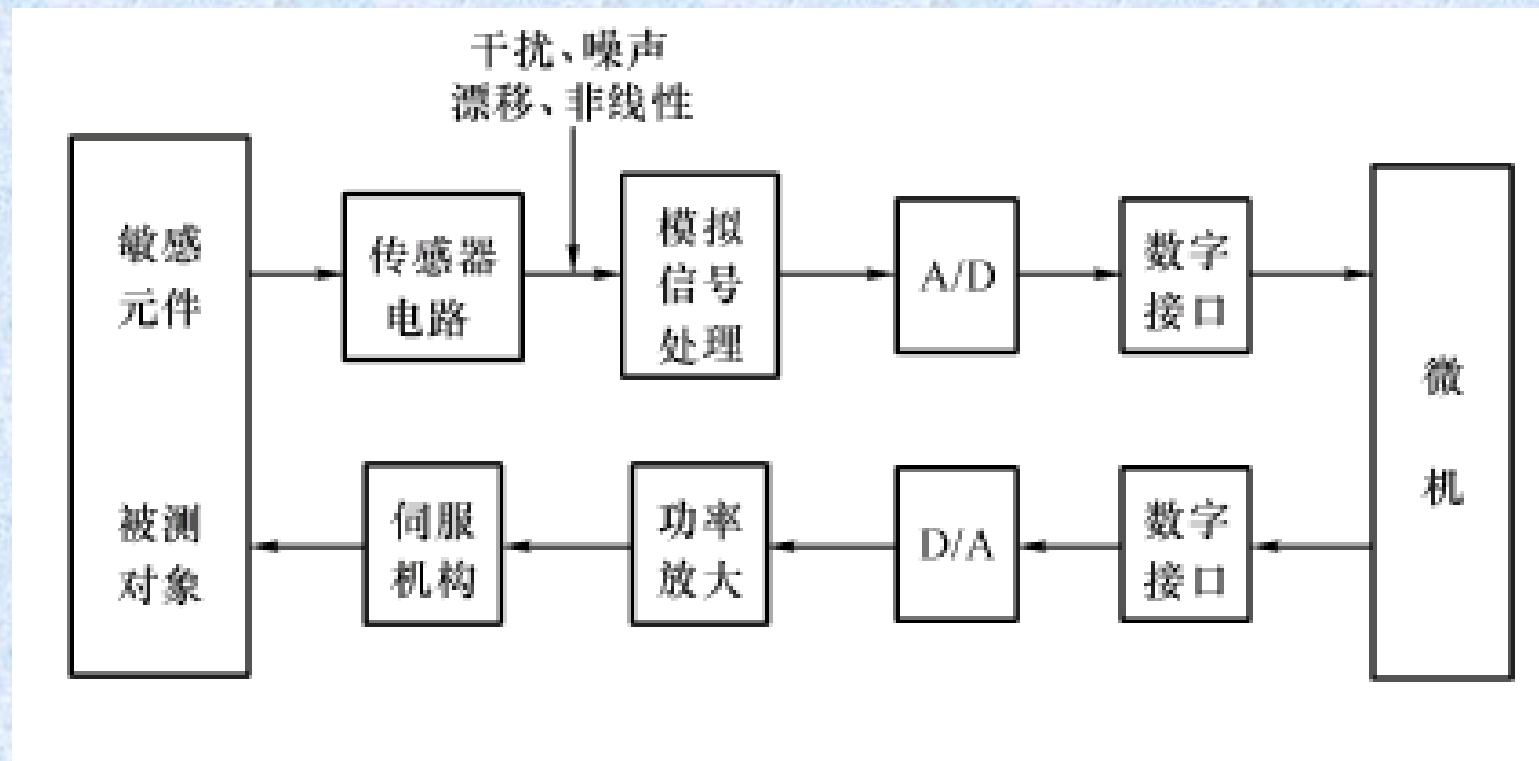


第6章 信号转换电路

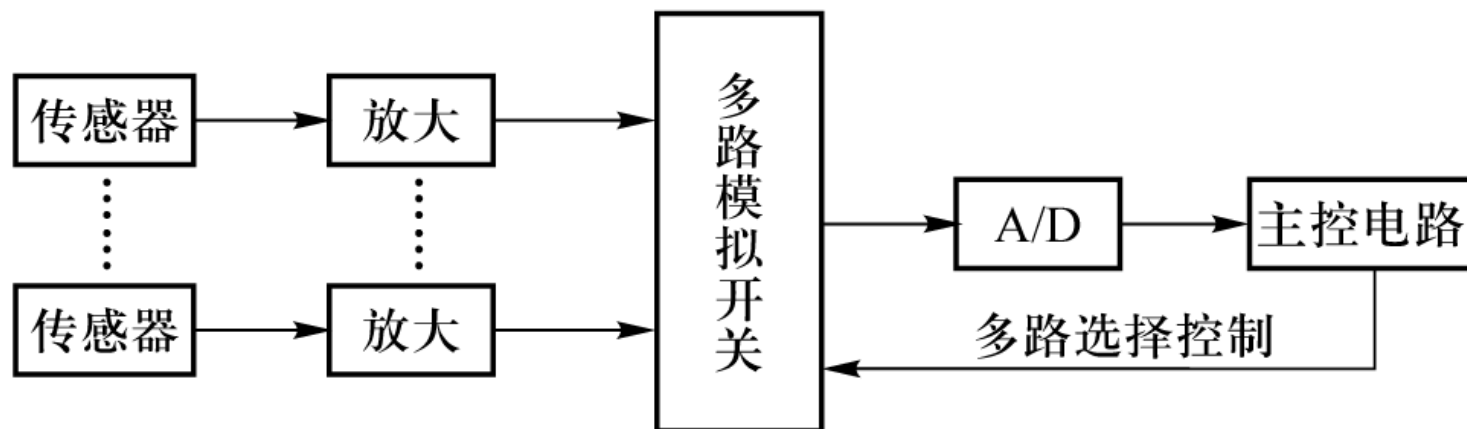
- 6.1 数/模转换电路
- 6.2 模/数转换电路
- *6.3 电压/频率 (V/F) 转换电路
- *6.4 频率/电压 (F/V) 转换电路

一般微机测控系统原理框图

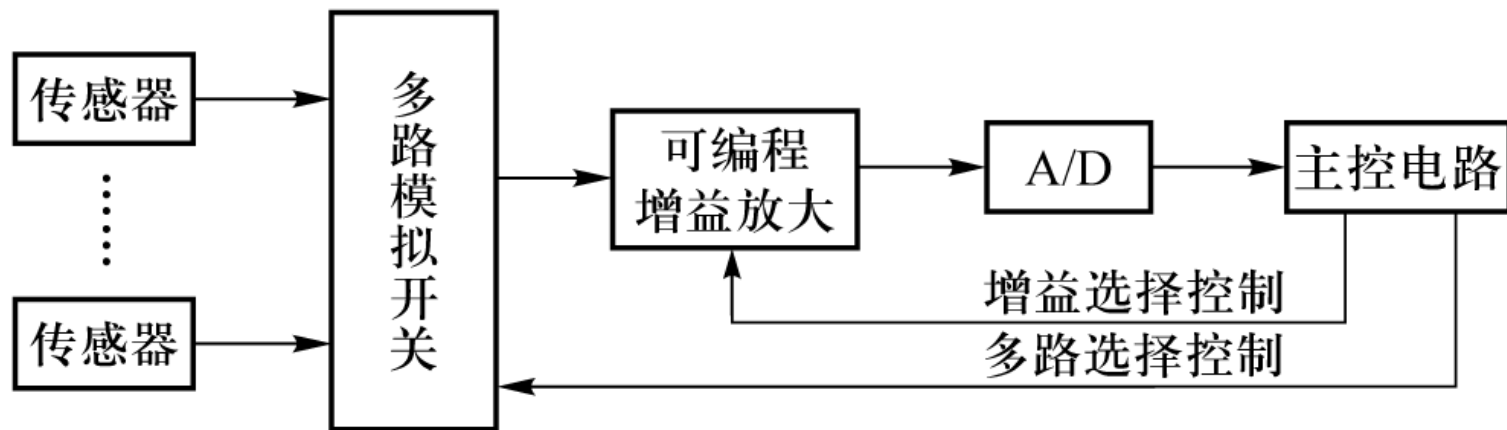


在计算机控制系统中，经常需要进行数字量—模拟量，模拟量—数字量的转换，（前者称D/A转换，后者为A/D转换）。

➤ 多输入通道的前向通道结构



(a) 共用A/D转换电路



(b) 共用放大电路与A/D转换电路

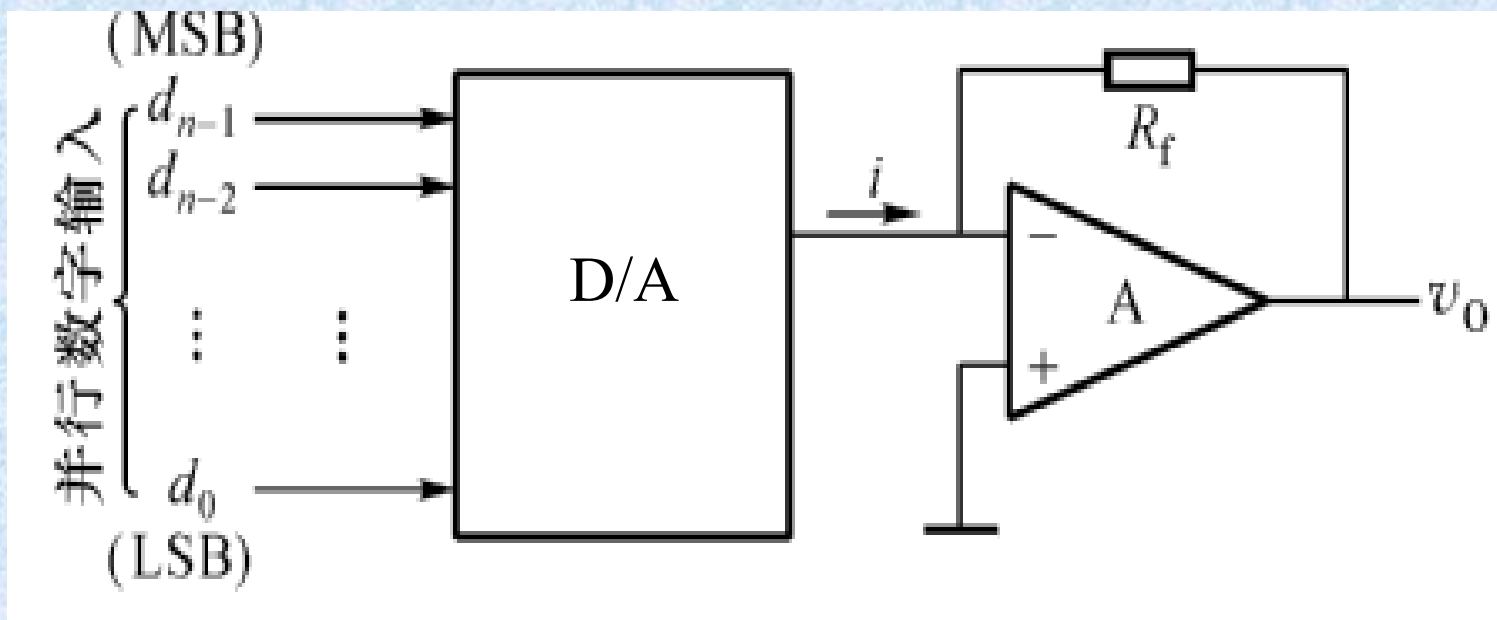
6.1 数/模转换电路(Digital to Analog Converter)

一、DAC的基本原理：将输入数字量变换成模拟量输出

基本思路：

将输入的二进制数按其位权的大小先转换成与之成正比的电流量，然后将该电流再转换成模拟量电压输出。

实现数字量—模拟量转换的电路框图



$$i = K_I D_n = K_I (d_{n-1} \cdot 2^{n-1} + d_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \cdots + d_1 \cdot 2^1 + d_0 \cdot 2^0)$$

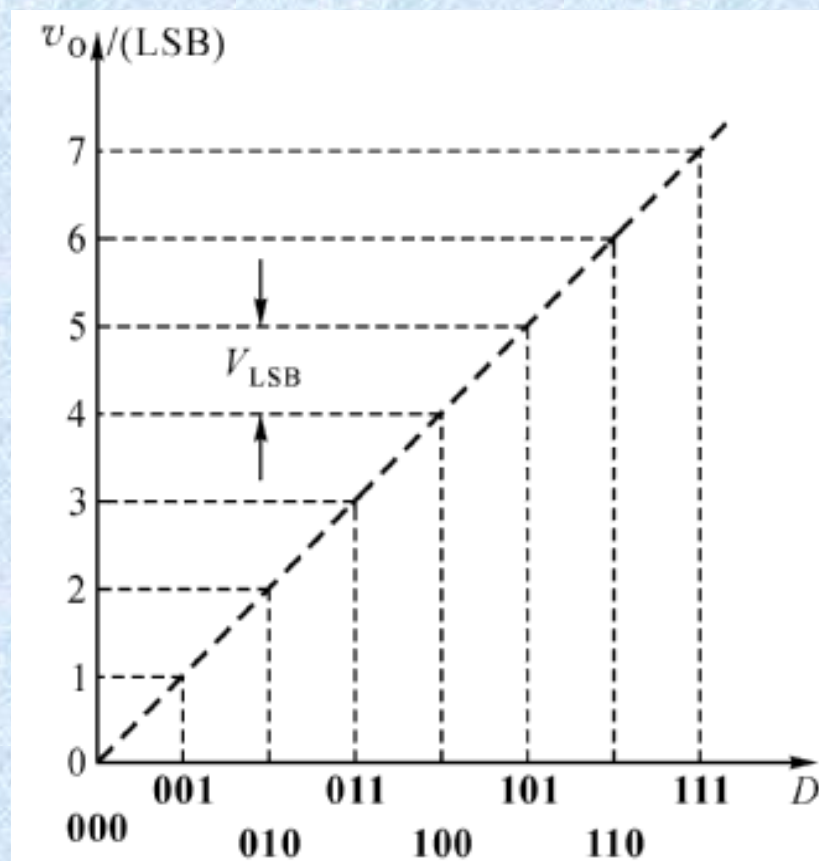
$$= K_I \sum_{i=0}^{n-1} d_i \cdot 2^i$$

$$v_o = -iR_f = -K_I \cdot R_f \cdot D_n = -K_I \sum_{i=0}^{n-1} d_i \cdot 2^i$$

D/A转换特性图

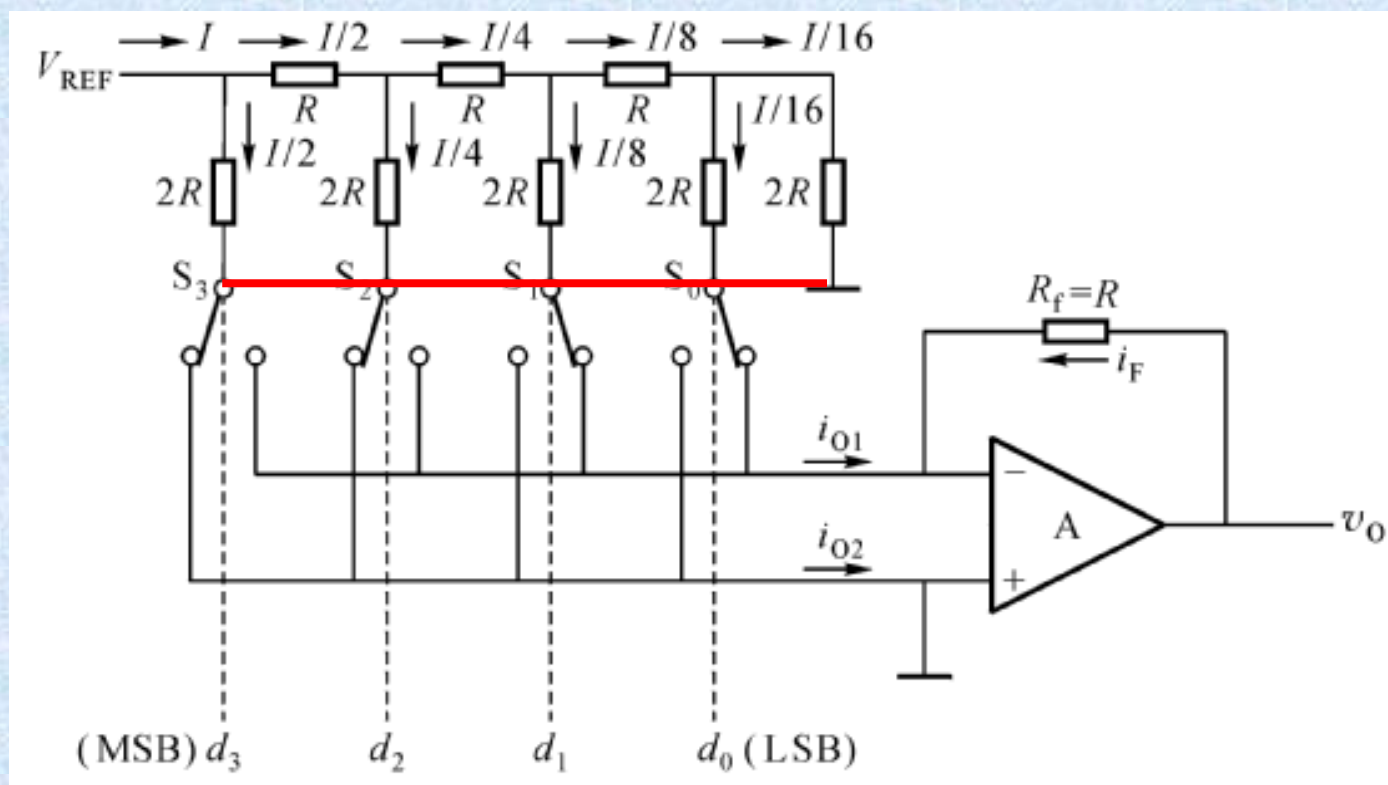
三位二进制数字量输入和模拟量输出的关系

图中输出模拟量的**最小增量 V_{LSB}** 表示输入数字量中最低位为“1”时的模拟电压。



二、四位倒T电阻网络D/A转换器

其特点是只有二种电阻，精度可以做的高；由于运放的反相输入端为虚地



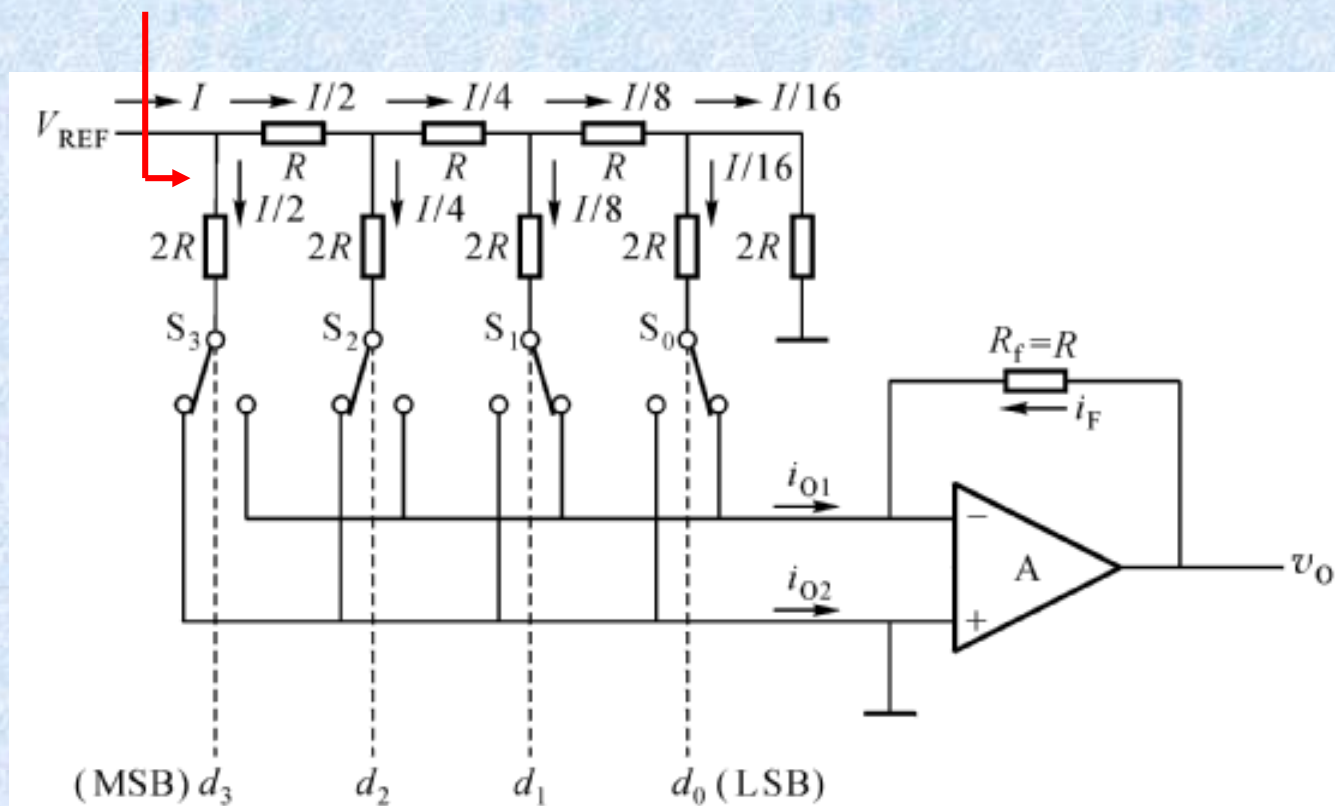
所以开关切换时流过支路电流不变，只是流向反相端还是流向地，所以没有过渡过程。

由图可知；网络部分的总电阻为 R ，而流过参考电源 V_{REF} 的总电流为：

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

而流过每一个节点的电流依次降低一半，即流过每一个支路的电流依次为：

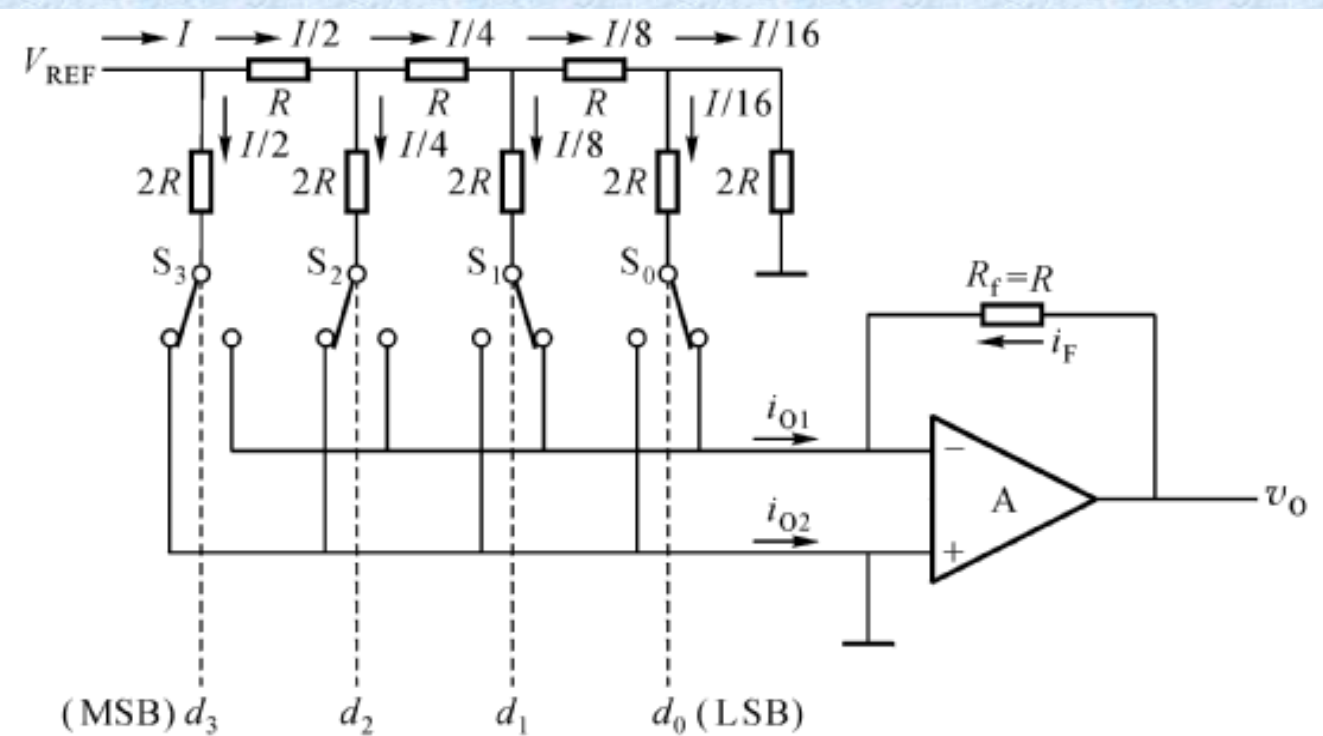
$$\frac{I}{2}, \frac{I}{2^2}, \frac{I}{2^3}, \frac{I}{2^4}$$



