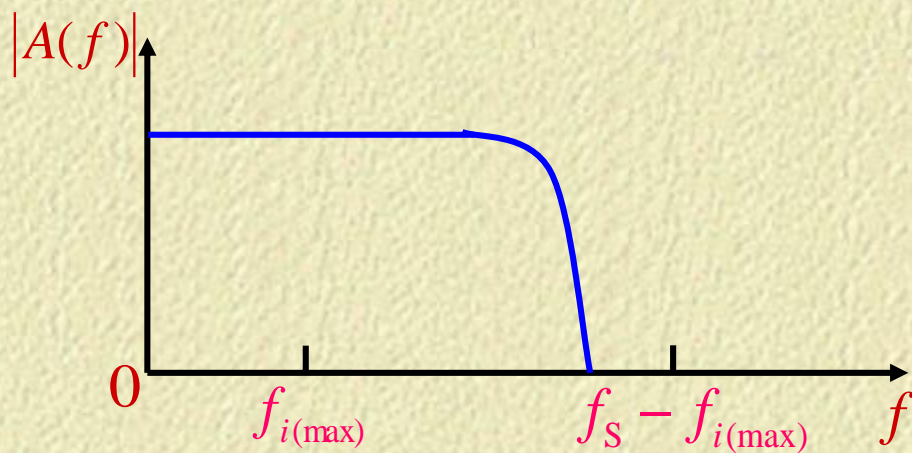


取样信号



对输入模拟信号的取样

满足取样定理条件下，
可用低通滤波器将取样信号还原为输入模拟信号。



还原取样信号所用滤波器的频率特性

2. 量化和编码

量化： 进行A/D转换时，

取样电压表示为数字信号所取的最小数量单位的整数倍，