当输入二进制数的某一位高电平时，对应支路的电流流向反相端，反之流向地。因此流向反相端的电流有：

$$i_{o1} = \frac{I}{2} \cdot d_3 + \frac{I}{4} \cdot d_2 + \frac{I}{8} \cdot d_1 + \frac{I}{16} \cdot d_0$$

$$= \frac{V_{REF}}{R} \cdot \frac{1}{2^4} (d_3 \cdot 2^3 + d_2 \cdot 2^2 + d_1 \cdot 2^1 + d_0 \cdot 2^0)$$



$$i_{o1} = -i_f$$

所以输出电压有：

$$\begin{aligned} v_o &= -i_{o1}R_f = -\left(\frac{I}{2} \cdot d_3 + \frac{I}{4} \cdot d_2 + \frac{I}{8} \cdot d_1 + \frac{I}{16} \cdot d_0\right)R_f \\ &= -\frac{V_{REF}}{R} \cdot \frac{R_f}{2^4} (d_3 \cdot 2^3 + d_2 \cdot 2^2 + d_1 \cdot 2^1 + d_0 \cdot 2^0) \end{aligned}$$

输入为n位数字量时：

$$v_o = -\frac{V_{REF}}{R} \cdot \frac{R_f}{2^n} (d_{n-1} \cdot 2^{n-1} + d_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \cdots + d_2 \cdot 2^2 + d_1 \cdot 2^1 + d_0 \cdot 2^0)$$

当 $R=R_f$ 时：

$$\begin{aligned} v_o &= -\frac{V_{REF}}{2^n} \cdot (d_{n-1} \cdot 2^{n-1} + d_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \cdots + d_2 \cdot 2^2 + d_1 \cdot 2^1 + d_0 \cdot 2^0) \\ &= -\frac{V_{REF}}{2^n} \sum_{i=0}^{n-1} d_i \cdot 2^i = -\frac{V_{REF}}{2^n} \cdot D_n \end{aligned}$$

◆ 这种D/A转换器的典型产品是AD7520 (10位的一片D/A转换器)

三、D/A转换器的双极性输出

当正负的数字量输入时，要求有正负的模拟量输出。

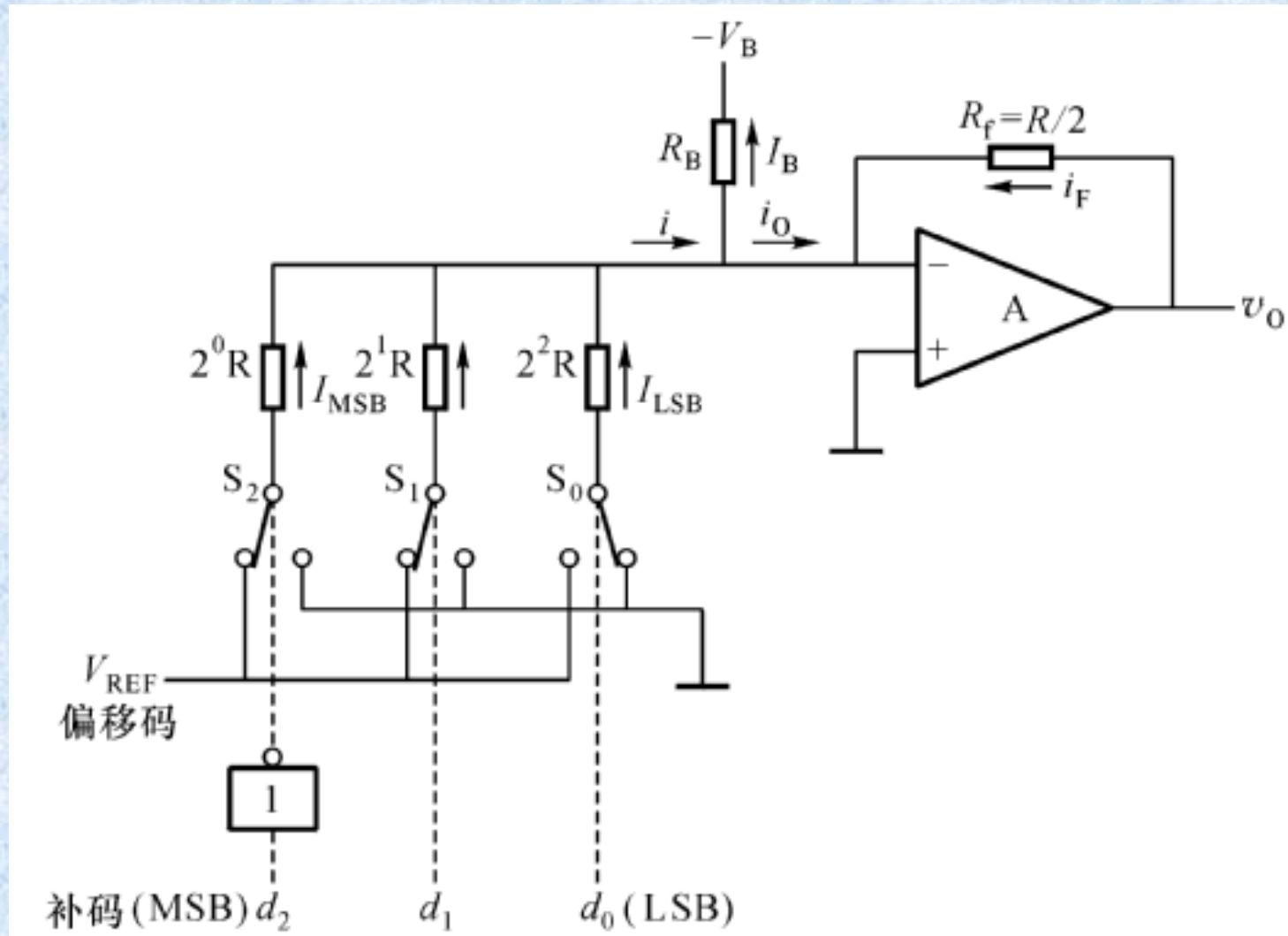
由于一个正负数通常用补码表示，因此，一个用补码输入的正、负数，如何转换成正、负输出的模拟量呢？

以一个三位二进制补码为例，3位二进制补码可以表示从+3到-4之间的任何一个十进制整数。

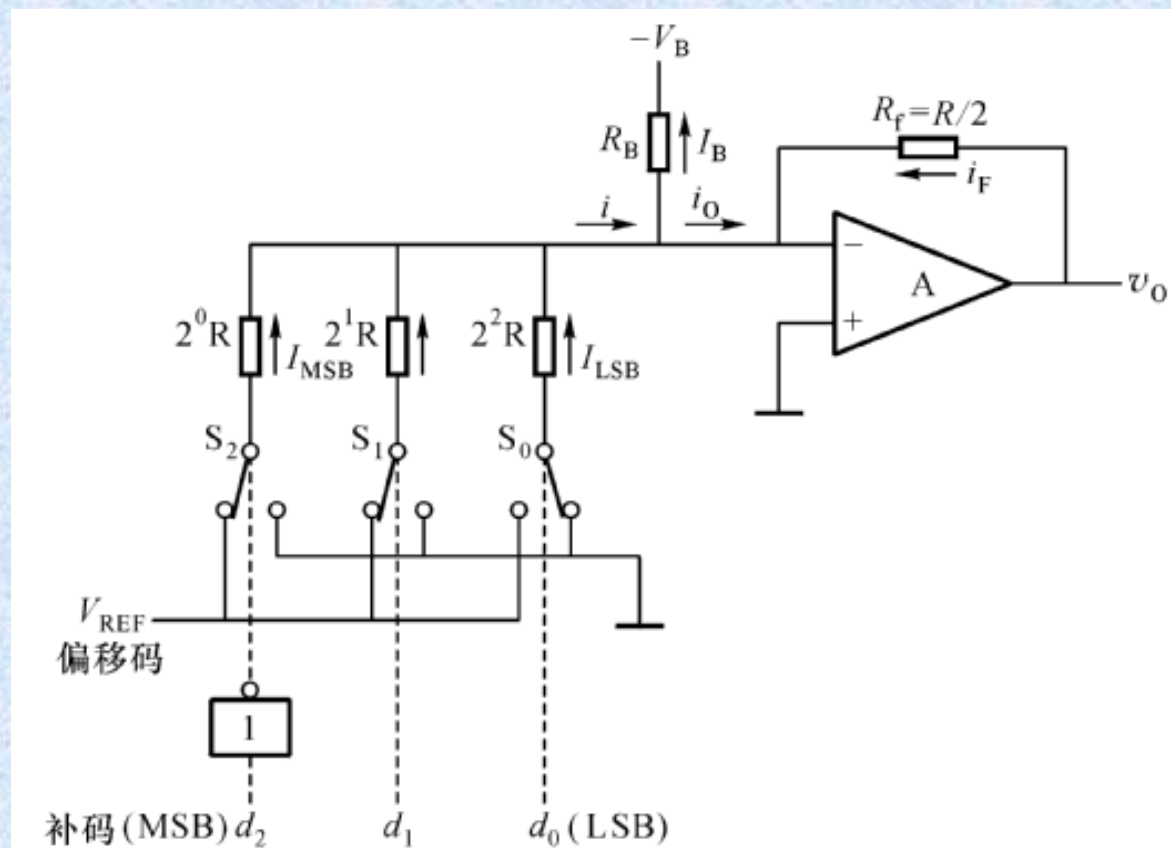
三位补码输入时与之对应的偏移码和D/A输出间的关系表

十进制数	补码输入 $d_2d_1d_0$	偏移码（补 码符号位取 反）	接入偏移电路 （偏移-4V）后的 输出电压（V）
+3	011	111	+3
+2	010	110	+2
+1	001	101	+1
0	000	100	0
-1	111	011	-1
-2	110	010	-2
-3	101	001	-3
-4	100	000	-4

能得到双极性输出的电路如图，它是将补码输入后，最高位求反，并设置了偏移电路来实现双极型输出的。



电路说明：当输入补码 $d_2d_1d_0=000$ ，偏移码 $=100$ 时，使 $i_o=0$ 。因此，应调节 R_B 的值，使 $I_B=I_{MSB}=V_B/R_B$ ，输出模拟电压为0。

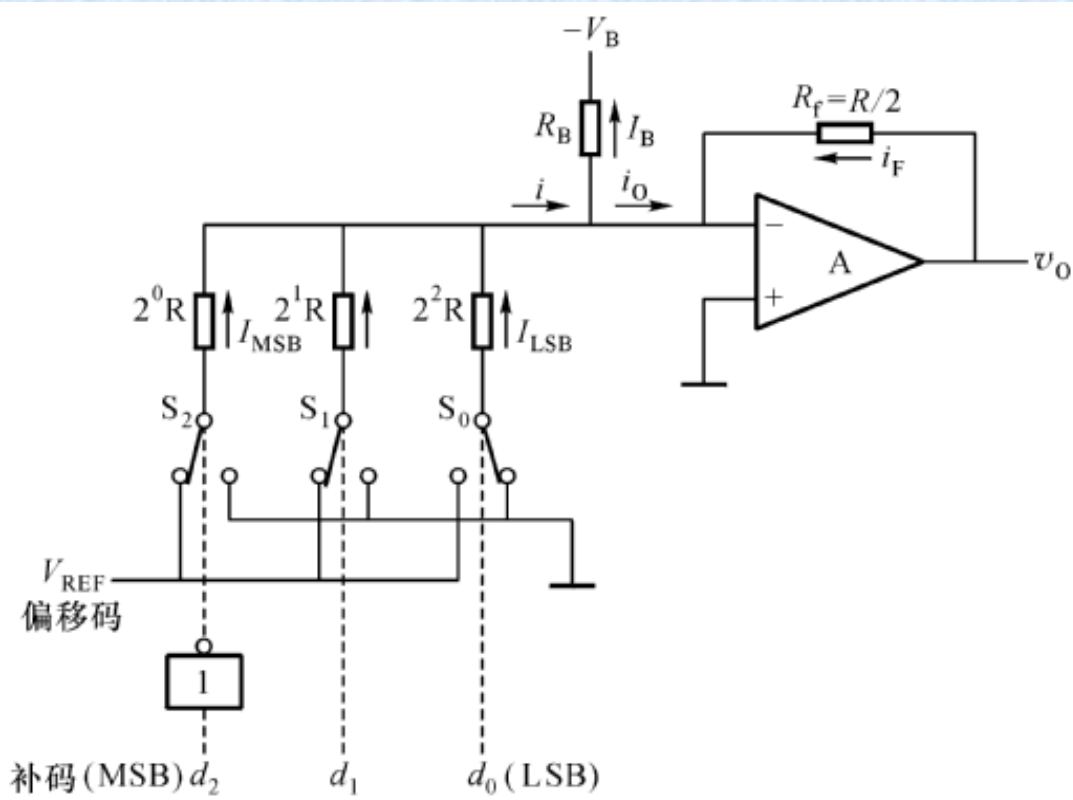


而在其它输入情况下，输出模拟量有：

$$v_o = -(i - I_B)R_f = -(i - I_{MSB})R_f$$

$$I_B = I_{MSB} = 2^{n-1} I_{LSB} = \frac{2^{n-1}}{2^n - 1} I_{\max}$$

式中的 I_{\max} 为偏移码全为1时的 i 总电流。

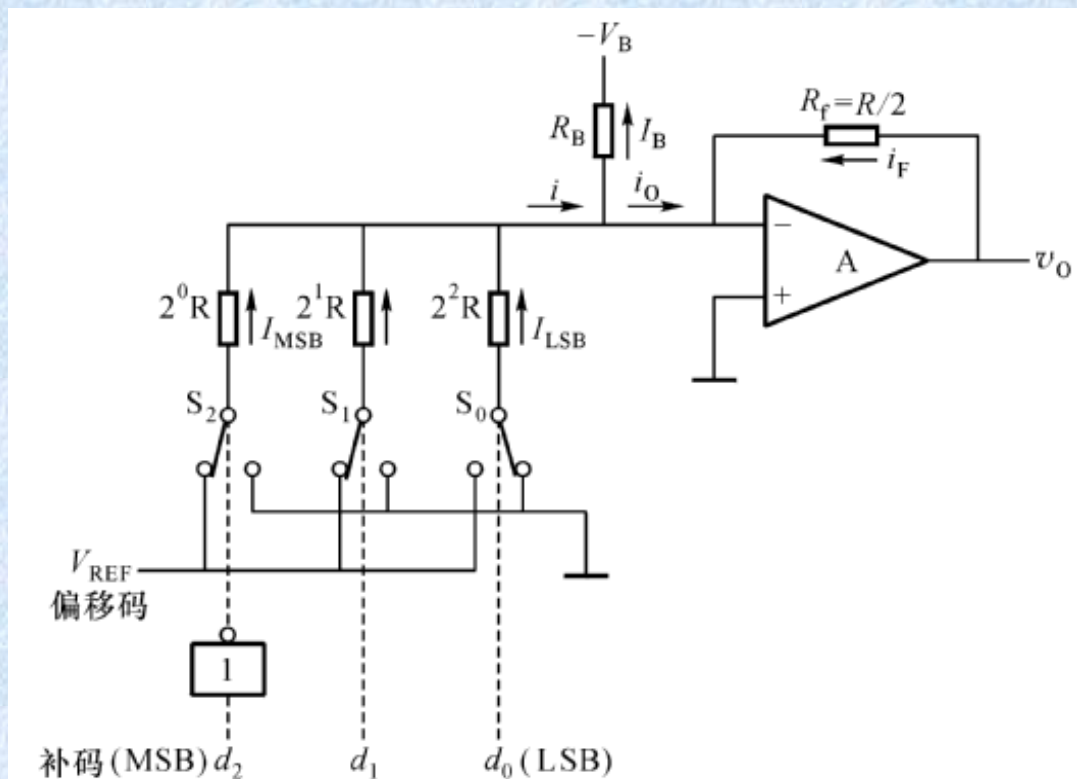


对n位的双极型D/A转换电路，则有：

输出模拟电压为：

$$i_o = i - I_B = i - \frac{2^{n-1}}{2^n - 1} I_{\max}$$

$$v_o = -i_o R_f = -(i - I_B) R_f = -\left(i - \frac{2^{n-1}}{2^n - 1} I_{\max}\right) R_f$$



四、D/A转换器的主要指标

1、分辨率

DAC电路所能分辨的最小输出电压增量为 V_{LSB} ，它与最大输出电压 V_m 之比称为分辨率。

$$\frac{V_{LSB}}{V_m} = \frac{1}{2^n - 1}$$

例如 $n=10$ ，分辨率为千分之一。由于分辨率的大小仅决定与输入数字量的位数。手册中常以DAC的位数 n 来表示。

位数越多，分辨率越高

2、转换精度

如果不考虑D/A转换的误差，DAC转换精度就是分辨率的大小。因此，要获得高精度的D/A转换结果，首先要选择有足够高分辨率的DAC。

绝对转换精度 是指满刻度数字量输入时，模拟量输出接近理论值的程度。它和标准电源的精度、权电阻的精度有关。

相对转换精度 指在满刻度已经校准的前提下，整个刻度范围内，对应任一模拟量的输出与它的理论值之差。它反映了DAC的线性度。

3、非线性误差

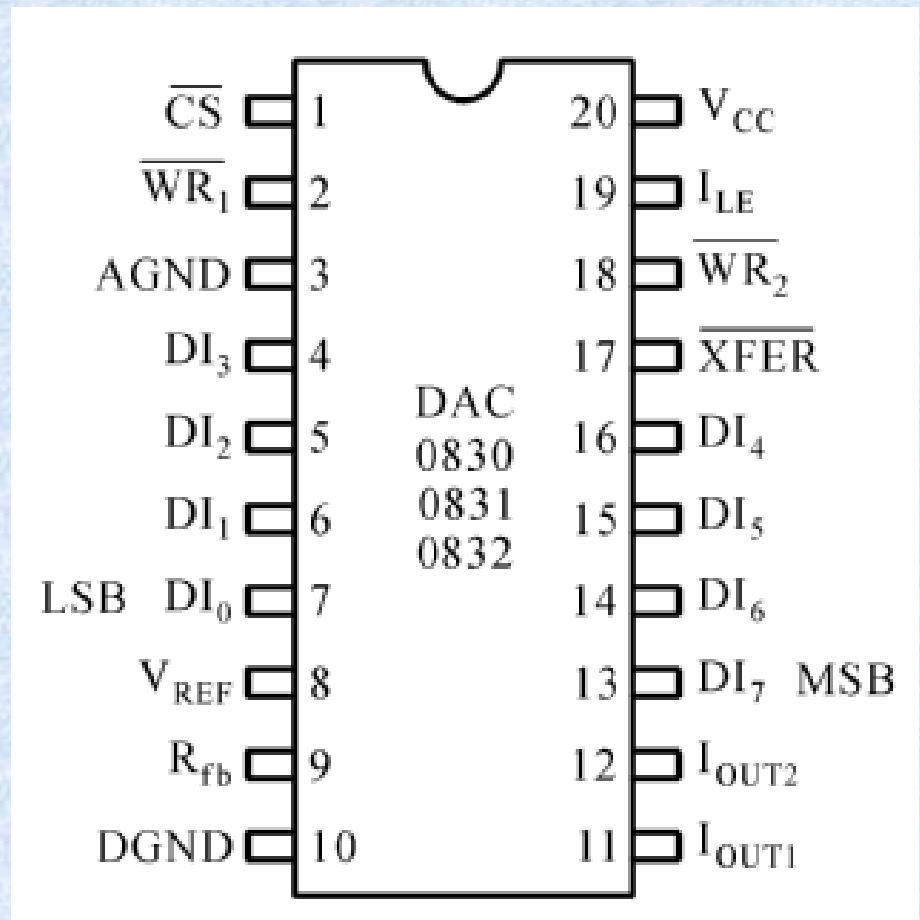
D/A转换器的非线性误差定义为实际转换特性曲线与理想特性曲线之间的最大偏差，并以该偏差相对于满量程的百分数度量。转换器电路设计一般要求非线性误差不大于 $\pm 1/2\text{LSB}$ 。

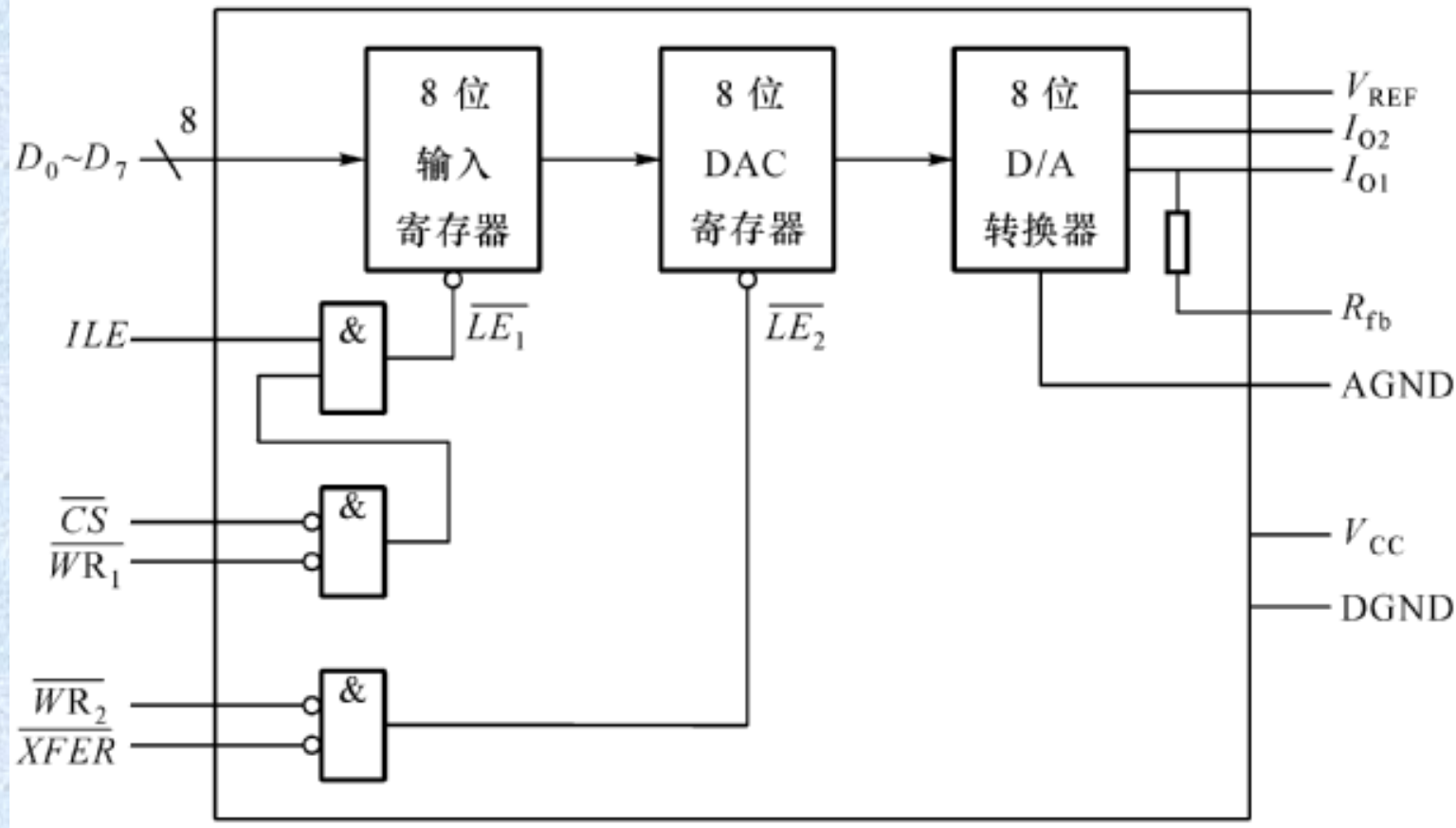
4、转换速率/建立时间

转换速率实际是由建立时间来反映的。建立时间是指数字量为刻度值（各位全为1）时，DAC的模拟输出电压达到某个规定值（比如，90%满量程或 $\pm 1/2\text{LSB}$ 满量程）时所需要的时间。

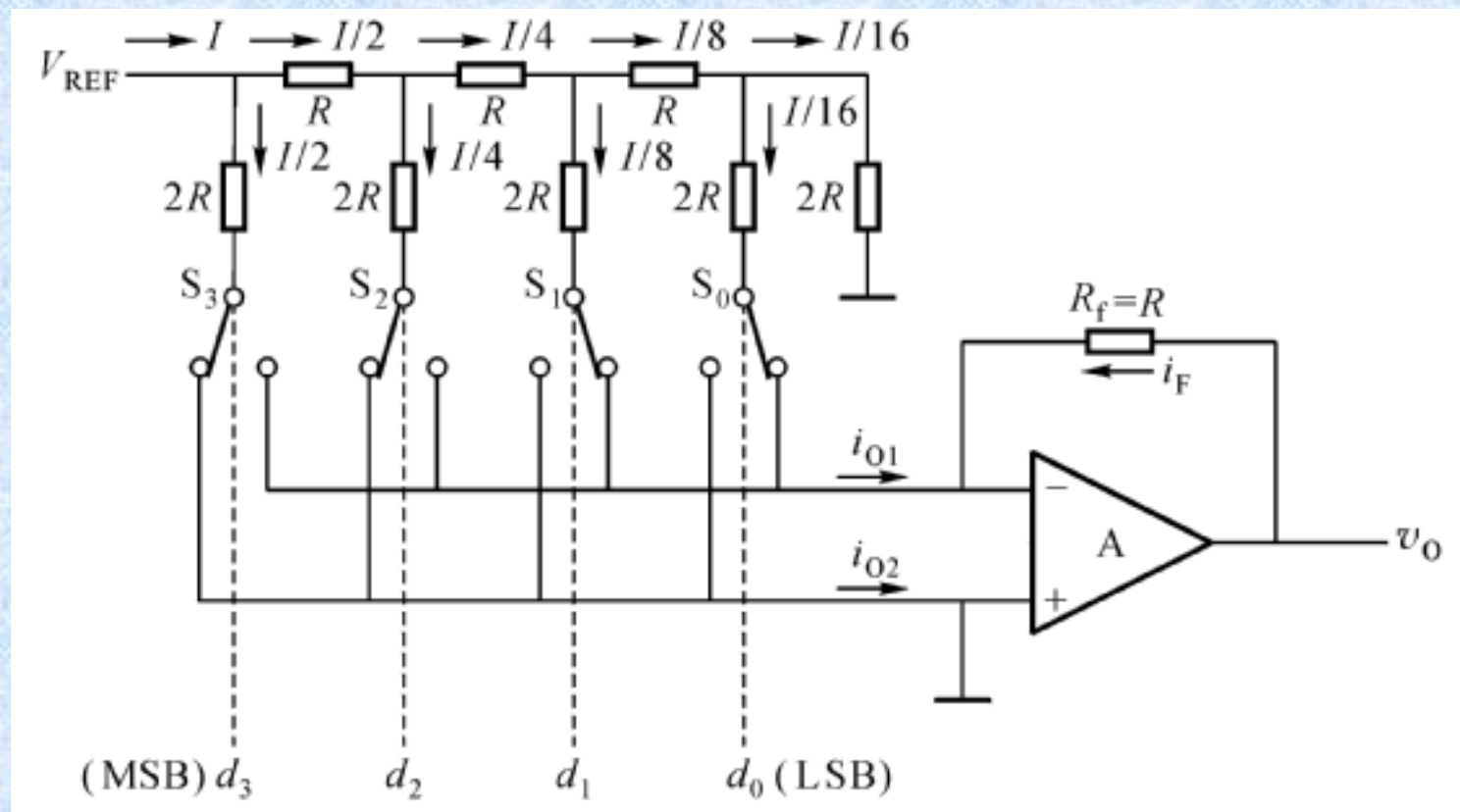
五、集成D/A转换器DAC0832应用举例

特点：8位分辨率，与8位微机兼容，价格低，接口简单，转换控制容易，电路为R-2R T型电阻网络结构等。

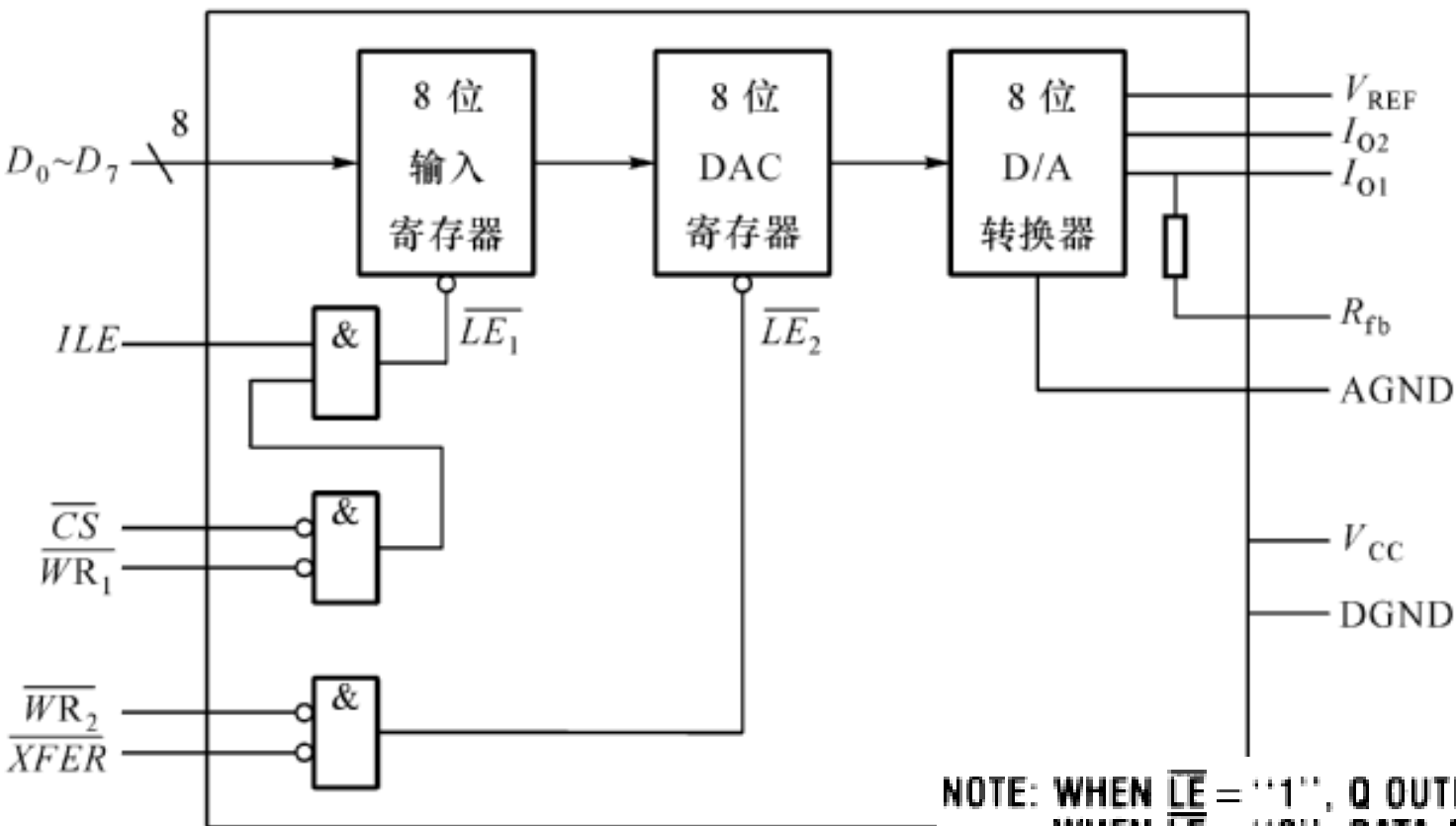




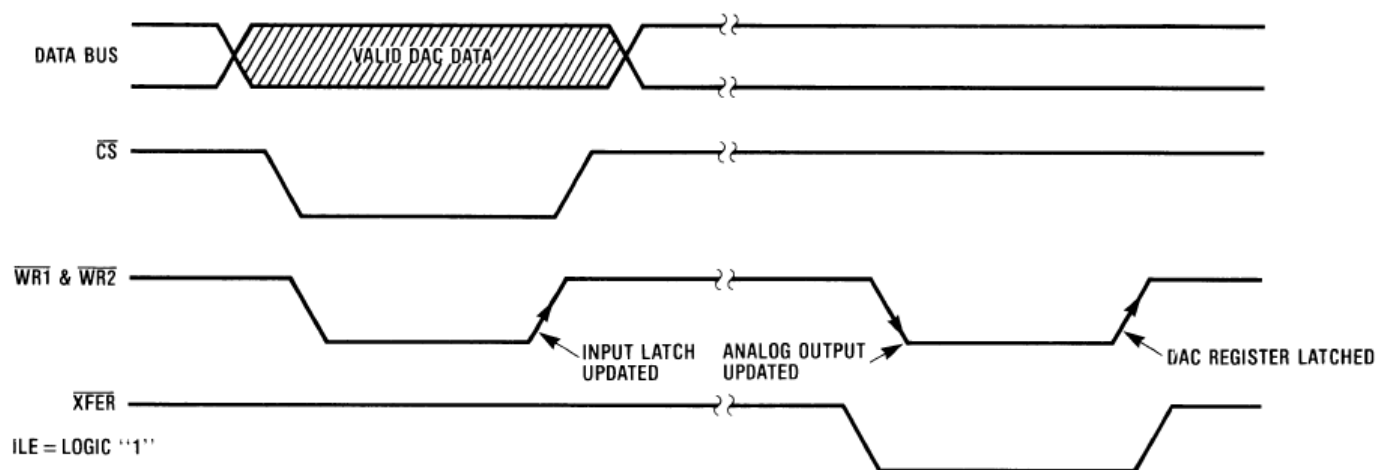
$D_7 \sim D_0$ 是数字量输入端， V_{REF} 外接参考电压，可正、可负。 I_{OUT1} 和 I_{OUT2} 是电流输出端，接运算放大器。



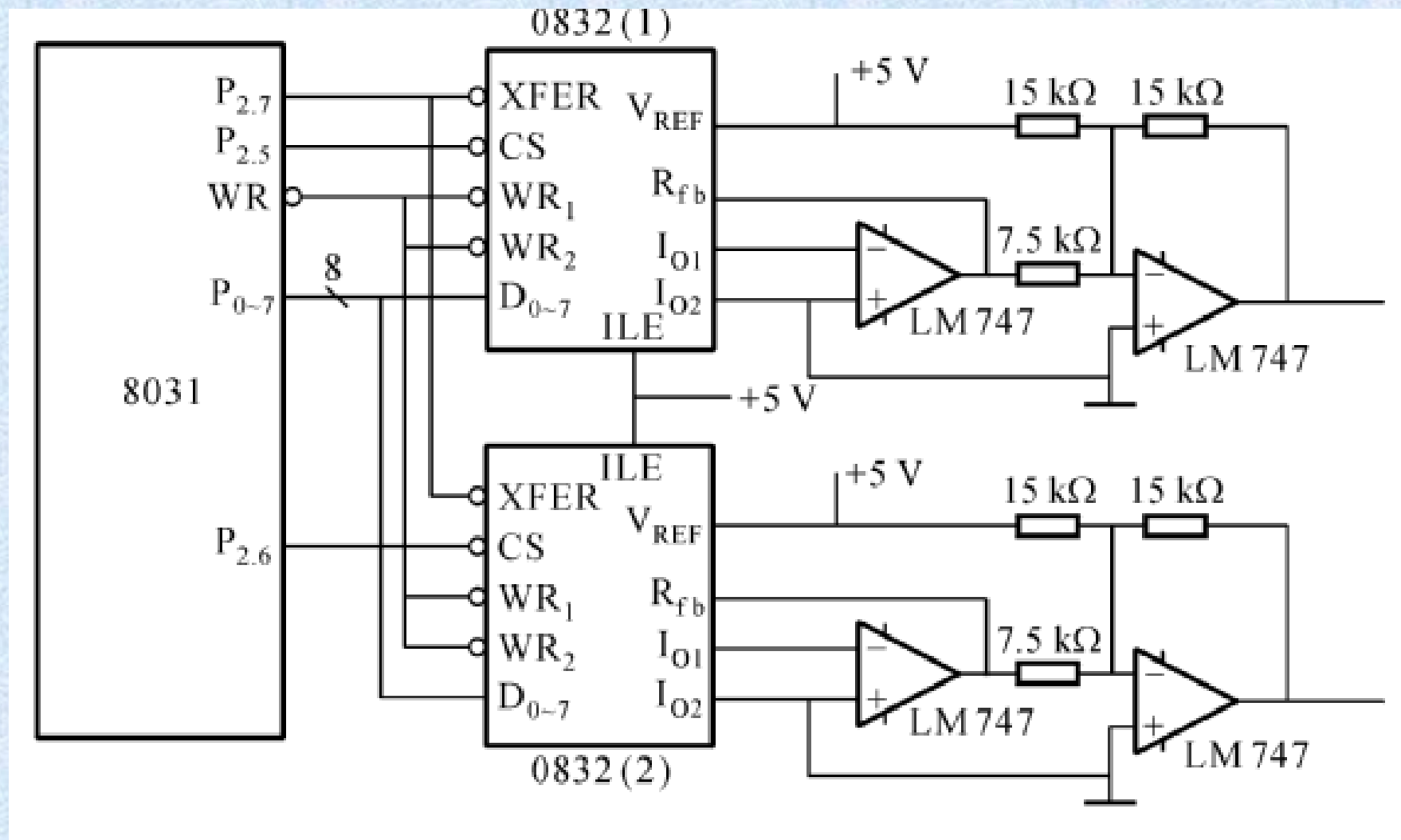
i_{OUT1} 和 i_{OUT2} 是电流输出端，接运算放大器。



NOTE: WHEN $\overline{LE} = '1'$, Q OUTPUTS FOLLOW D INPUTS;
WHEN $\overline{LE} = '0'$, DATA AT D IS LATCHED.



DAC0832与8031单片机连接电路



DAC0832的输入数字量以及转换所需的各控制信号都来自单片机8031。

电路进行两路D/A转换，实现双缓冲器的同步方式连接。其工作原理如下：

CPU的 P_0 口 $P_0 \sim P_7$ 分时向DAC0832 (I) 和DAC0832 (II) 送出要转换的数字量，锁存在各自的输入锁存器中，然后CPU同时向两片DAC0832发出转换控制信号，使两个D/A转换器输入寄存器中的数据打入DAC寄存器，实现同步转换输出模拟量。

由于该DAC是电流型输出，所以，用运放实现I/V转换，输出为模拟电压信号。
电路采用二级运放放大。

如果参考电压 V_{REF} 为正电压时，第一级运放输出 $0 \sim -5V$ 模拟电压，而第二级输出 $-5V \sim +5V$ 的模拟电压。

第6章 信号转换电路

- 6.1 数/模转换电路
- **6.2 模/数转换电路**
- *6.3 电压/频率 (V/F) 转换电路
- *6.4 频率/电压 (F/V) 转换电路

6.2 模/数转换器 (A/D) Analog to Digital Converter

连续变化的模拟量（信号）变换成数字量（数字信号）输出

一、A/D转换的基本原理

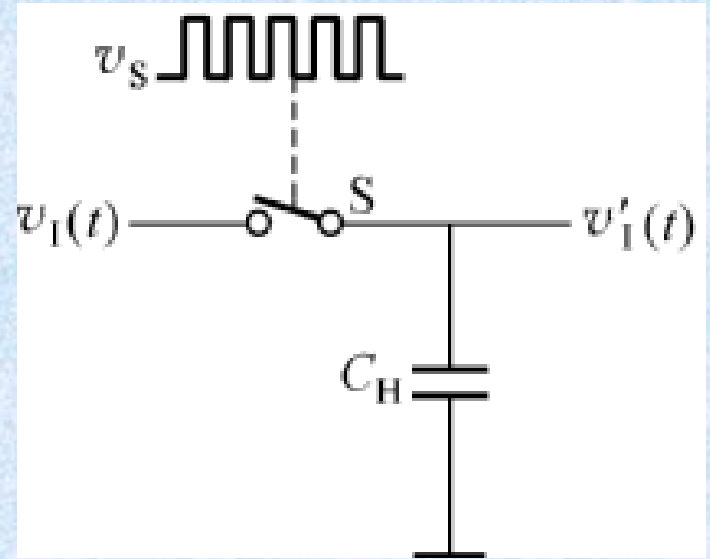
A/D转换的基本思路：

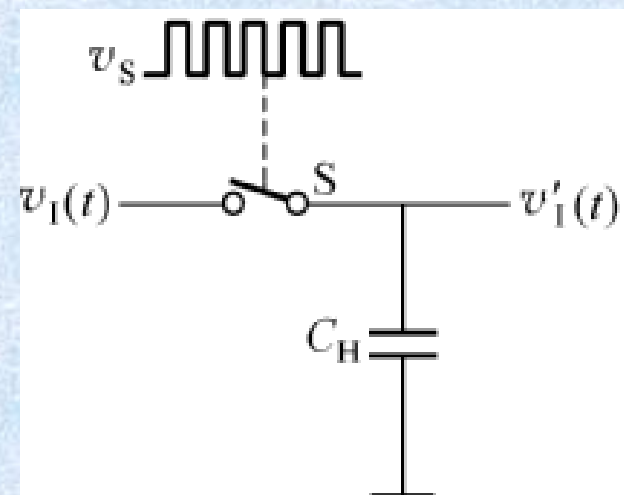
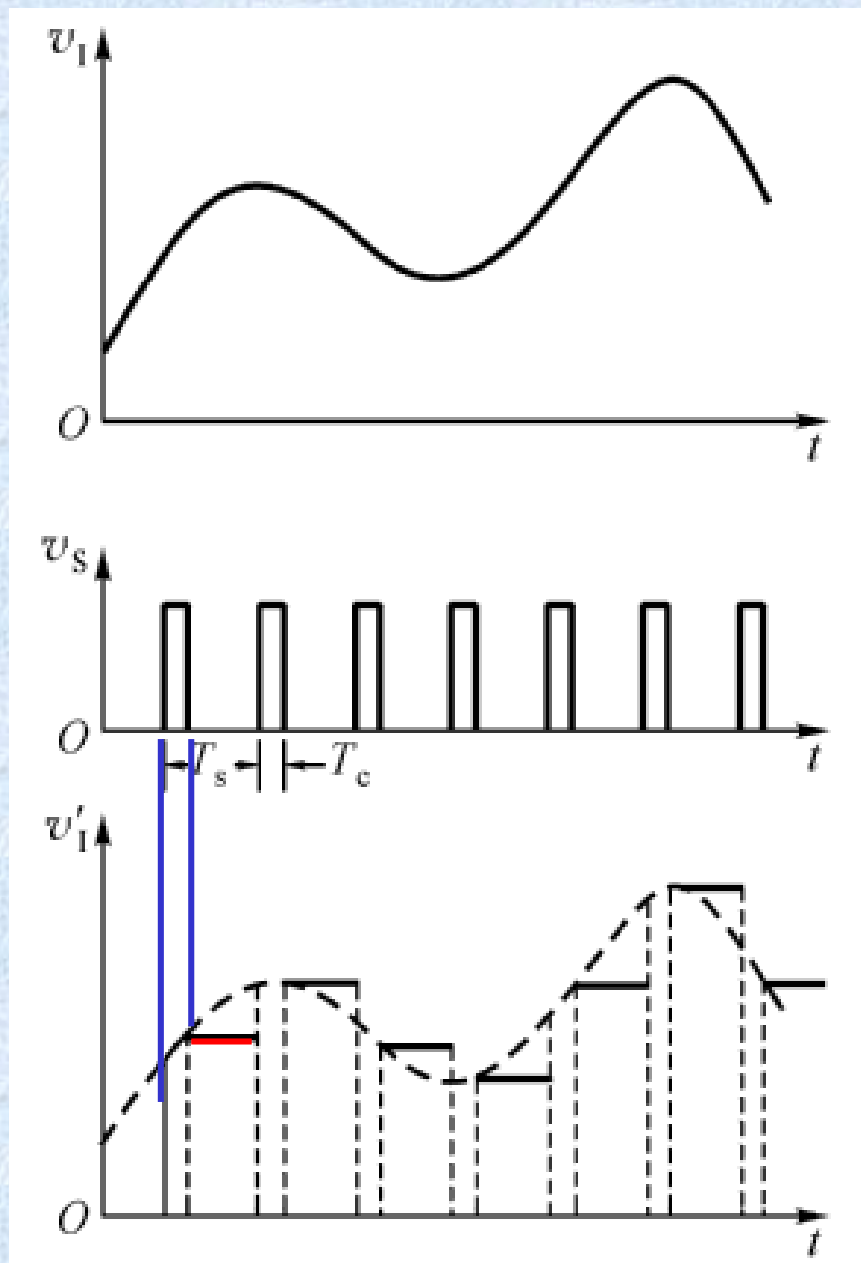
对连续变化的模拟量在一系列取定的时间**瞬间**进行**取样**，然后把该取样值用二进制数表示出来。