所取最小数量叫做**量化单位**，用 Δ 表示。

数字信号最低有效位的**1**所代表的数量大小就等于 Δ 。

编码： 把量化的结果用代码表示出来，

这些代码是A/D转换的结果。

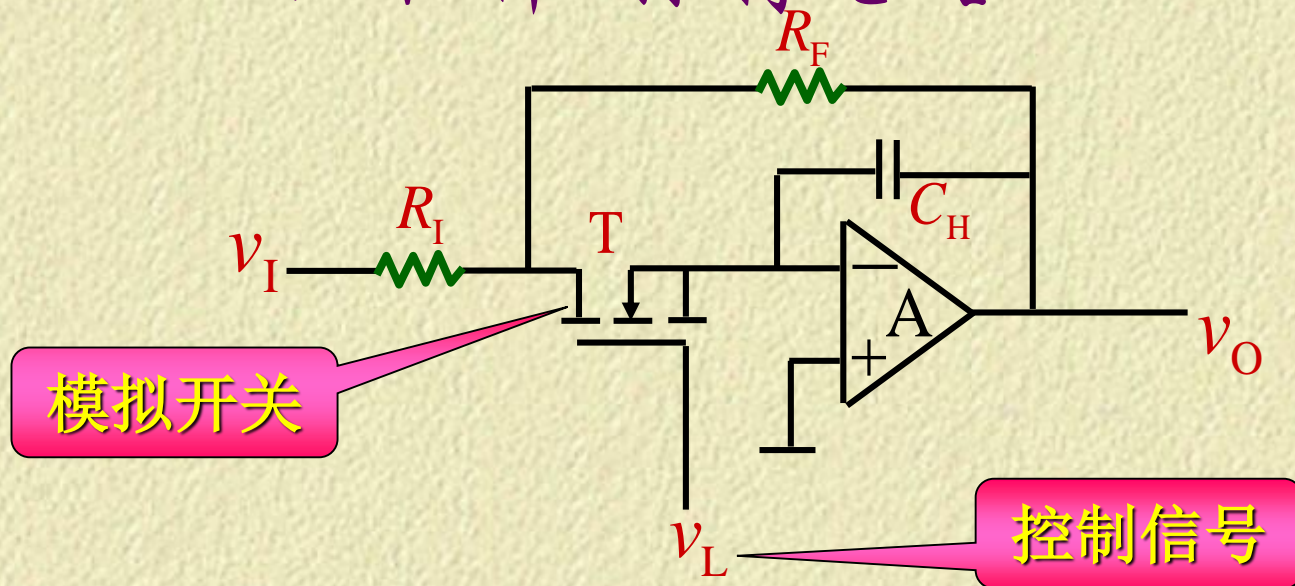
量化误差： 量化过程引入的误差。

当输入的模拟电压在正、负范围内变化时，

一般要求采用二进制**补码**的形式编码。