由于将采样值再用二进制表示出来需要一定的时间，因此，采样后的模拟量还须要保持、量化和编码等过程。所以，A/D转换过程一般要四步：**采样、保持、量化和编码。**

1. 采样定理和采样—保持电路

右边的电路就是在一系列选定的时间瞬间对输入模拟信号进行采样的电路。





采样—
保持波
形图

主要参数

当开关闭合时，电容 C_H 充电达到输入信号电平；当开关断开后，电容器保持这个电平。

➤ 捕获时间 T_{AC}

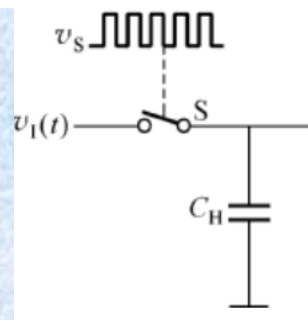
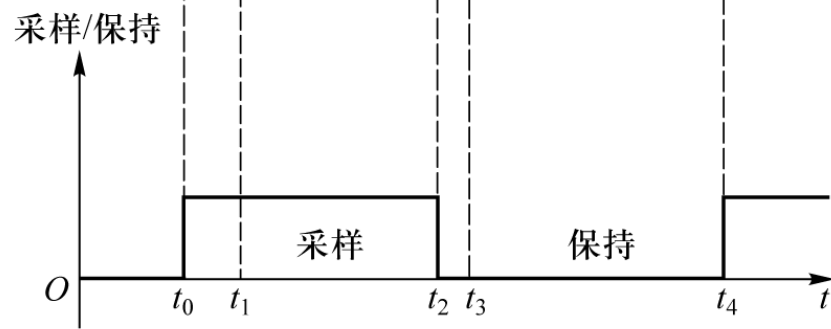
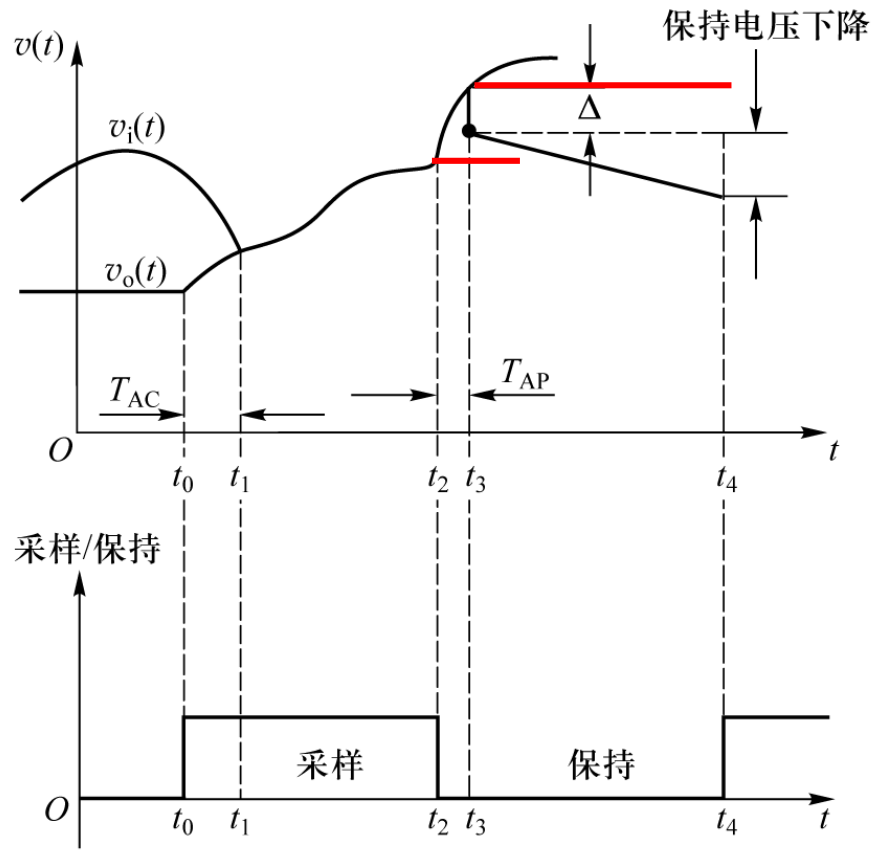
◆ T_{AC} 为接到采样命令（ t_0 ）到 v_o 能在规定的误差范围内跟踪 v_i 的时间（ t_1 ）之间的时间；

◆ 采样脉冲宽度必须大于捕获时间 T_{AC} 。

➤ 孔径时间（ T_{AP} ）

◆ 又称断开延时时间，指发出保持命令（ t_2 ）到开关真正断开（ t_3 ）这一小段延迟时间；

◆ 在孔径时间内，输入模拟信号的任何变化都会引入误差，称作孔径误差。



➤ 保持电压下降

◆ 在保持期间，电容器 C_H 的电荷缓慢泄放，造成输出电压下降。

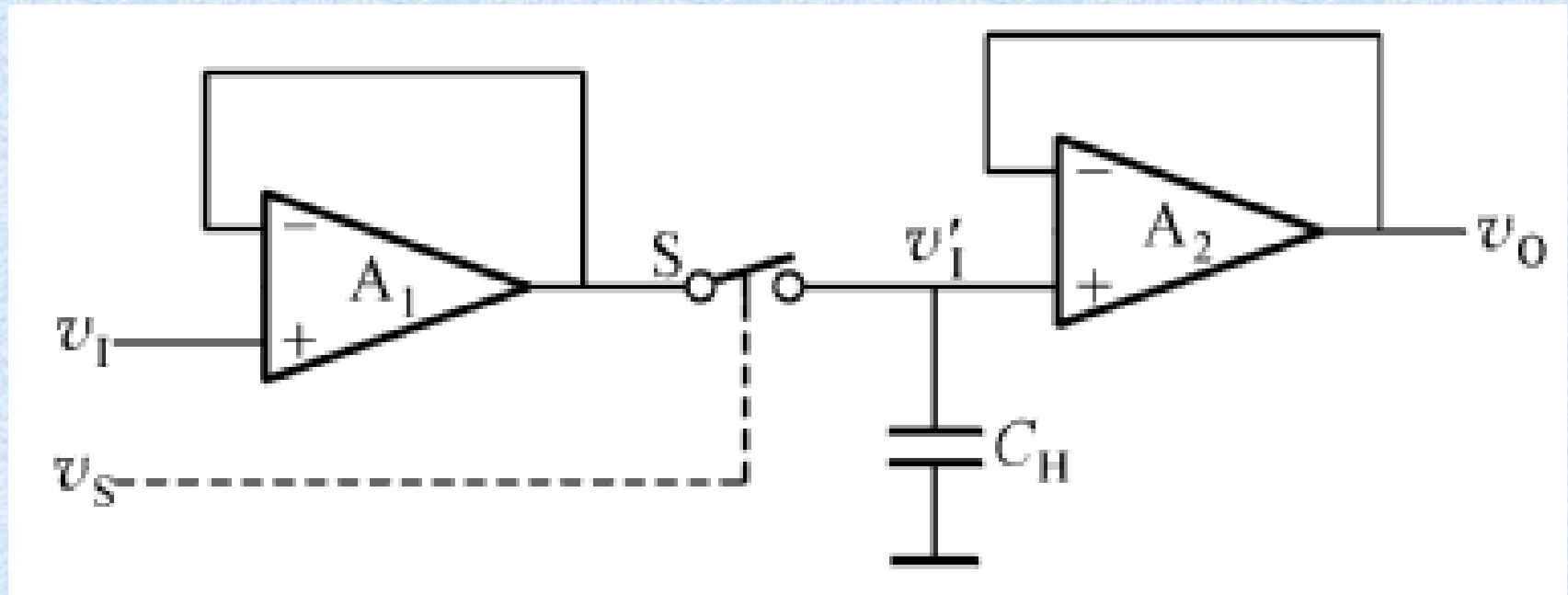
为了能使采样后的信号不失真地再现原采样前的输入信号，由此，对采样的信号频率 f_s 就有一定的要求。由采样定理得：

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

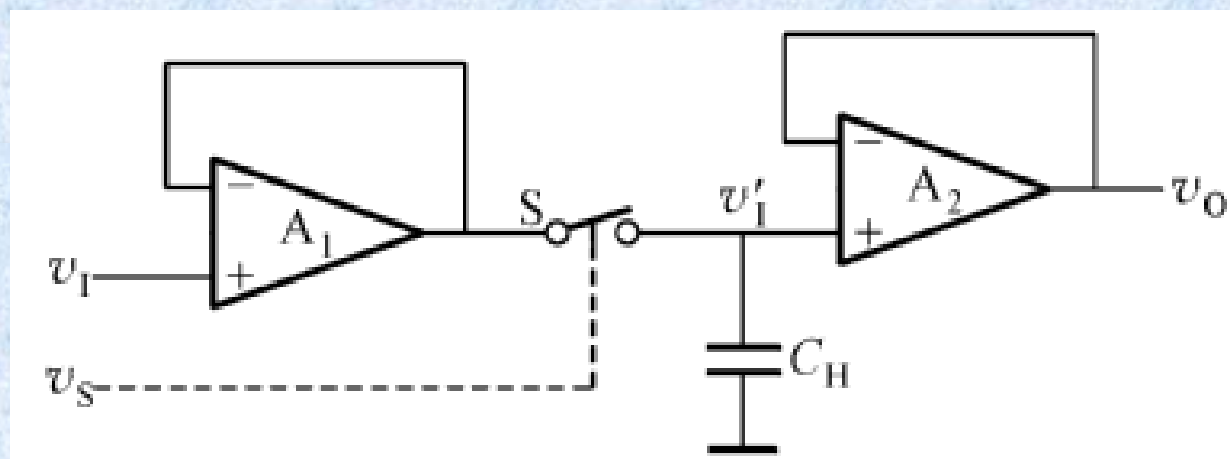
式中 $f_{i\max}$ 为输入模拟信号 $v_I(t)$ 频谱中的最高频率成分。在实际的A/D转换中，允许存在一定的误差下，采样脉冲频率 f_s 常按下式选取：

$$f_s = (2.5 \sim 3)f_{i\max}$$

图示电路是一个具体的采样—保持电路，由两级运算放大器和电子开关组成，两只运放都接成电压跟随器形式。电路可以做到快速取样， A_1 运放输入为高阻，输出为低阻，对输入 $v_I(t)$ 起隔离作用。



对保持电容 C_H 实现快速充电，时间常数远小于 T_C （采样时间）。 A_2 跟随器输入电阻很高，使得当 S 断开后，保持电容 C_H 的保持性能好。



应用中的几点说明:

➤ C_H 品种

- ◆ 外接保持电容 C_H 要选用低泄露电流的高质量的电容器, 如聚苯乙烯电容、聚四氟乙烯电容、云母电容等;

➤ C_H 电容值

- ◆ C_H 电容值要根据输入信号的频率和转换精度要求来选择, C_H 太大有利于保持但不利于跟踪, 太小则有利于跟踪却不利于保持;

例如, 查阅AD582数据手册, 当 $C_H = 100\text{pF}$ 时, 捕获时间 $T_{AC} = 6\mu\text{S}$, $\gamma = \pm 0.1\%$; 当 $C_H = 1000\text{pF}$ 时, 捕获时间 $T_{AC} = 25\mu\text{S}$, $\gamma = \pm 0.01\%$ 。

■ 常用采样/保持器

- 常用采样/保持器芯片有: AD582、AD583、LF198、LF298、LF398等。

2. 量化和编码

将取样后的值用一个最小单位的整数倍来表示，由于一个值不一定正好能分割成**最小单位的整数倍**，因此，必须对取样值进行**取整归并**，这种取整归并的方法和过程称**量化（数值量化或数值分层）**。

取整归并（即量化）的方法有两种

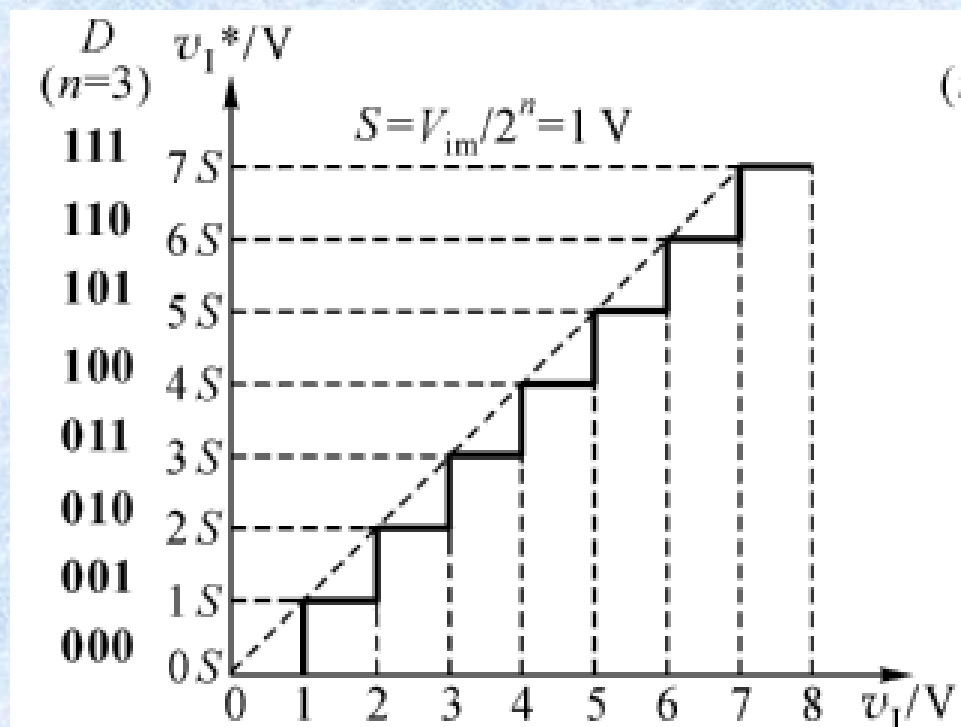
(1) 舍尾取整法:

舍去不足一个量化单位的尾部，取其整数。
当 S 表示为量化单位时，
即有：

$$(K-1)S \leq v_I < KS$$

$$\text{取量化值 } v_I^* = (K-1)S$$

如当 $S=1V$ 时， $v_I=3.8V$ 时，量化值 $v_I^*=3V$ ；
 $v_I=5V$ 时，量化值 $v_I^*=5V$ 。



舍尾取整量化
特性

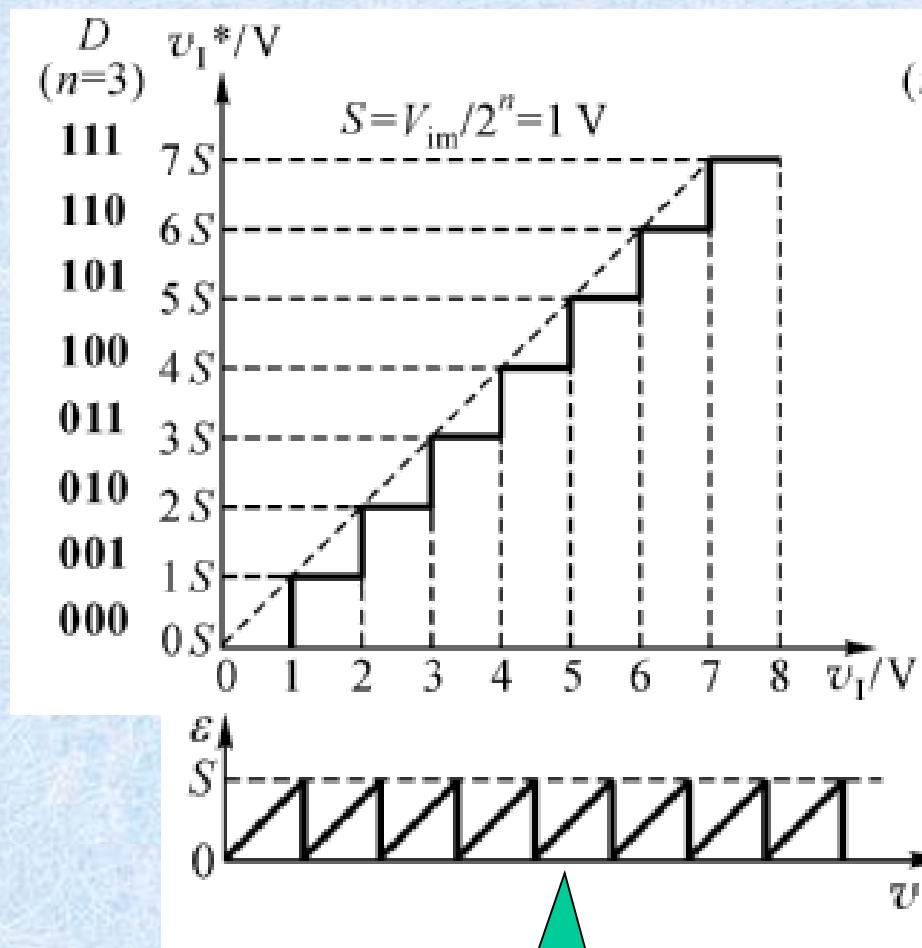
可见，这种量化方法时的最大量化误差为：

$$\varepsilon_{\max} = v_I(t) - v_I^*(t) = \pm 1S$$

量化单位的计算： $S = \frac{V_{im}}{2^n}$

n是ADC的位数

V_{im} 采保后的最大值电压



舍尾取整量化
误差

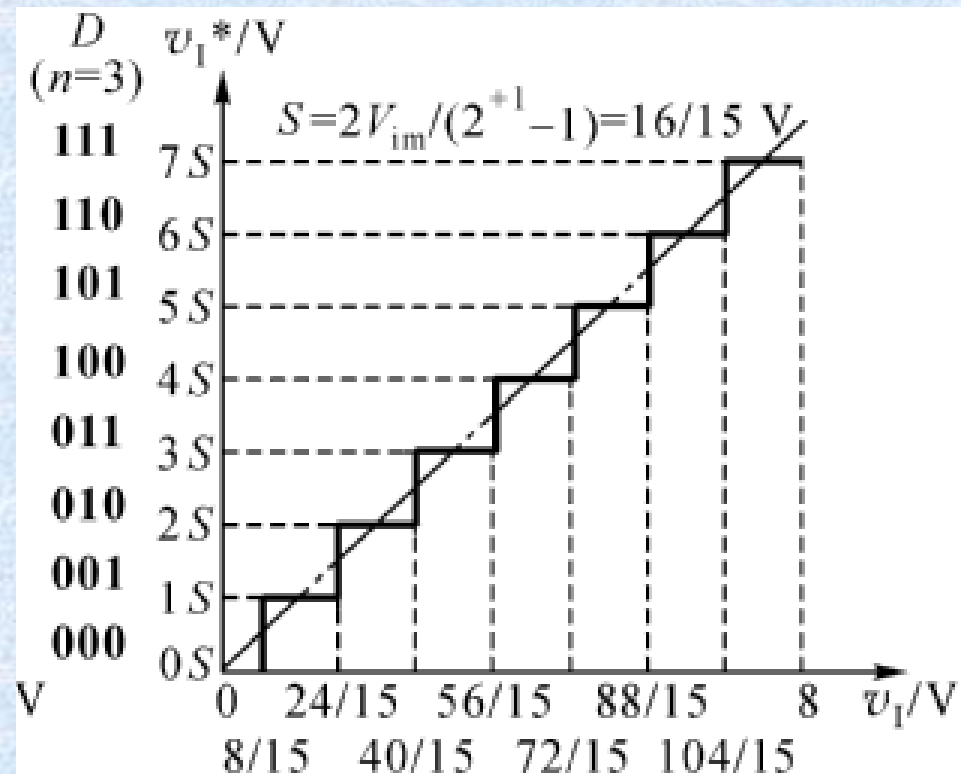
(2) 四舍五入量化法:

大于 $S/2$ 量化单位的尾部归整，舍去小于 $S/2$ 量化单位的尾部。

如当 $S=1V$ 时

$v_I = 3.6V$ 时，量化值 $v_I^* = 4V$;

$v_I = 5.4V$ 时，量化值 $v_I^* = 5V$ 。



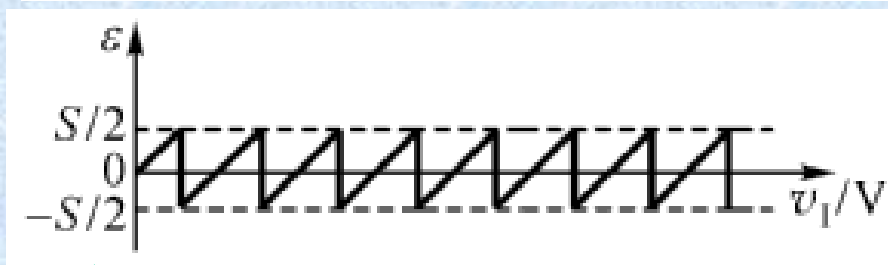
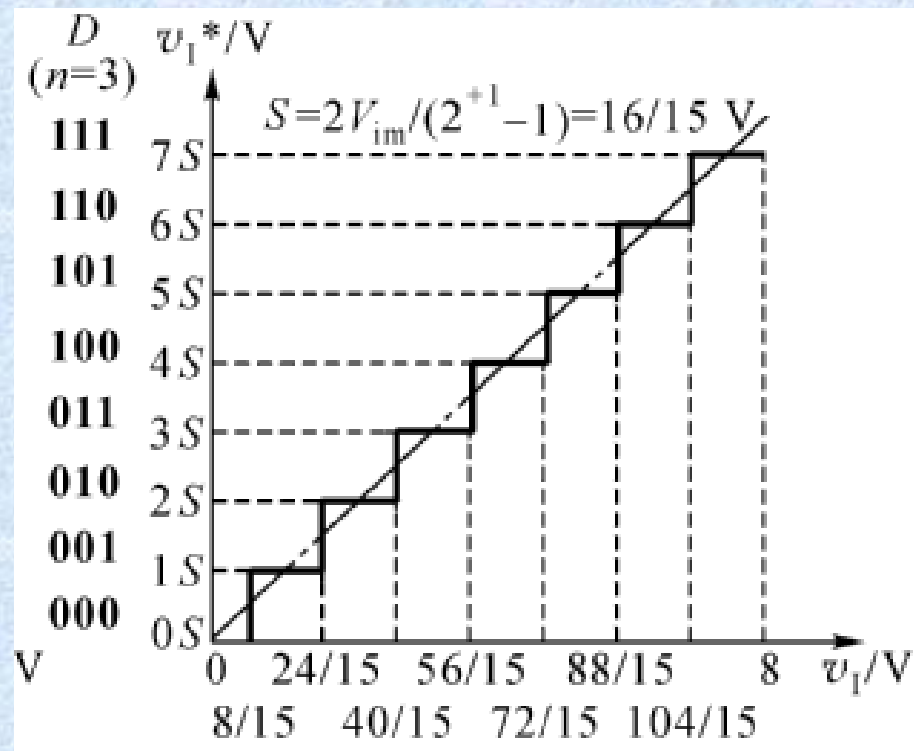
四舍五入量化
转移特性