二、取样-保持电路

动画



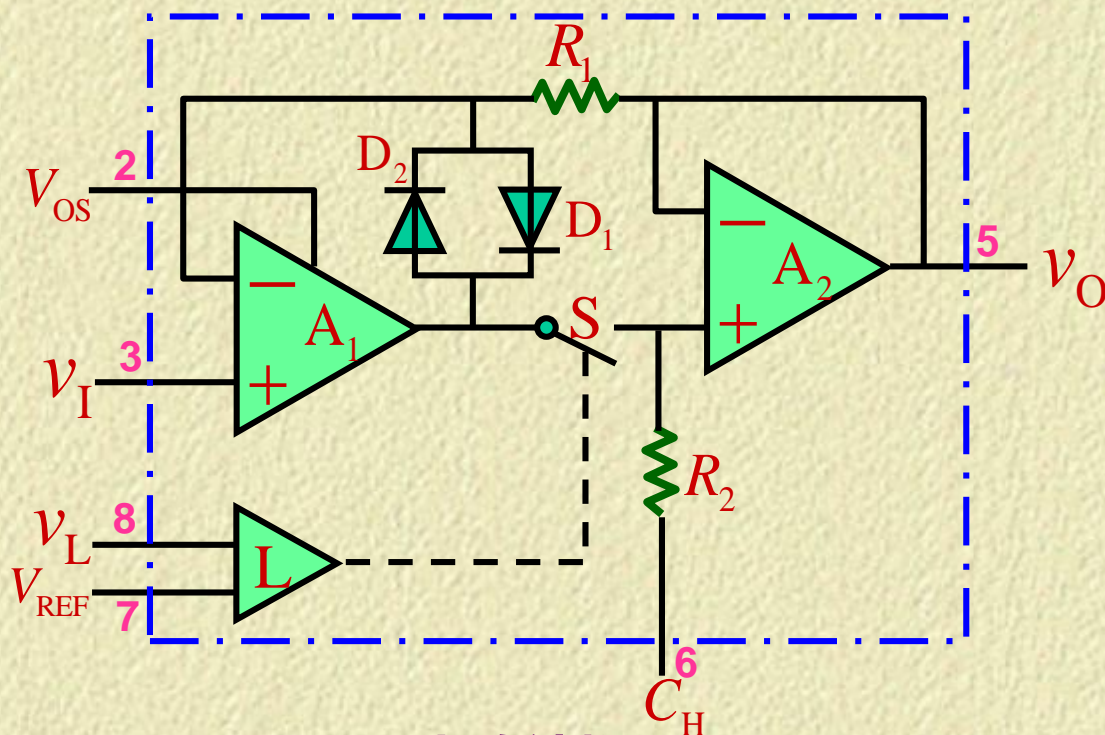
取样—保持电路的基本形式

v_L 为高电平时 **T** 导通，取样。

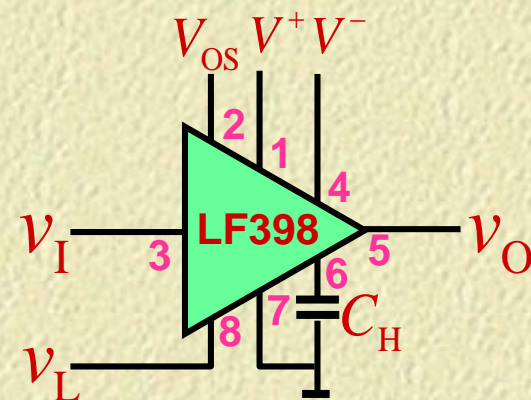
v_L 返回低电平后 **T** 截止，保持。

以上电路很不完善，取样速度受限制。