可见，这种量化方法
时的最大量化误差为：

$$\varepsilon_{\max} = v_I(t) - v_I^*(t) = \pm \frac{1}{2} S$$

量化单位的计算：

$$S = \frac{V_{im}}{2^n - \frac{1}{2}} = \frac{2V_{im}}{2^{n+1} - 1}$$



四舍五入量化误差

A/D
转换
种类

并行比较型ADC—速度最快；

反馈计数式ADC—速度慢；

逐次逼近型ADC—速度快；

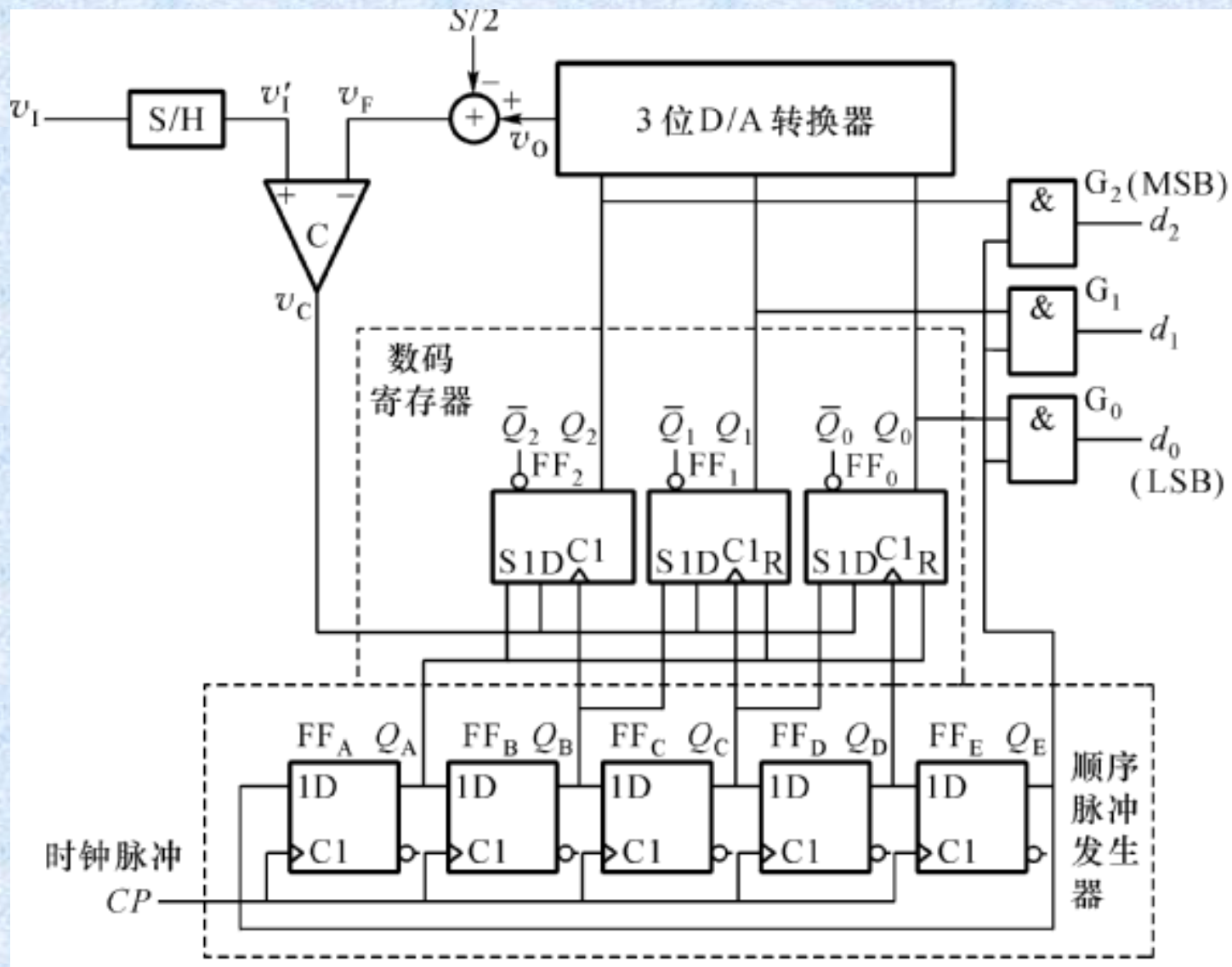
双积分式ADC—速度较慢，精度高，
抗干扰性好；

V/F式ADC—调制式ADC，用在航天；

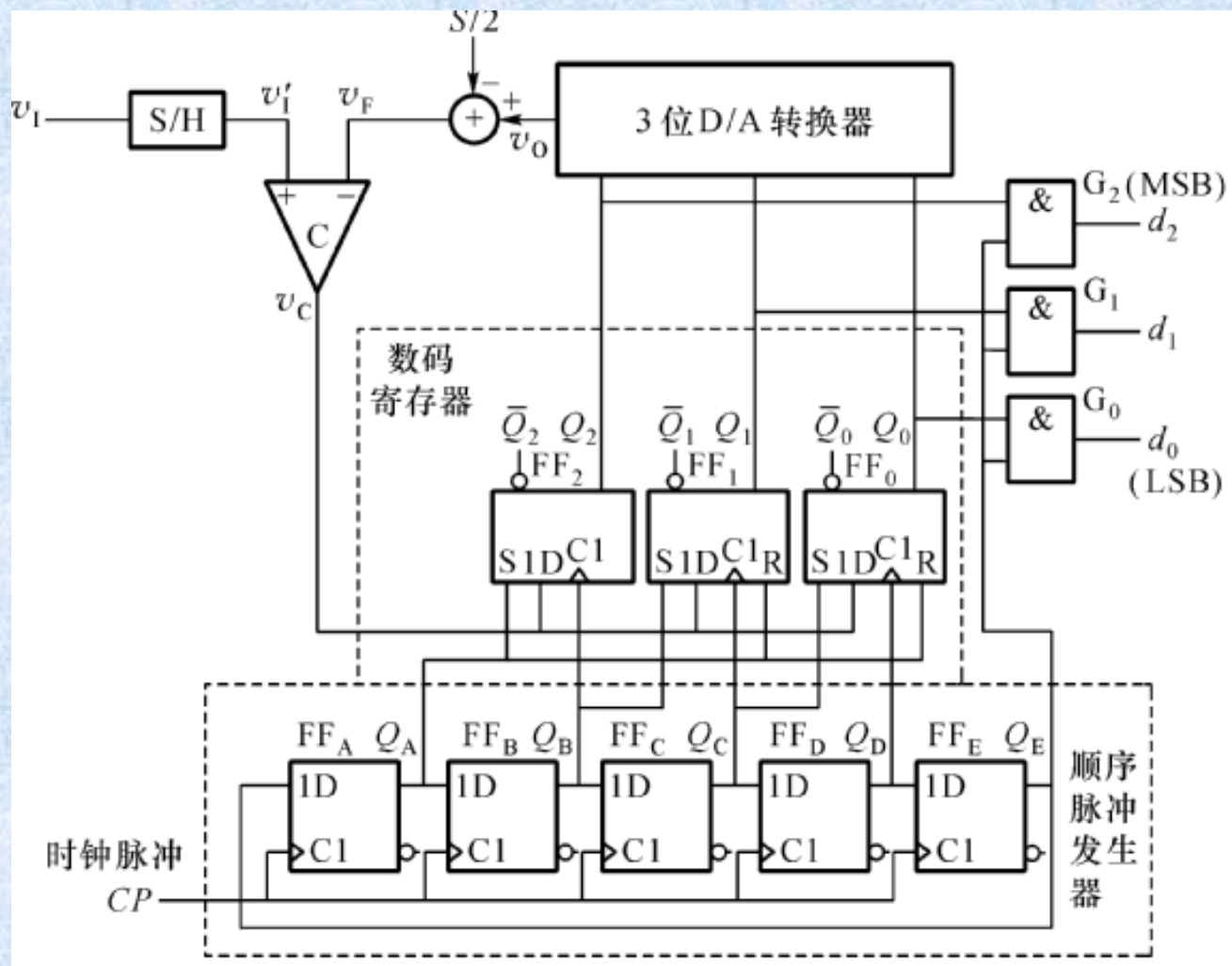
直接
A/D
转换器

二、逐次逼近型A/D转换器

三位的
逐次逼近型
A/D转换器



电路由以下部分组成：
模拟比较器C，
三位D/A转换器，
三位逐次逼近寄存器，
五位节拍脉冲发生器，
输出与门电路等。



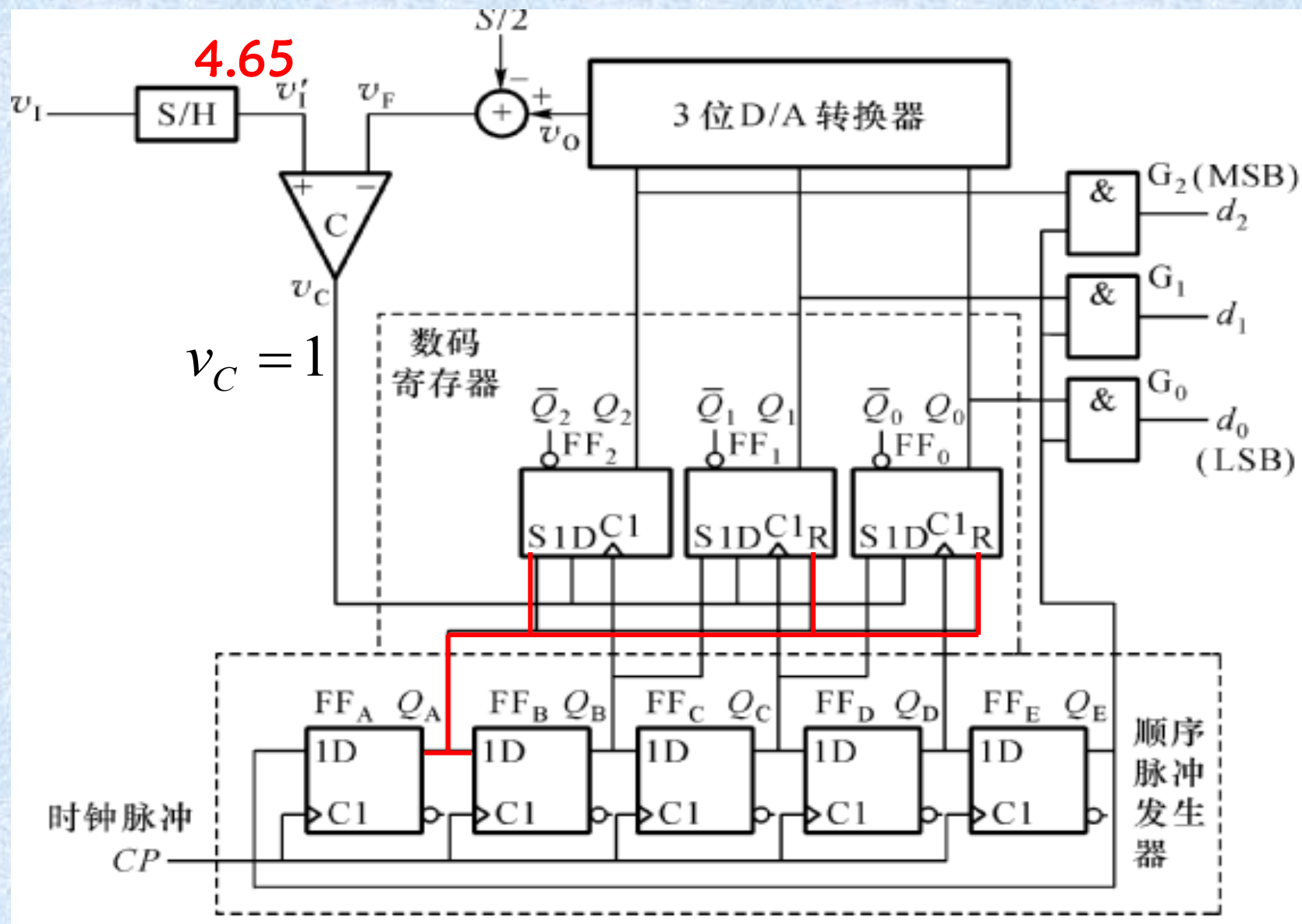
S/H是采样保持器

电路中设置偏移 $S/2$ 量化单位是为减小量化误差之用。

转换原理：

开始转换前， $Q_2Q_1Q_0=000$ （清零）

节拍脉冲发生器置成 $Q_AQ_BQ_CQ_DQ_E=00001$ ，则输出为 $d_2d_1d_0=000$ ，D/A输出为0，加入输入模拟电压**4.65V**后，因为 $v_I' > v_F$ 所以， $v_C=1$ （高电平）



$$Q_A Q_B Q_C Q_D Q_E = 00001$$

第一个CP

$$Q_A Q_B Q_C Q_D Q_E = 10000 \quad Q_2 Q_1 Q_0 = 100 \quad d_2 d_1 d_0 = 000$$

$Q_2 Q_1 Q_0 = 100$ 经D/A后，得：

$$\text{设 } S = 1V$$

$$v_F = 4S - \frac{1}{2}S = 3.5V$$

所以， $v_C = 1$

$Q_2 Q_1 Q_0 = 100$ 不够大，高位 $Q_2 = 1$ 保留；

第二个CP

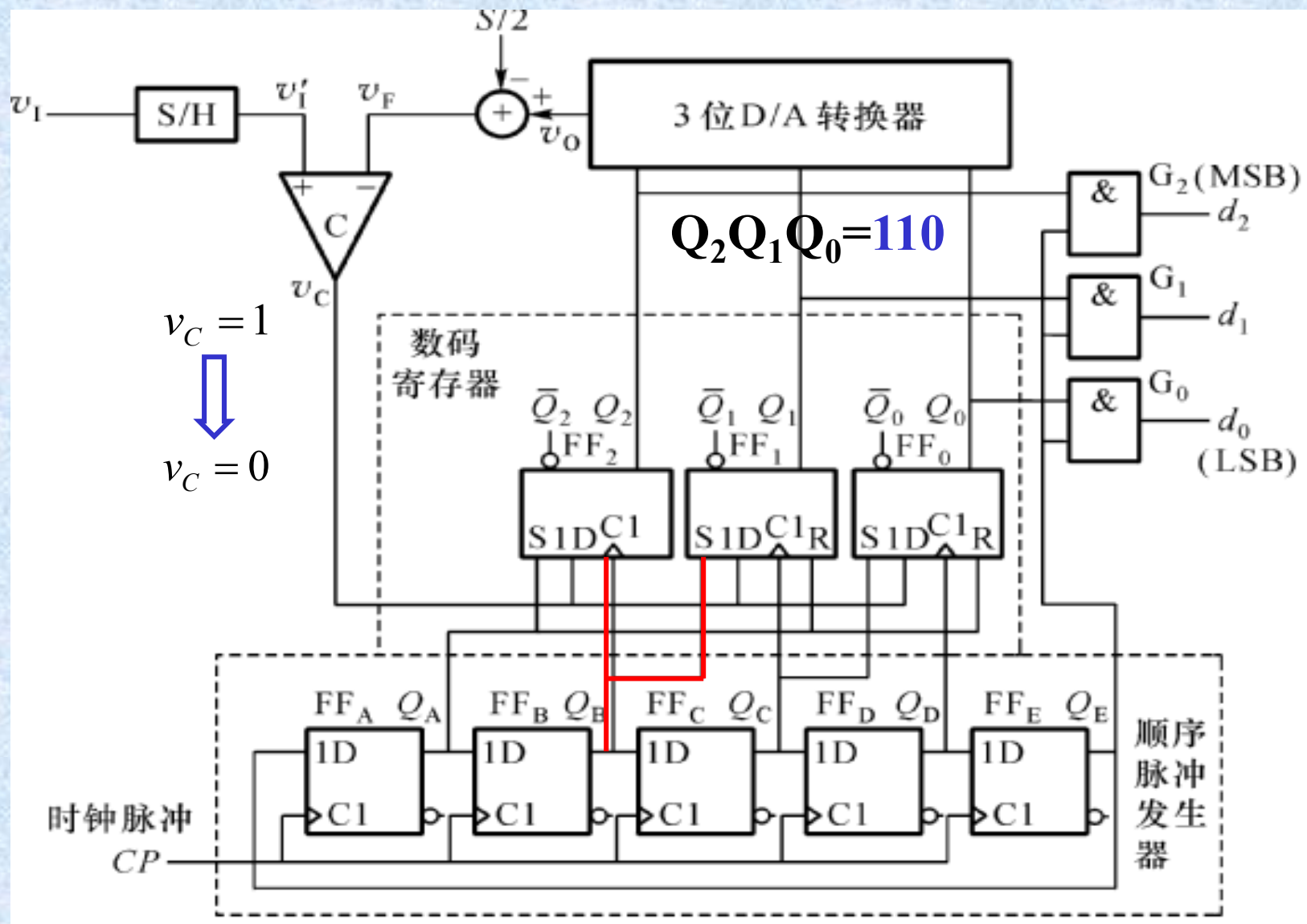
$$Q_A Q_B Q_C Q_D Q_E = 01000 \quad Q_2 Q_1 Q_0 = 110 \quad d_2 d_1 d_0 = 000$$

$Q_2 Q_1 Q_0 = 110$ 经D/A后，得：

$$v_F = 4S + 2S - \frac{1}{2}S = 5.5V$$

所以， $v_C = 0$

说明数据110太大， $Q_1=1$ 应舍去；

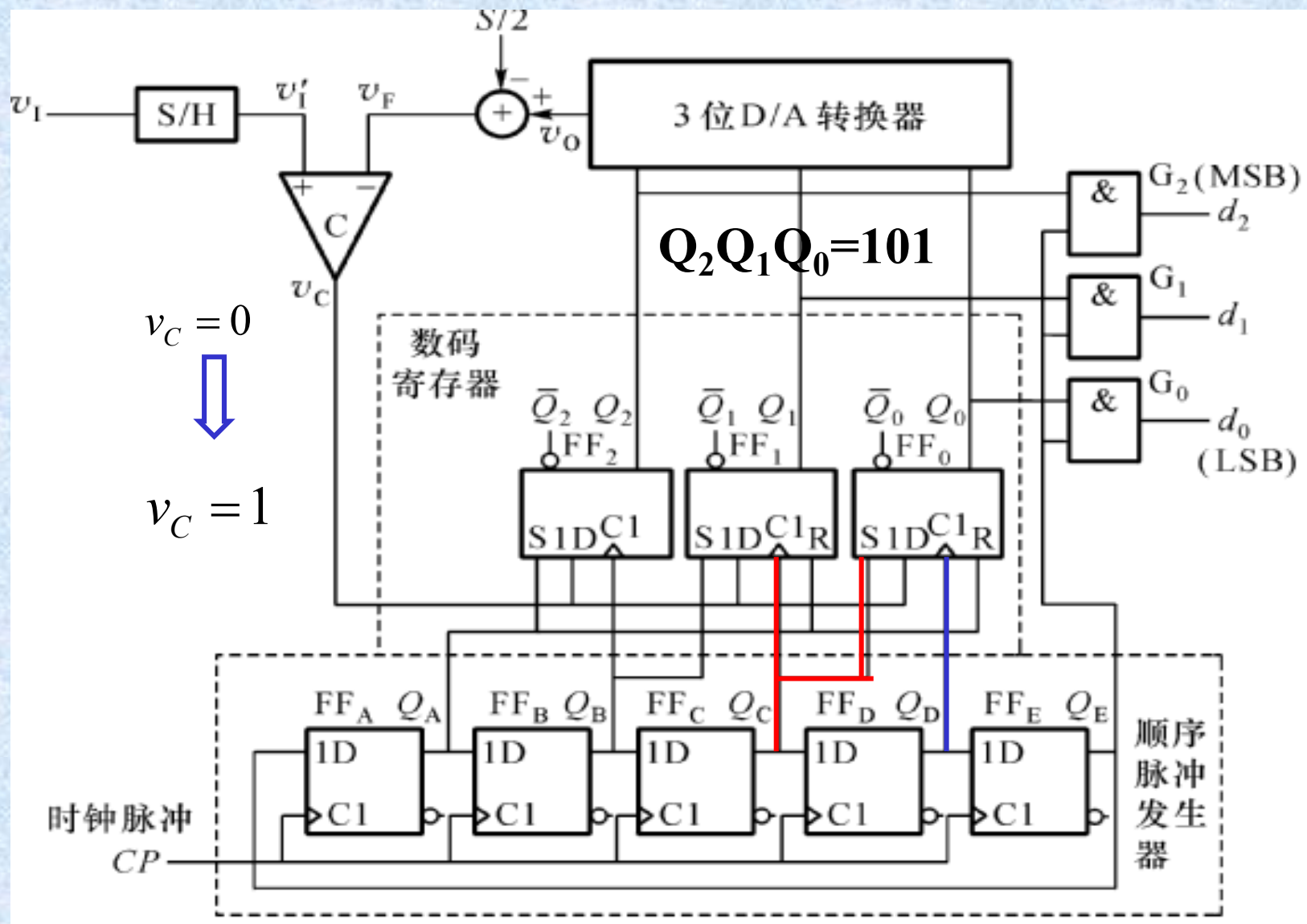


第三个CP

$$Q_A Q_B Q_C Q_D Q_E = 00100 \quad Q_2 Q_1 Q_0 = 101 \quad d_2 d_1 d_0 = 000$$

$$Q_2 Q_1 Q_0 = 101 \text{ 经 D/A 后, 得: } v_F = 5S - \frac{1}{2}S = 4.5V$$

$$\text{所以, } v_C = 1$$



第四个CP

$$Q_A Q_B Q_C Q_D Q_E = 00010 \quad Q_2 Q_1 Q_0 = 101 \quad d_2 d_1 d_0 = 000$$

$Q_2 Q_1 Q_0 = 101$ ，即 $Q_0 = 1$ 仍保留。

第五个CP

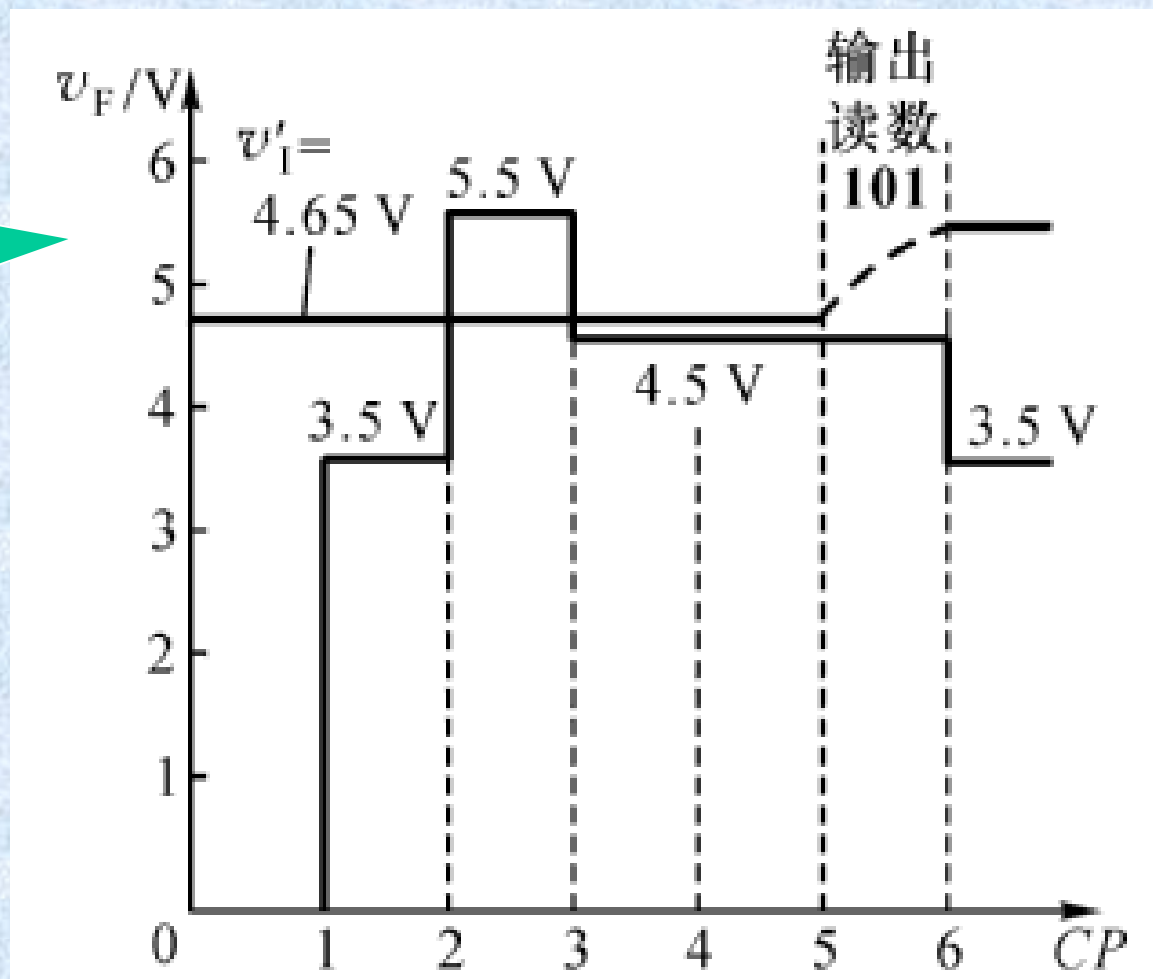
$$Q_A Q_B Q_C Q_D Q_E = 00001 \quad Q_2 Q_1 Q_0 = 101 \text{ 状态保持不变,}$$

由于 $Q_E = 1$ ，输出与门被选通，所以输出数字量为：
 $d_2 d_1 d_0 = 101$

用表说明的整个工作过程

CP脉冲 顺序	寄存器状态 $Q_2Q_1Q_0$	$v_F = v_o - S/2$ $S=1V$	v_I' 与 v_F 关系	v_C	Q端状态留 舍
1	100	$4S - S/2 = 3.5S$	$v_I' > v_F$	1	$Q_2=1$ 留
2	110	$6S - S/2 = 5.5S$	$v_I' < v_F$	0	$Q_1=1$ 舍
3	101	$5S - S/2 = 4.5S$	$v_I' > v_F$	1	$Q_0=1$ 留
4	101	$4.5S$	$v_I' > v_F$	1	$Q_2Q_1Q_0=101$
5	101	$4.5S$	$v_I' > v_F$	1	读出 $d_2d_1d_0=101$