集成取样-保持电路LF398



电路结构

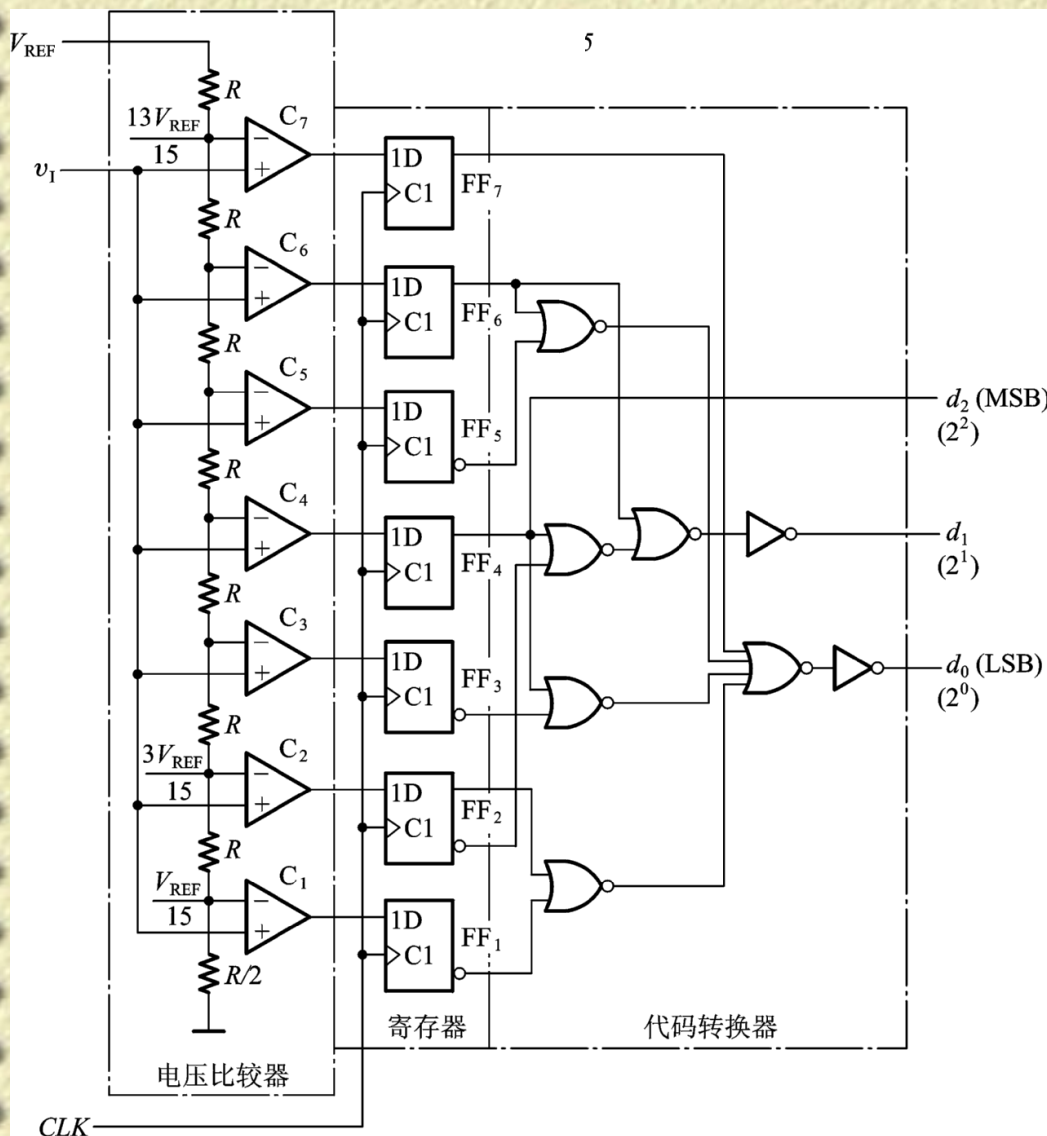


典型接法

v_L 为高电平时 **S** 闭合，电路处于取样工作状态。

v_L 返回低电平后 **S** 断开，电路进入保持状态。

三、 并联比较型A/D转换器