三位逐次逼近型A/D转换器的电压逼近波形图



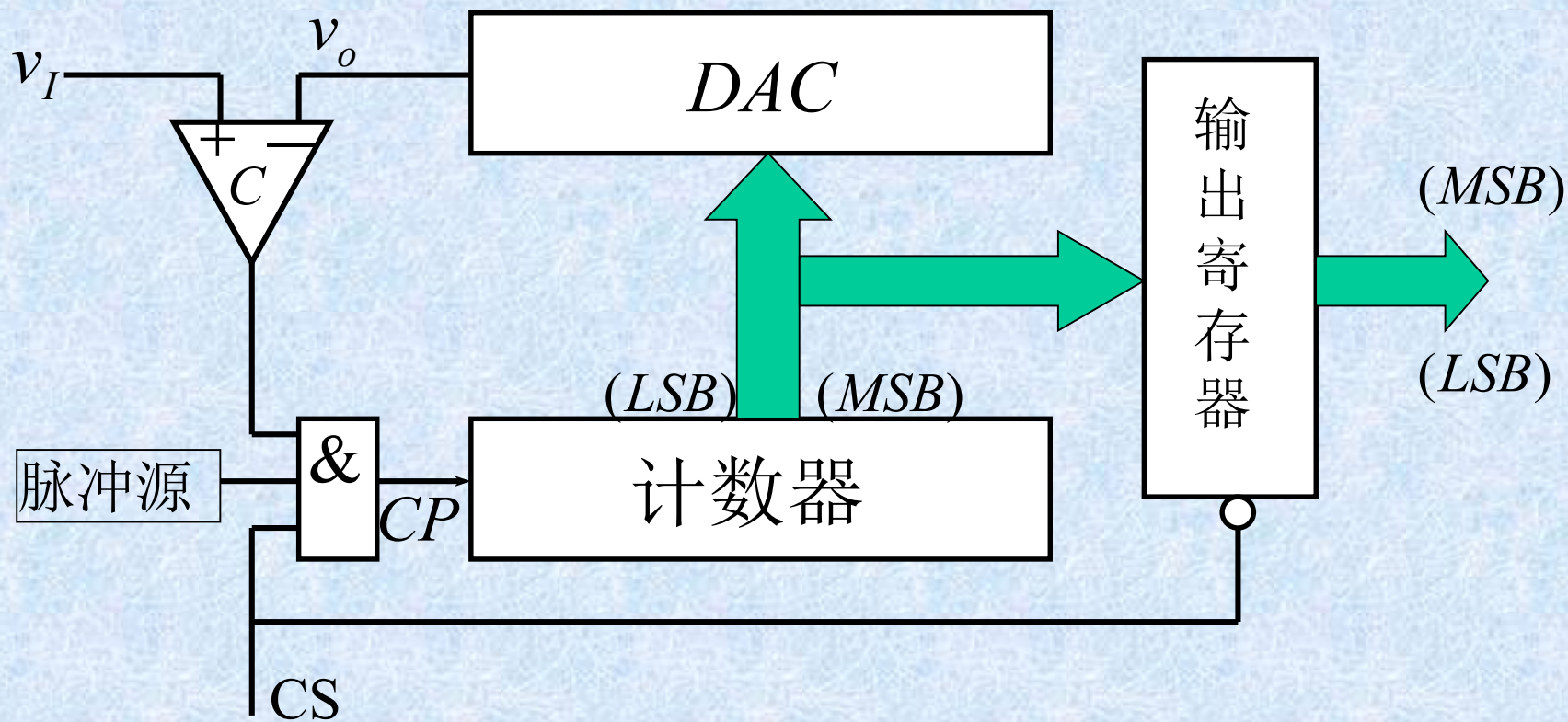
逐次逼近型A/D转换器的特点：

转换速度较快，对n位A/D转换器，转换一次的时间为： $T = (n+2) T_{CP}$ ；

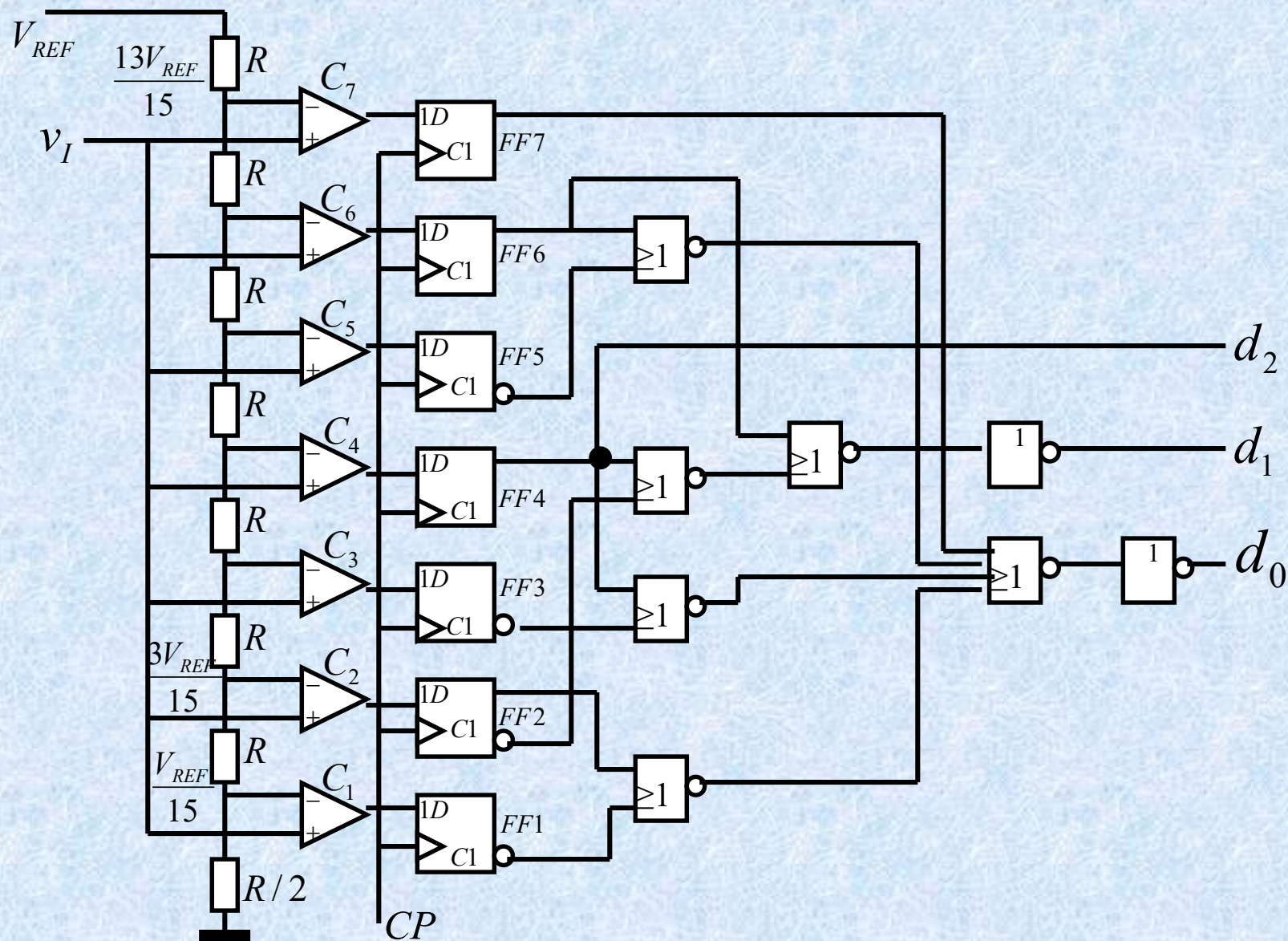
容易与8位微机连接；

转换精度，主要决定于其中的D/A转换器的位数、线性度、电子开关压降、参考电压稳定度，以及模拟电压比较器的灵敏度等。由于集成电路制造工艺的完善，A/D转换器的精度已可达 $\pm 0.005\%$ 。

三、计数式A/D转换器



四、三位并行比较型A/D转换器



转换原理可用表说明

输入模拟电压 V_I	寄存器状态 $Q_7Q_6Q_5Q_4Q_3Q_2Q_1$	输出数字量 $d_2 d_1 d_0$
$(0 \sim \frac{1}{15})V_{REF}$	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0
$(\frac{1}{15} \sim \frac{3}{15})V_{REF}$	0 0 0 0 0 0 1	0 0 1
$(\frac{3}{15} \sim \frac{5}{15})V_{REF}$	0 0 0 0 0 1 1	0 1 0
$(\frac{5}{15} \sim \frac{7}{15})V_{REF}$	0 0 0 0 1 1 1	0 1 1
$(\frac{7}{15} \sim \frac{9}{15})V_{REF}$	0 0 0 1 1 1 1	1 0 0
$(\frac{9}{15} \sim \frac{11}{15})V_{REF}$	0 0 1 1 1 1 1	1 0 1
$(\frac{11}{15} \sim \frac{13}{15})V_{REF}$	0 1 1 1 1 1 1	1 1 0
$(\frac{13}{15} \sim \frac{15}{15})V_{REF}$	1 1 1 1 1 1 1	1 1 1

三位输出函数式

$$d_2 = Q_4$$

$$d_1 = Q_6 + \overline{Q_4}Q_2$$

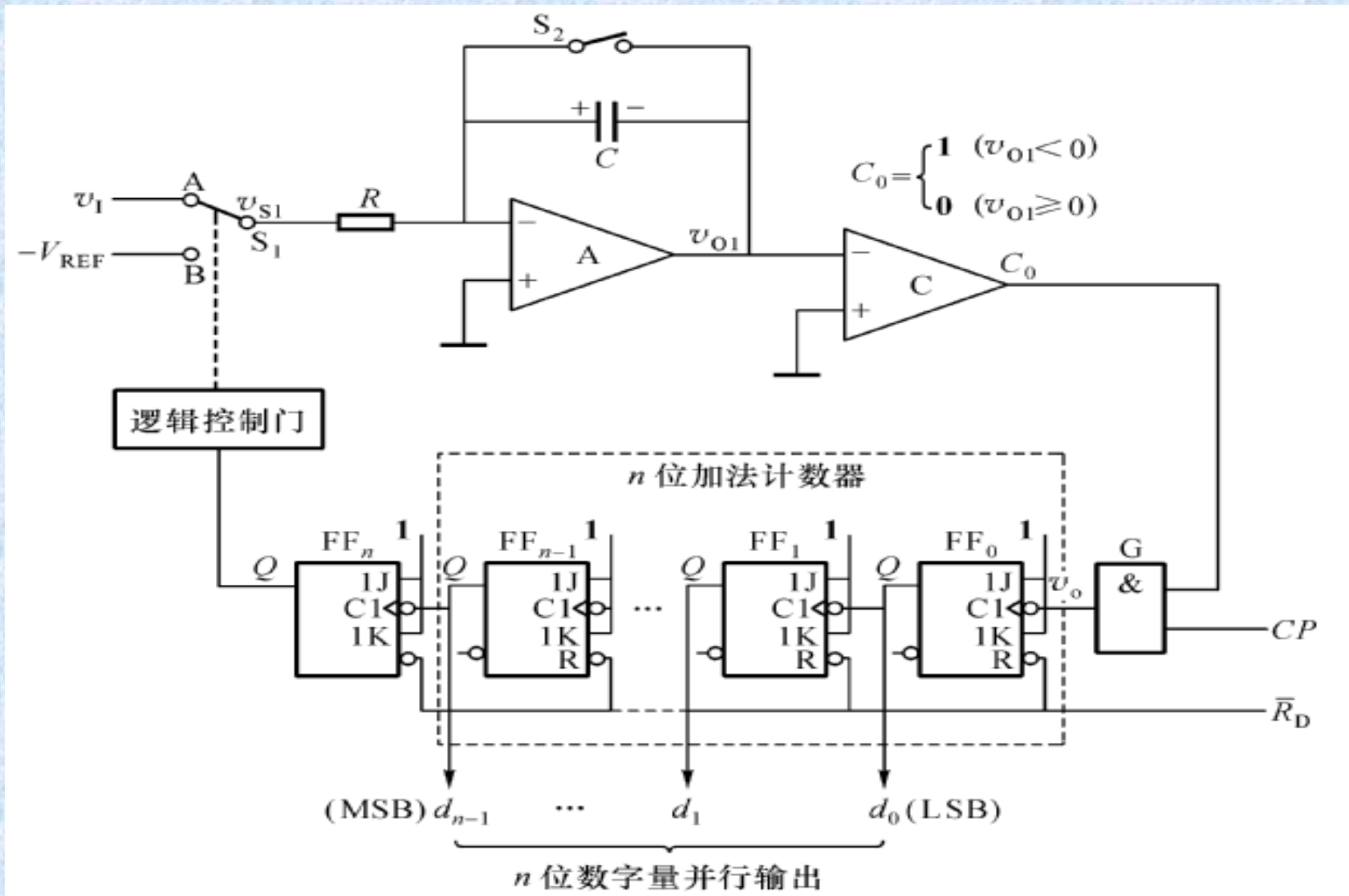
$$d_0 = Q_7 + \overline{Q_6}Q_5 + \overline{Q_4}Q_3 + \overline{Q_2}Q_1$$

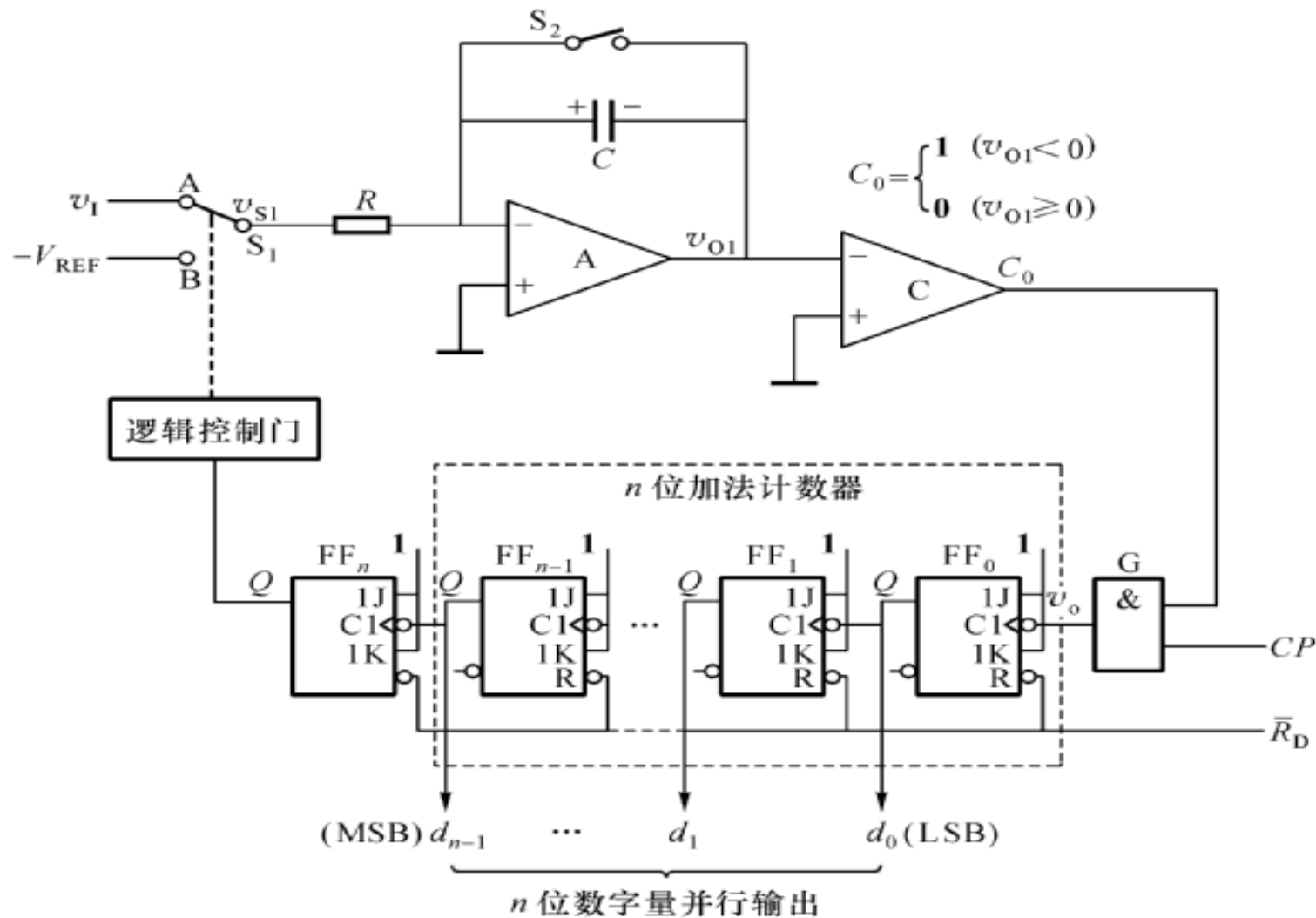
五、双积分式A/D转换器

这是一种间接A/D转换器。它首先把输入的模拟信号转换成中间变量——时间 T ，然后再将时间 T 转换成数字量输出。

由于双积分分两次积分，产生两条积分斜率，所以，也有叫双斜率A/D转换器。

双积分式A/D转换器原理框图如图所示





电路由积分器A、过零比较器C和 n 位二进制加法计数器等电路组成。

转换原理如下：

转换开始前，进行初始化处理：计数器和触发器清零， S_1 接通A， S_2 闭合，积分电容C充分放电， $v_{01}=0$ ， C_0 为0，与门G封锁。

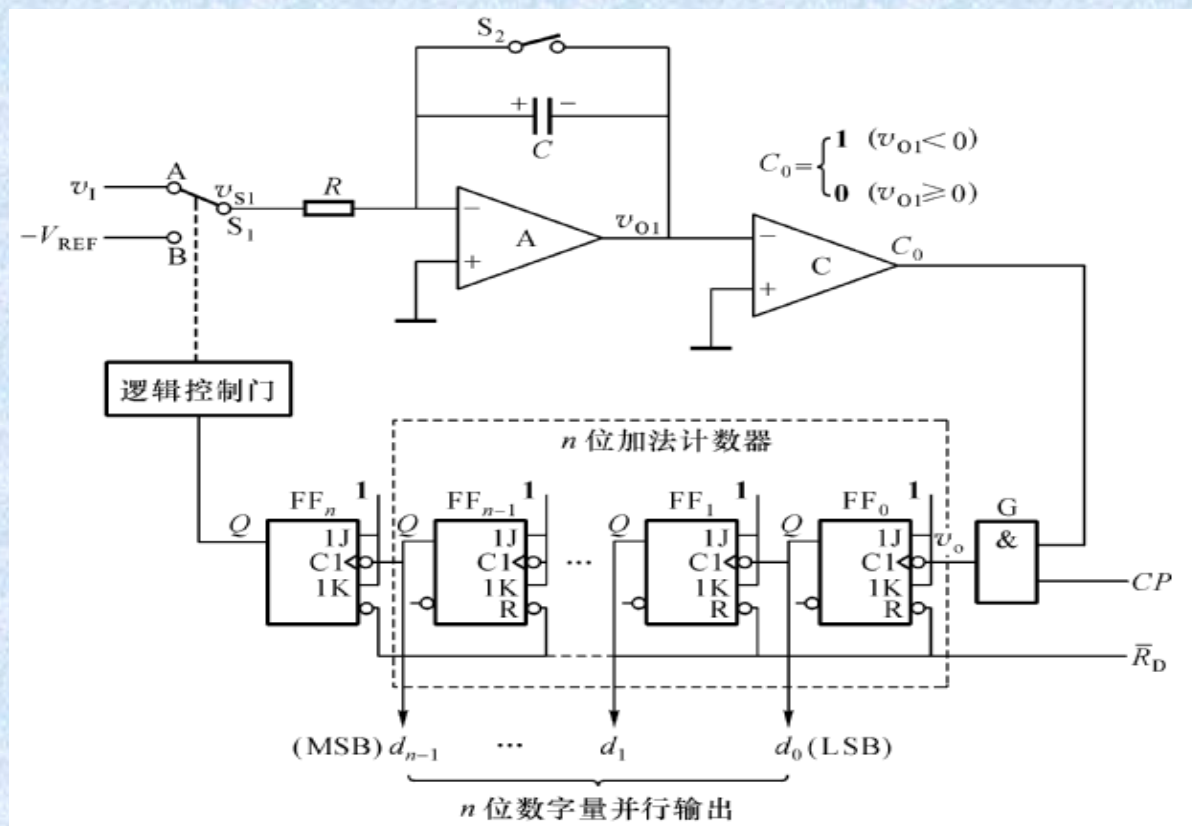
S_2 打开：

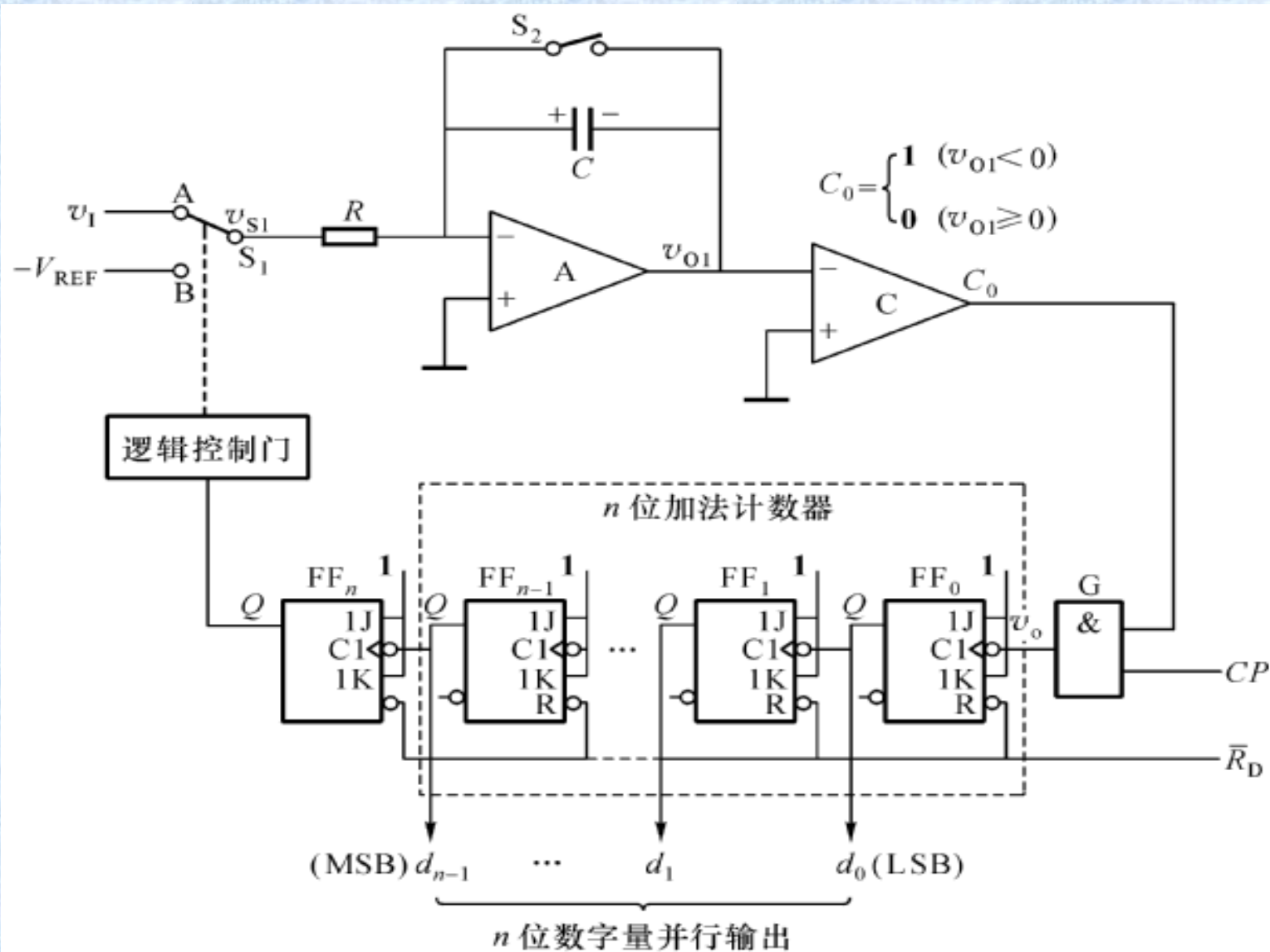
V_{01} 的积分电压为：
$$v_{01}(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_I dt = -\frac{v_I}{RC} t$$

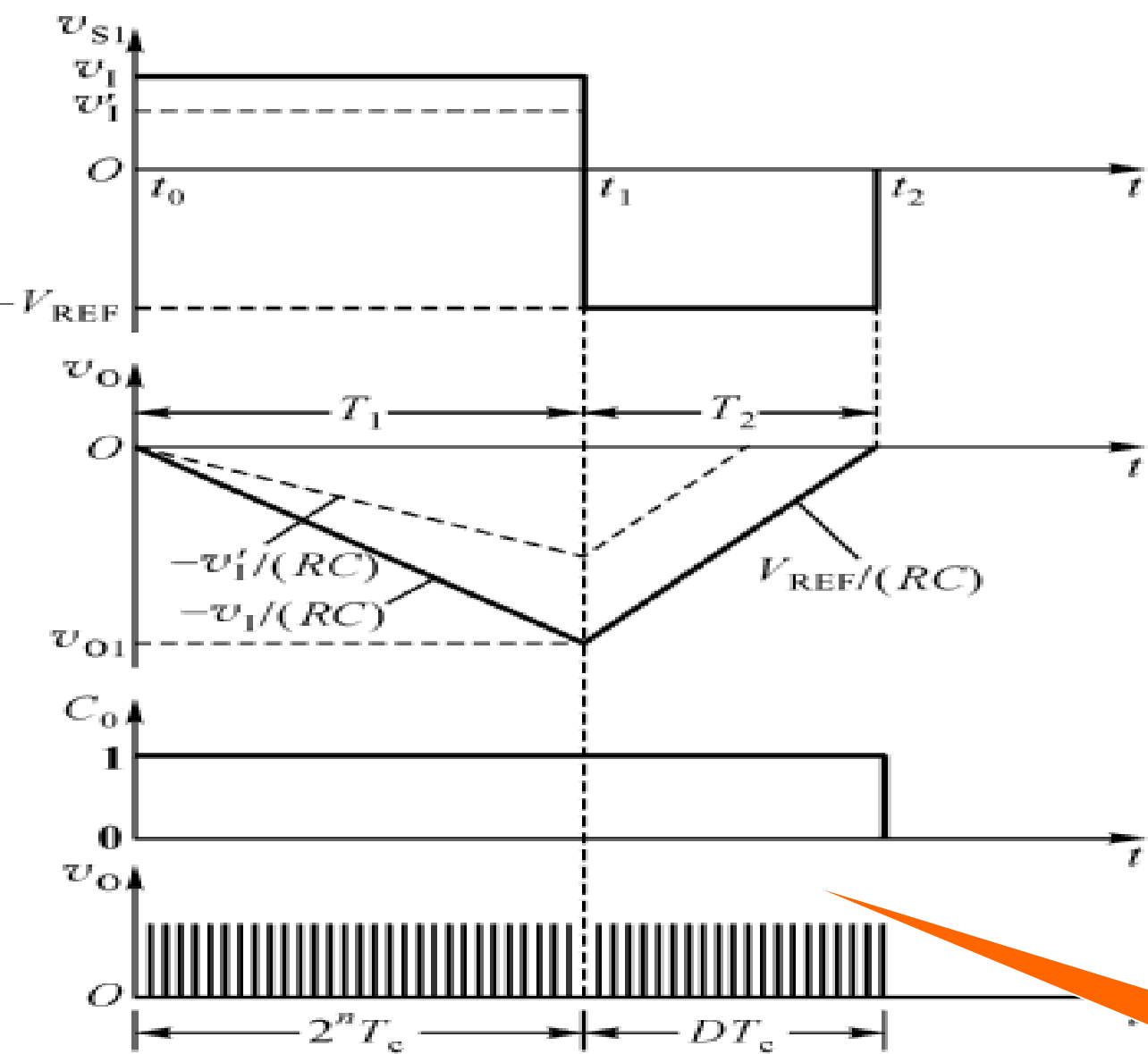
在计数器尚未计满 $d_{n-1}d_{n-2}\dots d_1d_0=11\dots 11$

之前，过程继续。当计满11...11并返回000...0后，附加触发器由0变1， S_1 开关接通负参考电压 $-V_{REF}$ 。积分器向正方向进行第二次积分，

V_{01} 电压向正方向上升。只要 V_{01} 电压尚未达到0V, $C_0=1$, 则计数器就进行第二次加法计数, **当积分器正方向积分至0V时**, $C_0=0$, CP脉冲被封锁, 计数器停止计数, 则此时计数器所累计的数据就为输入模拟量所对应的数字量了。







积分器二次积分的
波形图。

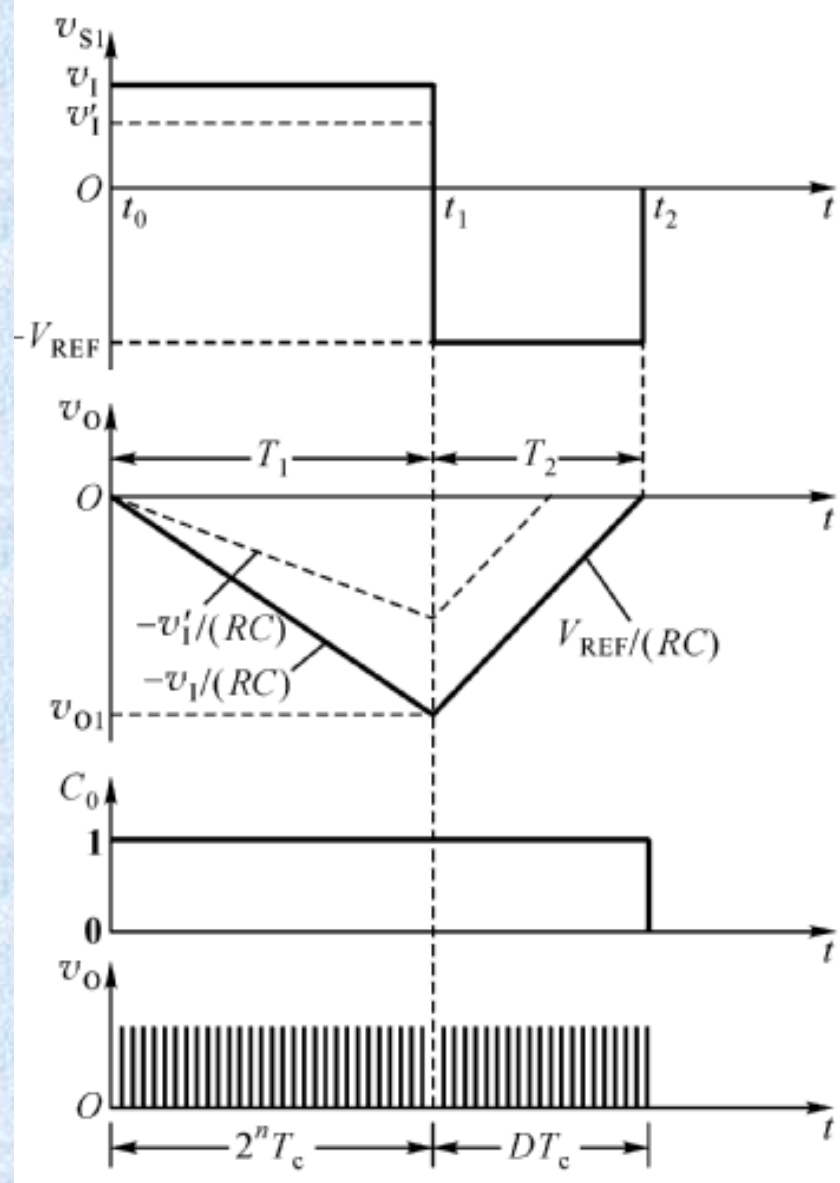
定量分析:

第一次积分 ($t_0 \sim t_1$)

$$\begin{aligned} v_{01}(t_1) &= -\frac{1}{RC} \int_0^{t_1} v_I dt = -\frac{v_I}{RC} T_1 \\ &= -\frac{v_I}{RC} T_{CP} 2^n \end{aligned}$$

第二次积分 ($t_1 \sim t_2$)

$$v_{01}(t_2) = v_{01}(t_1) - \frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} (-V_{REF}) dt$$



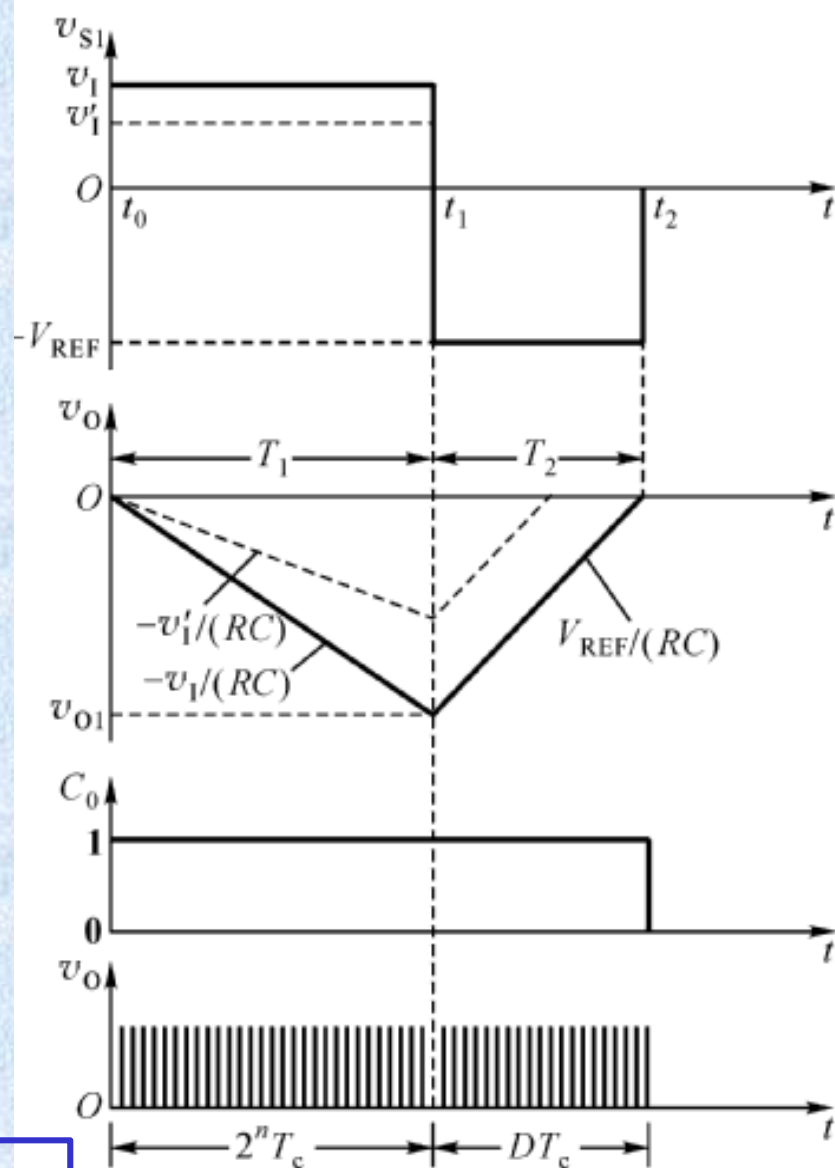
当 $t=t_2$ 时，积分器输出电压为0，则：

$$\begin{aligned} v_{01}(t_2) &= v_{01}(t_1) - \frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} (-V_{REF}) dt \\ &= -\frac{v_I}{RC} T_1 + \frac{V_{REF}}{RC} T_2 = 0 \end{aligned}$$

因此有： $\frac{v_I}{RC} T_1 = \frac{V_{REF}}{RC} T_2$

$$T_2 = \frac{v_I}{V_{REF}} \cdot T_1 = \frac{v_I}{V_{REF}} \cdot 2^n \cdot T_{CP}$$

输出数字量： $D = \frac{T_2}{T_{CP}} = \frac{v_I}{V_{REF}} \cdot 2^n$



双积分式A/D转换器的特点：

由于采用了积分器，抗干扰能力强；

两次积分用同一个积分器，使输出结果与积分参数无关（见表达式），精度高；

当选取积分时间为工频周期的整数倍时，理论上可完全消除工频干扰，因为这时对工频干扰的平均积分为0；

主要应用在精度高，而速度相对慢的数字测试设备和仪表中

六、A/D转换器的主要技术指标与应用要点

1. A/D转换器的主要技术指标

(1) 分辨率

能区分相邻两个数字量的最小输入模拟电压增量，所以，对于一个n位的A/D转换器，其分辨率为输入满度电压与 2^n-1 的比值。

如一个12位的满刻度输入10V的A/D转换器，其分辨率 $=10/2^{12}-1 \approx 2.44\text{mV}$ 。

(2) 精度误差

输出数字量对应的实际模拟电压与理想电压值之差，其最大值定义为精度误差。可见，精度误差越小，A/D转换的精度越高。有时，也有把精度误差当作精度的。

精度误差包括：① 量化误差 ② 偏移误差
③ 增益误差 ④ 非线性误差

(3) 转换时间

完成一次A/D转换所需的时间

2. A/D转换器应用要点

(1) A/D转换器的位数选择

A/D转换器的位数与设计系统的测控范围以及精度要求有关。

它涉及传感器精度，放大器精度，A/D本身精度，输出电路和伺服机构的精度，软件算法的精度等，应根据综合精度在各个环节上进行分配。

(2) A/D转换器的转换速度选择 (转换时间)

根据采集对象的变化率及转换精度要求, 确定A/D转换速度, 以保证对系统的实时性要求。

并行比较型ADC—转换时间仅为 $20\sim 100\text{nS}$, 用于数字通讯、实时光谱分析、实时瞬态记录、视频数字转换系统等。

逐次逼近型ADC—转换时间在 $1\mu\text{S}\sim 100\mu\text{S}$, 用于工业上的多通道测控系统和声频数字转换系统、实时光谱分析、实时瞬态记录、视频数字转换系统等。

双积分式A/D转换器——转换时间在1mS~100mS，用于温度、压力、流量等慢变化的检测和控制系統，一般的儀器和儀表中。

(3) 工作电压和参考电压选择

工作电压有 $\pm 15\text{V}$ 、 $+12\sim+15\text{V}$ 、 $+5\text{V}$ 等，最好选择能与数字系統共用的一个电源较方便。