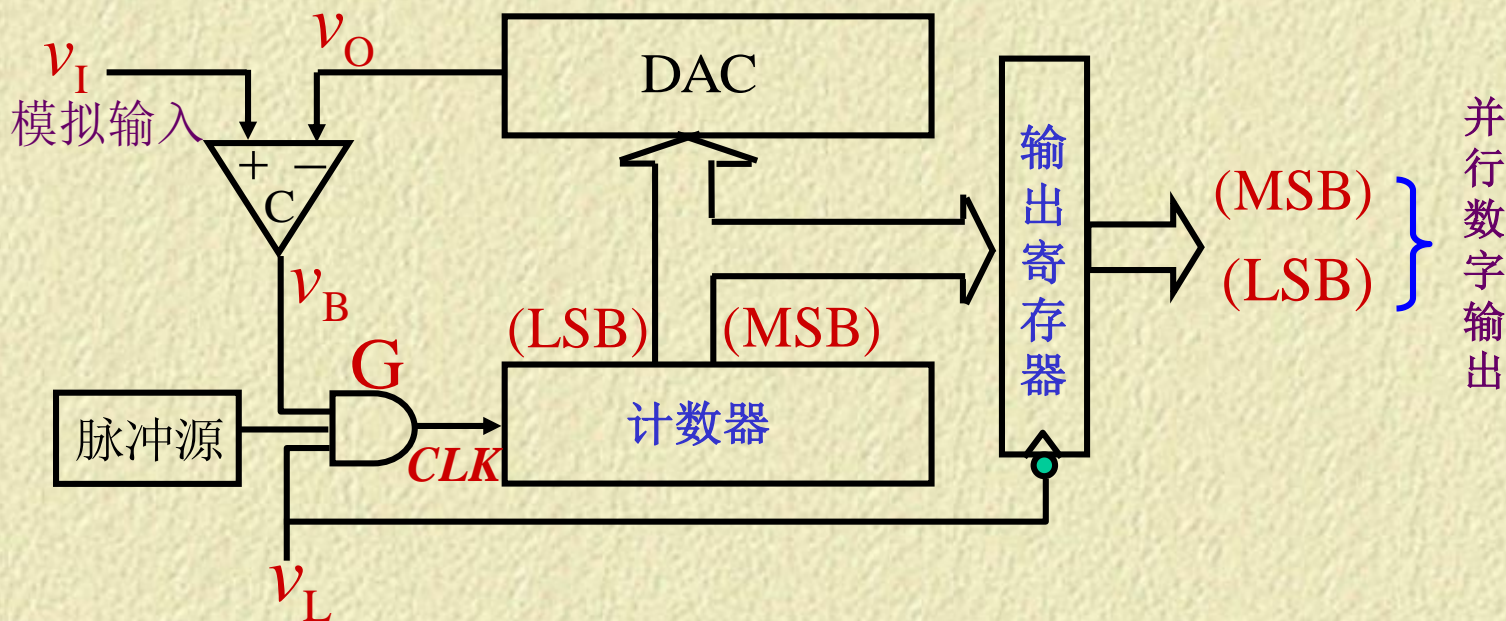


并联比较型A/D转换器属于直接A/D转换器，它能将输入的模拟电压直接转换为输出的数字量而不需要经过中间变量。

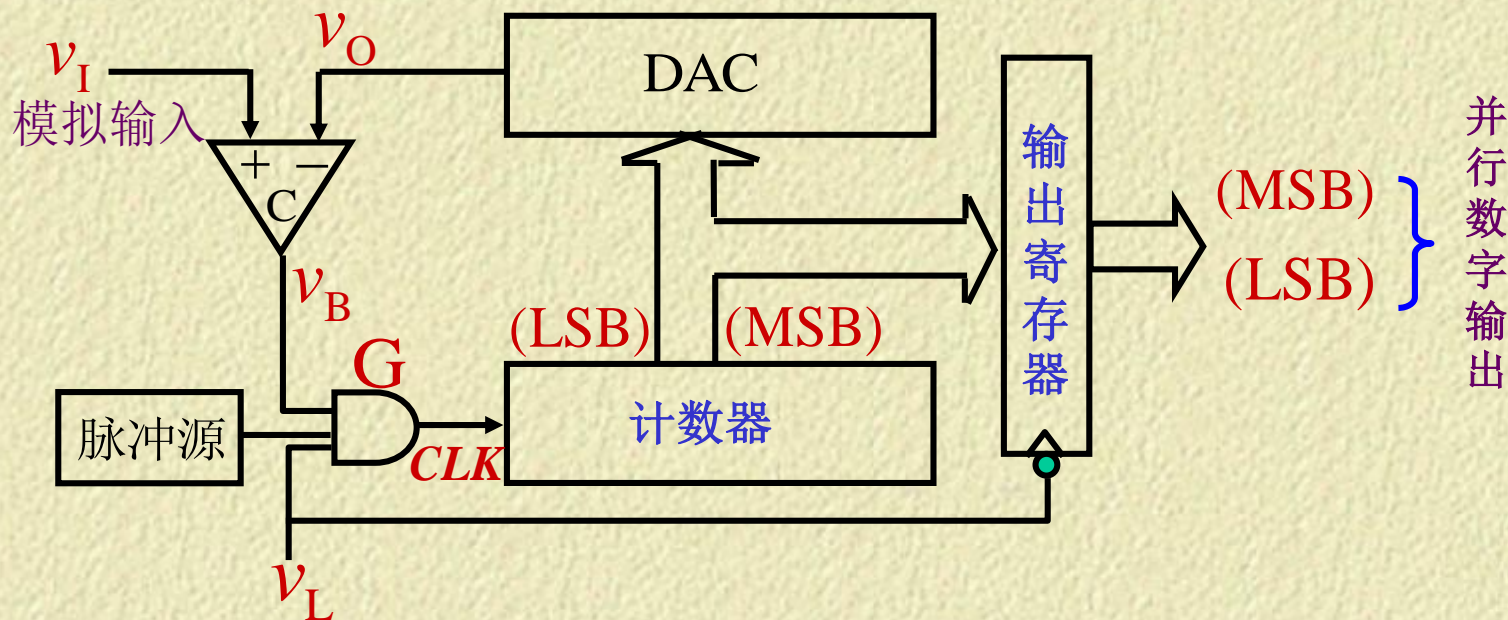
图示电路输入为 $0 \sim V_{REF}$ 间的模拟电压，输出为3位二进制数码 $d_2 d_1 d_0$ 。

四、反馈比较型A/D转换器

1. 计数型A/D转换器



转换开始前先用复位信号将计数器置零，
而且转换控制信号应停留在 $v_L=0$ 的状态。

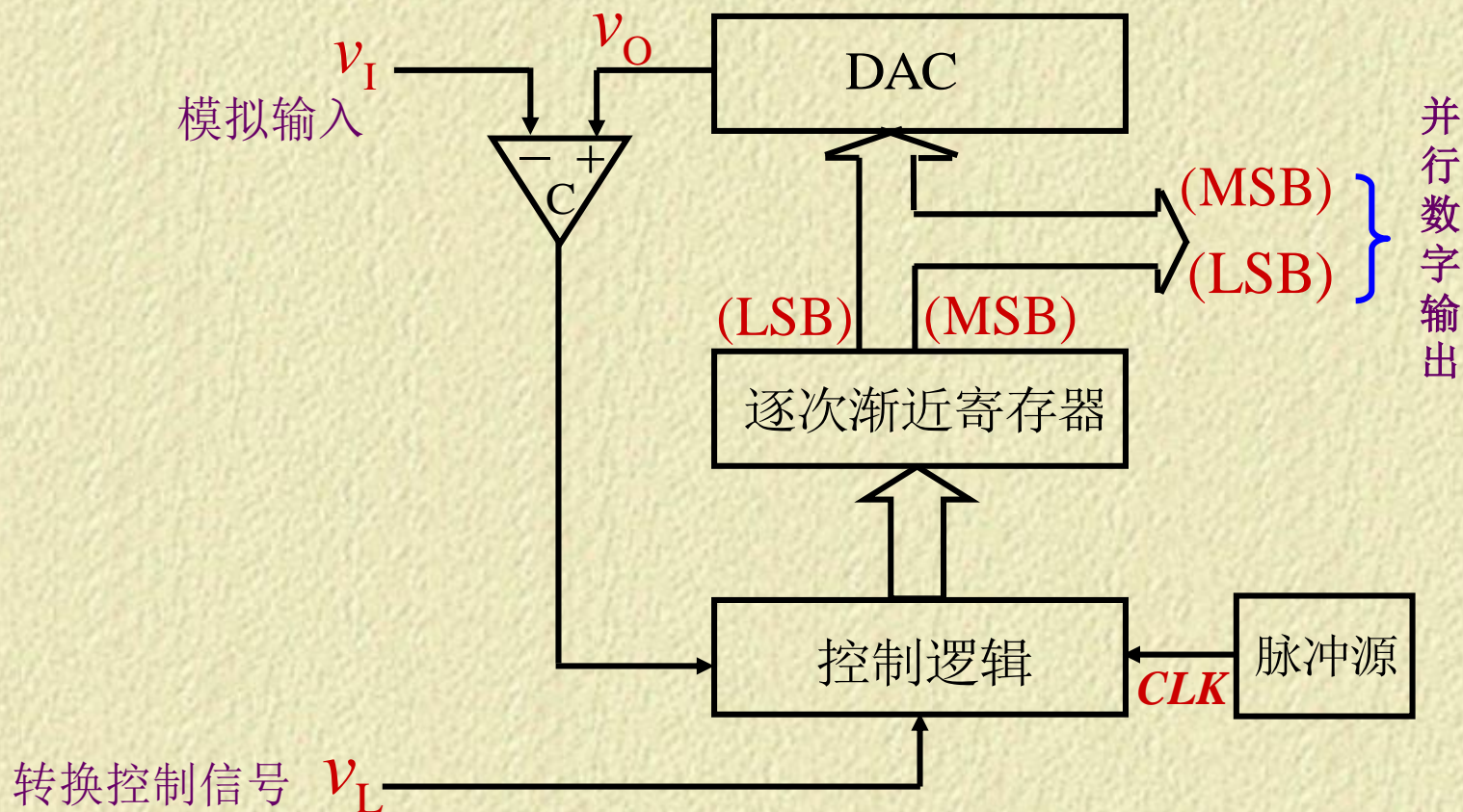


当 v_L 变为高电平时开始转换，计数器开始计数， v_O 不断增加。

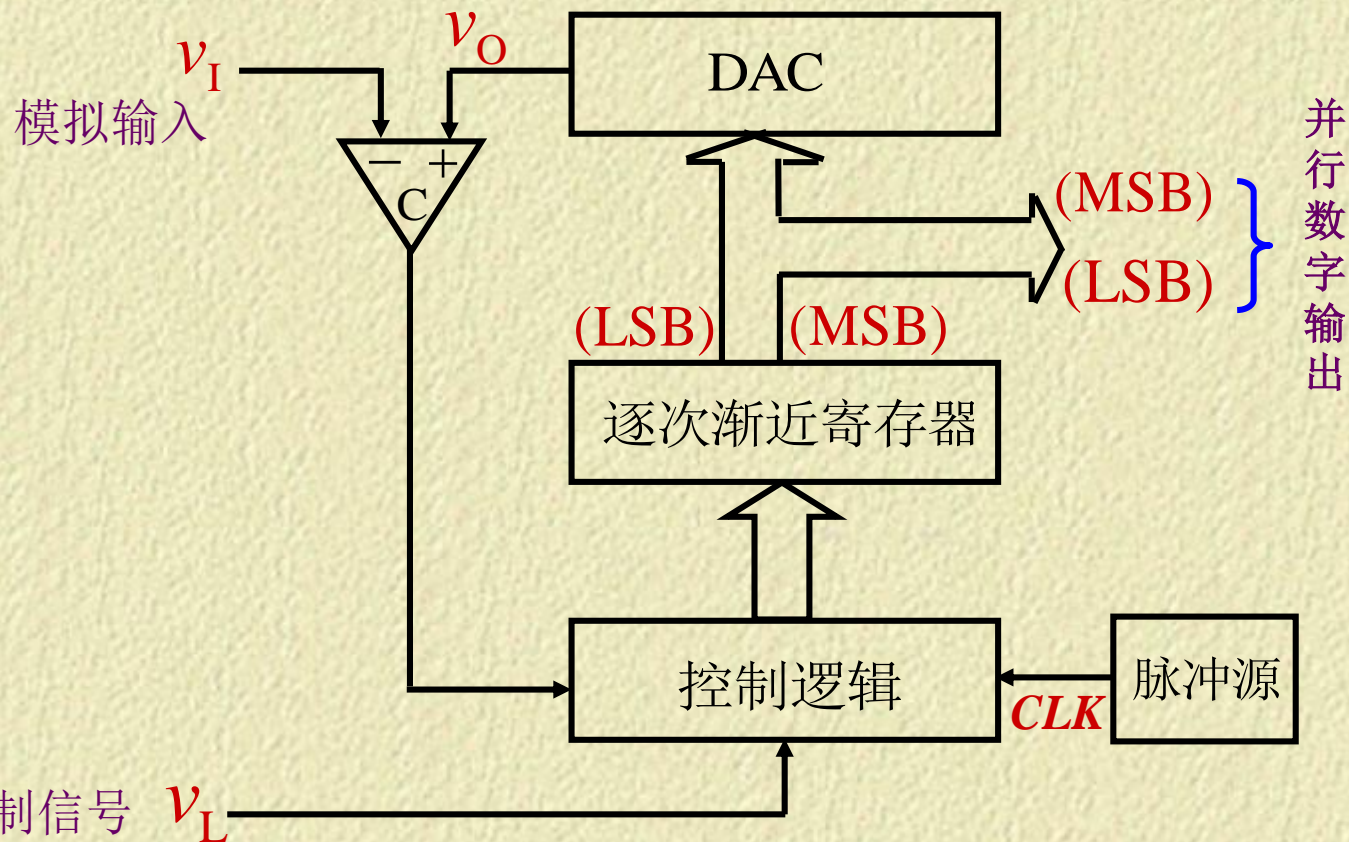
当增至 $v_O = v_I$ 时， $v_B = 0$ 将门封锁，计数器停止计数，这时计数器中所存的数字就是所求的输出数字信号。

这种方案的明显缺点是转换时间太长。

2. 逐次渐近型A/D转换器



转换开始前先将寄存器清零，所以加给D/A转换器的数字量也全是0。



转换控制信号 v_L 变为高电平时开始转换，时钟信号首先将寄存器的最高位置成1，使寄存器的输出为 $100\cdots00$ 。这个数字量被D/A转换器转换成相应的模拟电压 v_O ，并送到比较器与输入信号 v_I 进行比较。

如果 $v_O > v_I$ ，说明数字过大了，则这个1应去掉；

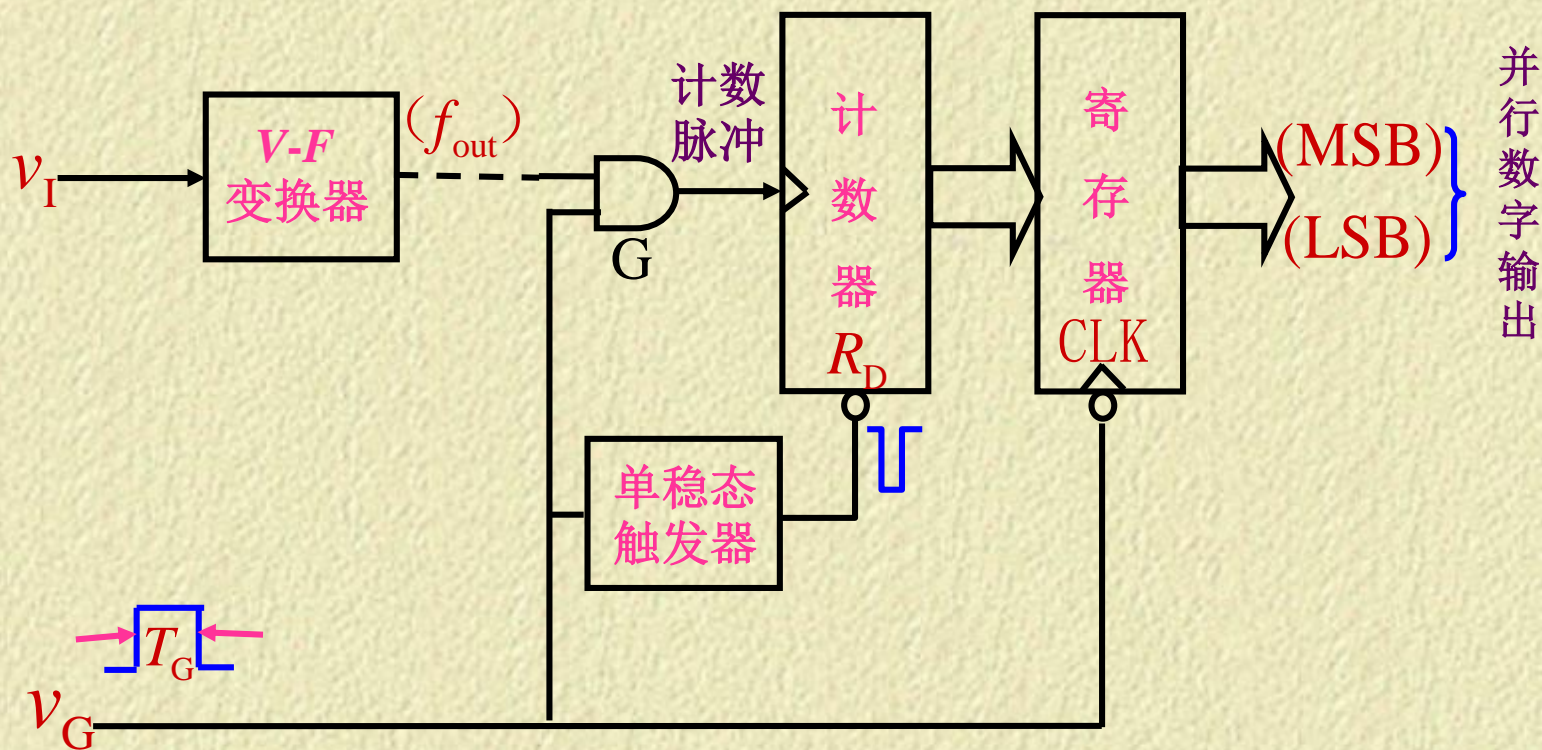
如果 $v_O < v_I$ ，说明数字还不够大，这个1应保留。

然后，再按同样的方法将次高位置1，并比较 v_O 与 v_I 的大小以确定这一位的1是否应当保留。

这样逐位比较下去，直到最低位比较完为止。这时寄存器里所存的数码就是所求的输出数字量。

逐次渐近型A/D转换器的转换速度比并联比较型A/D转换器低，但比计数型A/D转换器的转换速度要高得多。而且在输出位数较多时，逐次渐近型A/D转换器的电路规模要比并联比较型小得多。因此逐次渐近型A/D转换器是目前集成A/D转换器产品中用得最多的一种电路。

五、V-F变换型A/D转换器



V-F变换型A/D转换器的电路结构框图

六、A/D转换器的转换精度与转换速度

1. A/D转换器的转换精度

单片集成的A/D转换器采用**分辨率**和**转换误差**来描述。

分辨率：以输出二进制或十进制的位数表示，

说明A/D转换器对输入信号的分辨能力。

转换误差：通常以输出误差最大值的形式给出，

表示实际输出的数字量

和理论上应有的输出数字量之间的差别。

2. A/D转换器的转换速度

A/D转换器的转换速度主要取决于转换电路的类型，不同类型的A/D转换器的转换速度相差悬殊。

并联比较型A/D转换器的转换速度最快。

逐次渐近型A/D转换器的转换速度次之。

间接A/D转换器的转换速度要低得多了。

高速A/D转换器应将取样-保持电路的获取时间计入转换时间之内。