参考电压（基准电压） V_{REF} 的稳定性对A/D的转换精度关系大，应选用高精度、高稳定性的基准电压。

(4) A/D转换器量程选择

常见A/D转换器的量程有：

$0 \sim +5V$, $0 \sim +10V$ 单极性输入

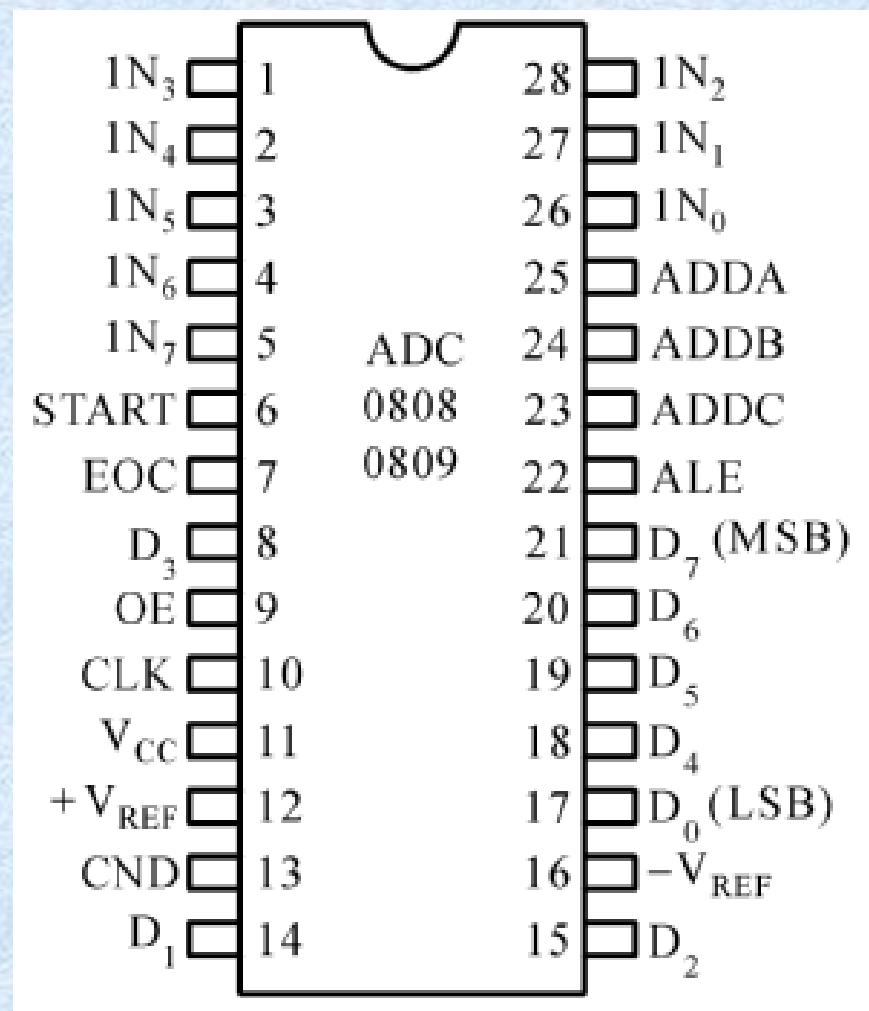
$-5 \sim +5V$, $-10 \sim +10V$ 双极性输入

应根据系统的极性要求决定

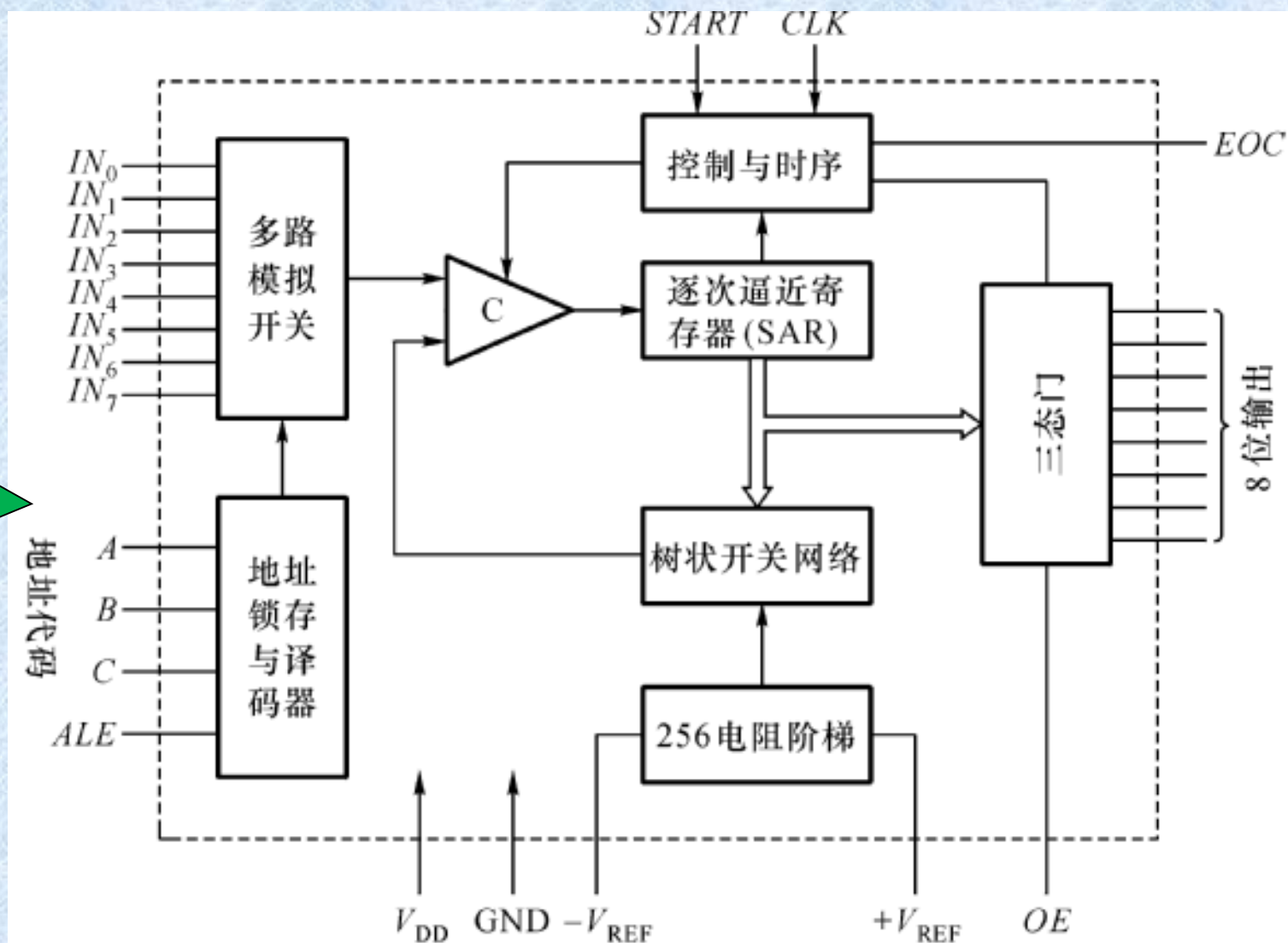
集成A/D转换器实例

ADC0809芯片介绍

8位，逐次逼近型，8路模拟量输入，具有与微机兼容的控制逻辑，28引脚，CMOS工艺，15mW功耗，输入模拟电压0~5V，转换时间为100uS，精度±LSB。



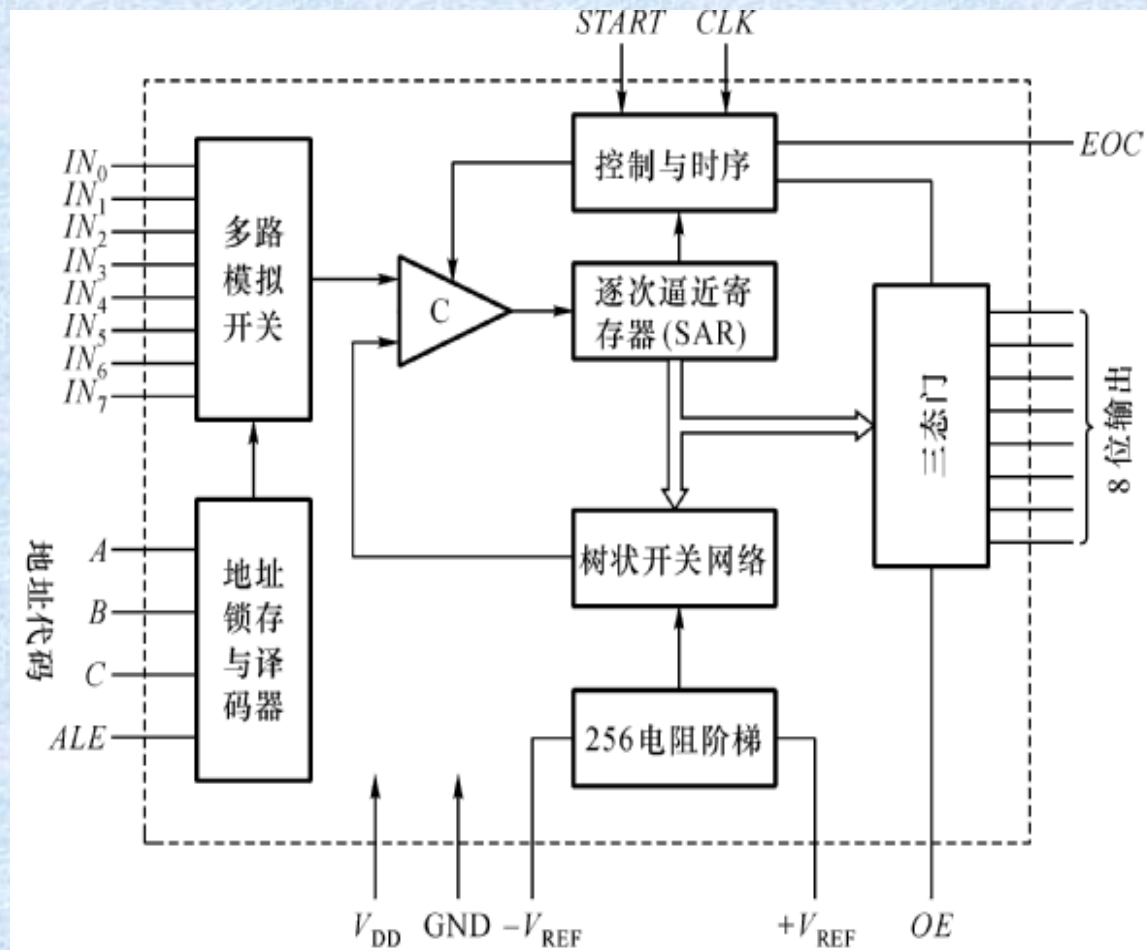
ADC
0809
内部
图



工作过程分下面几步：

(1) 模拟量输入通选择

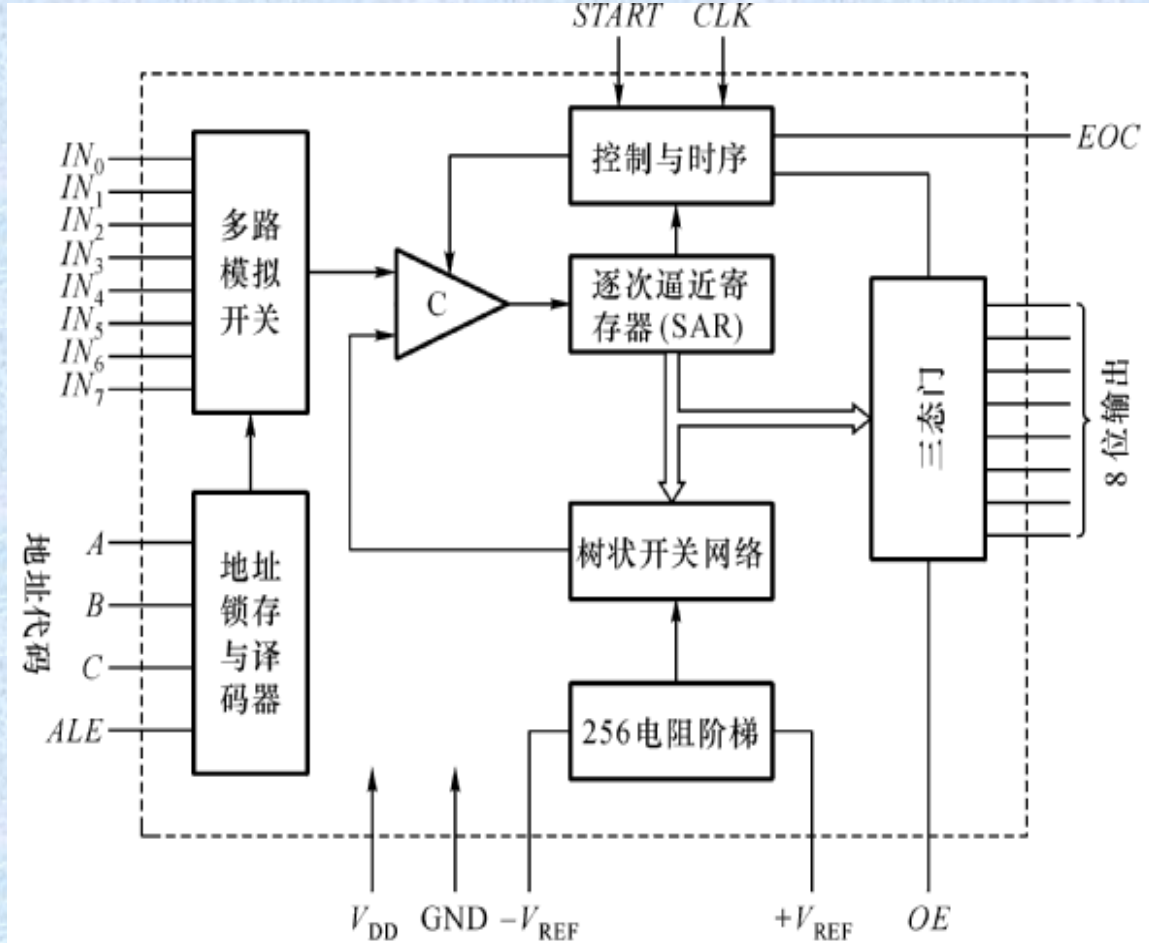
由三位地址代码控制，地址输入后，加ALE将地址锁存住。经地址译码后，去选通多路开关，决定选择哪一路模拟量。



(2) A/D转换过程
加启动脉冲START,
A/D转换开始, 启动脉
冲上沿先清0逐次逼近
寄存器, 下沿开始A/D

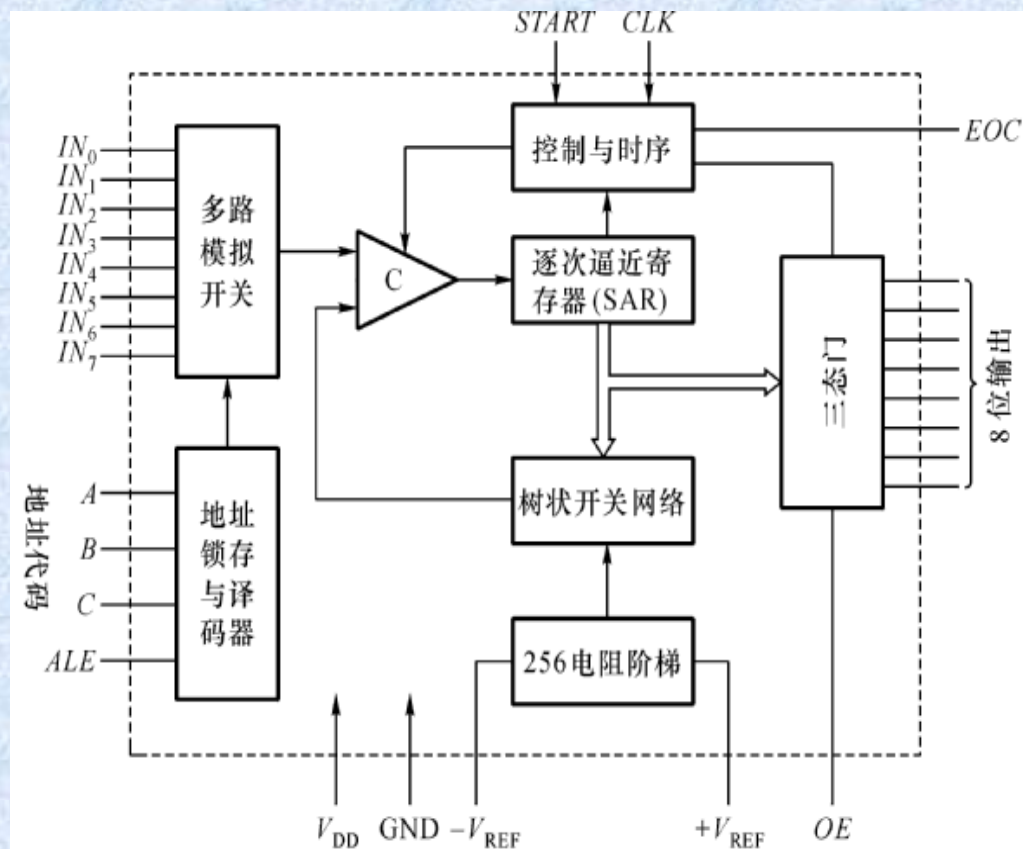
转换时, 输入模拟电
压与树状开关网络

(D/A) 比较, 得出
从高位至低位的数字
量, 并存入输出三态
锁存器。

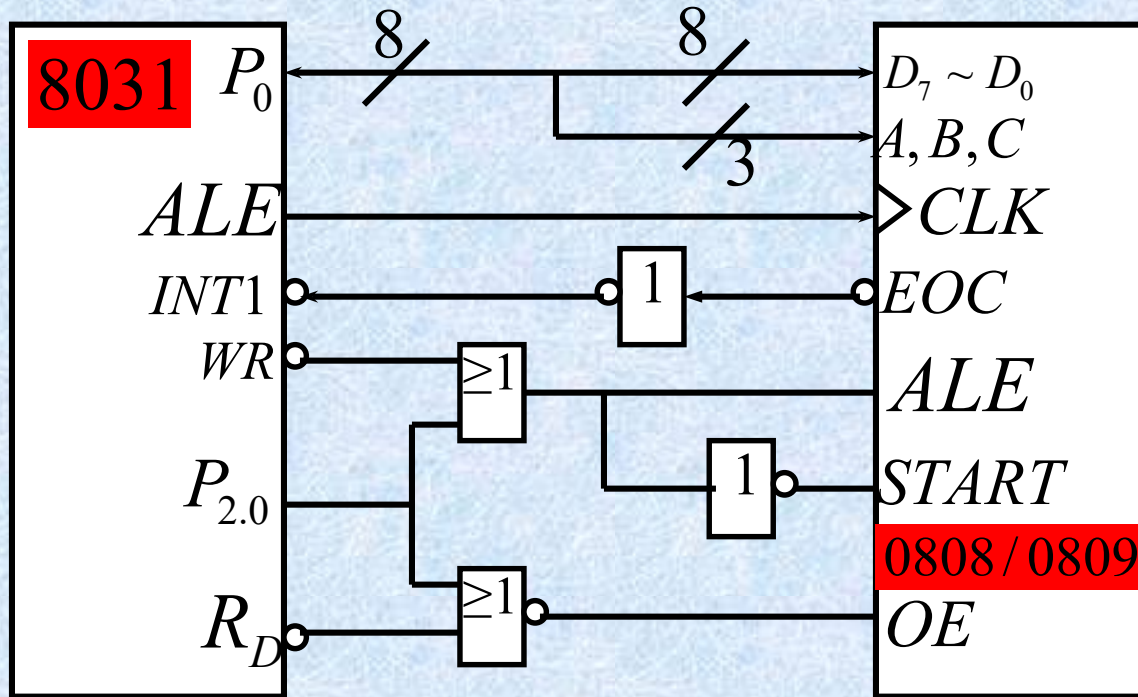


(3) 输出数字量

转换结束标志位 $EOC=1$ ，表示A/D转换结束，在使能输出 OE 端加上正脉冲，三态输出锁存器与输出数据线接通，将其中的数据送至数据总线以供读出。



ADC0809的典型应用



只要写一段
程序（汇编
语言）
ADC0809
在单片机
8031控制下，
完成A/D转
换。

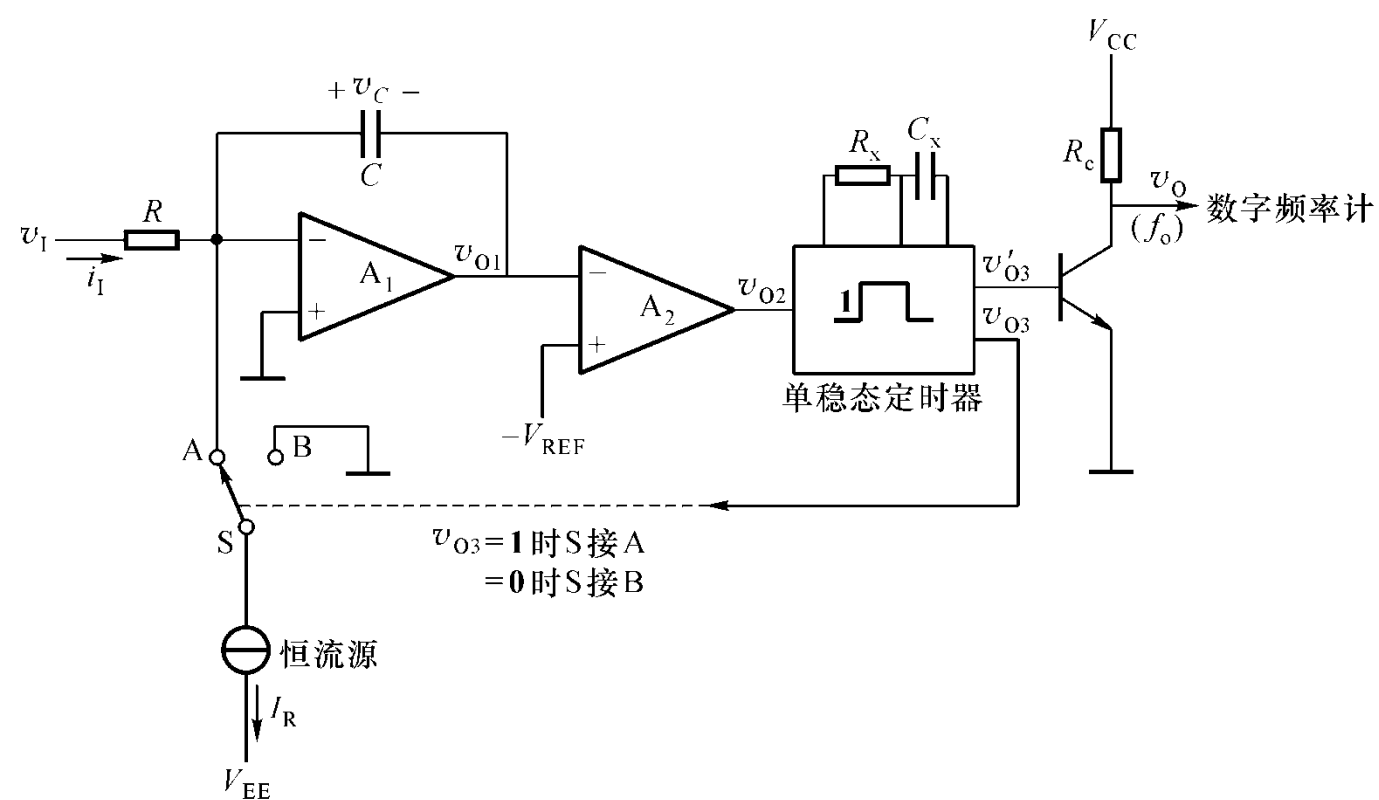
第6章 信号转换电路

- 6.1 数/模转换电路
- 6.2 模/数转换电路
- *6.3 电压/频率 (V/F) 转换电路
- * 6.4 频率/电压 (F/V) 转换电路

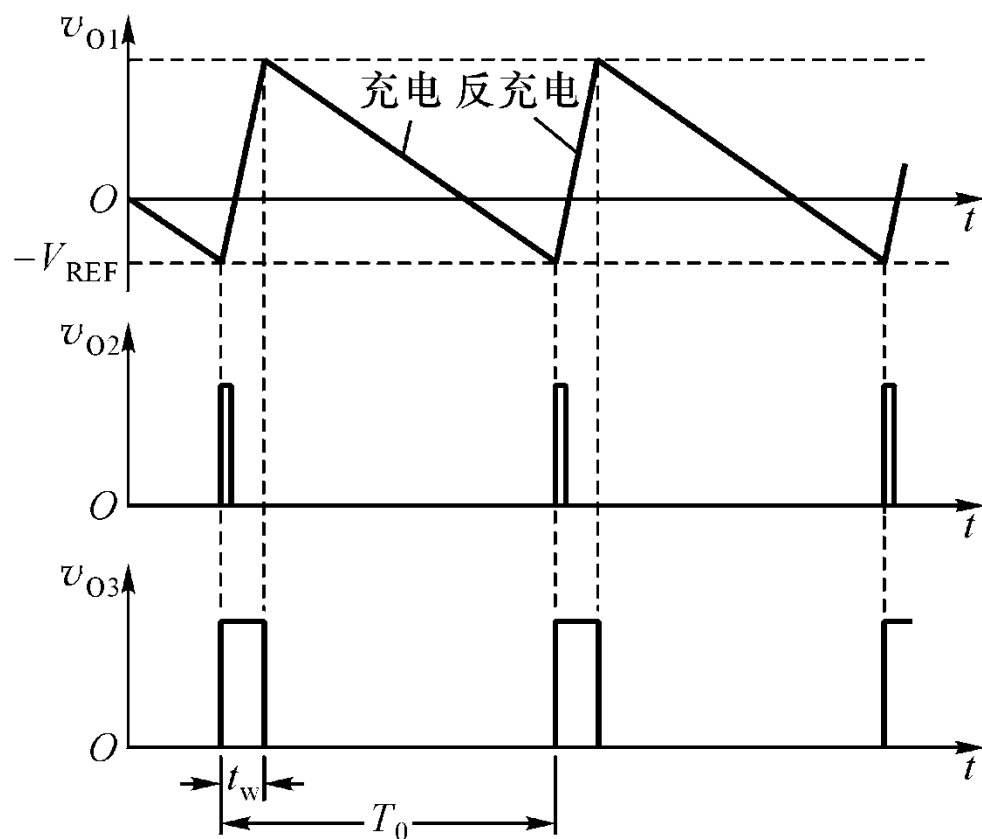
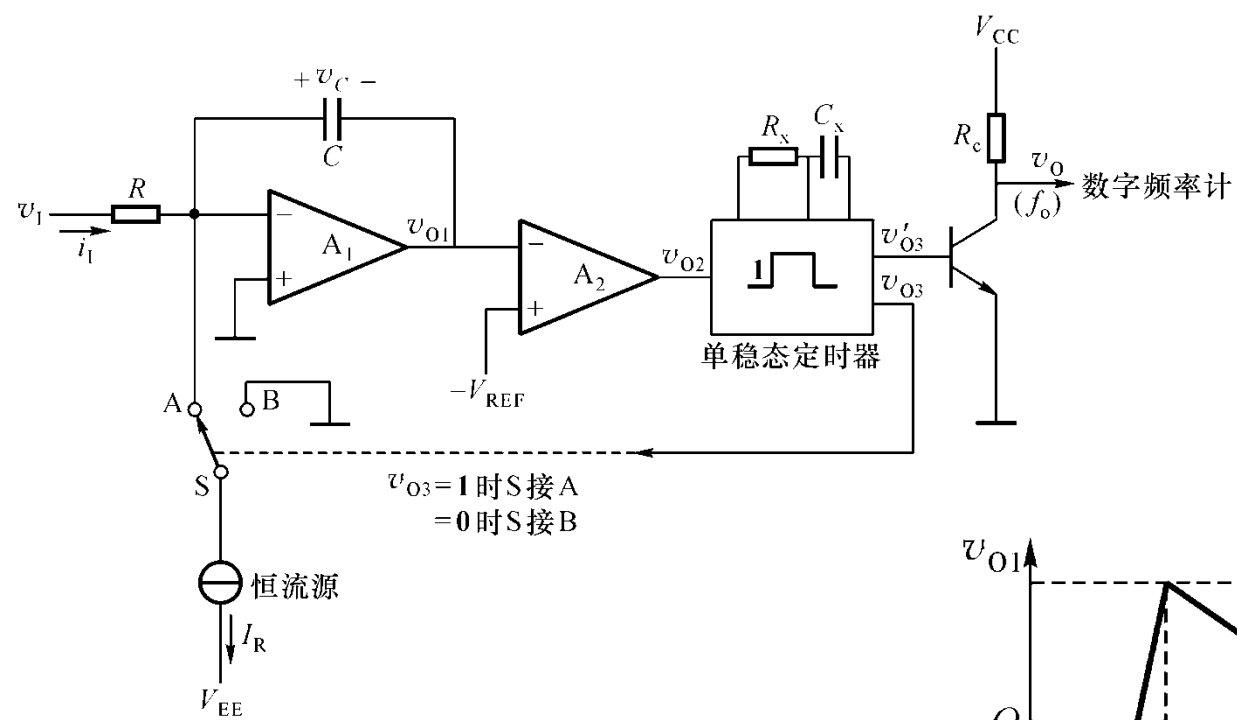
6.3 电压/频率 (V/F) 转换电路

V/F转换器是一种将模拟电压转换成与其大小成比例的脉冲频率的电路。如果对其输出的脉冲频率信号进行数字化测量，则可得到对应于输入模拟电压的数字等效值。因此，V/F转换器也可以看作是一种间接型的A/D转换器。

◆ 常见的电荷平衡式V/F转换器



设开始时 $v_{O3}=0$,开关S接B。当 v_I 为某一正值 V_I 时,产生的相应输入电流 $I_I=V_I/R$,电容器C充电,积分器 A_1 的输出电压 v_{O1} 下降。当 $v_{O1}<-V_{REF}$ 时,电压比较器 A_2 输出发生跳变(由0变1),触发单稳态定时器产生宽度 $t_W=1.1R_xC_x$ 的正脉冲,即 $v_{O3}=1$,使模拟开关S和积分器反相端A相连。



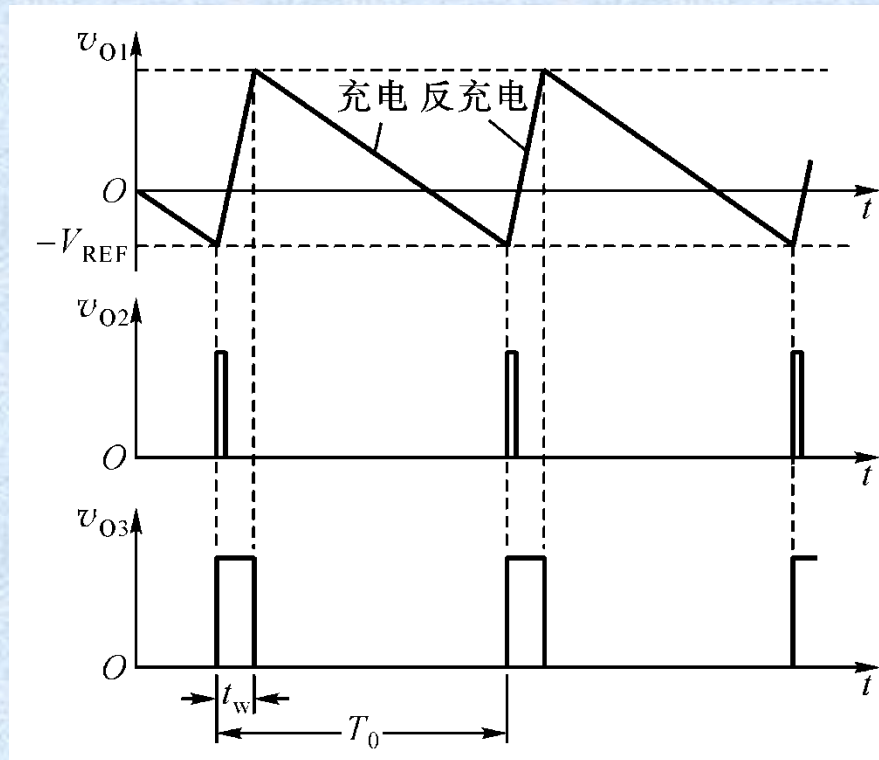
由于电路设计成 $I_R > I_I$ ，因此在 $v_{O3}=1$ 的期间内，积分电容器 C 反向充电，输出电压 v_{O1} 线性上升。直至 t_w 结束， $v_{O3}=0$ ，使模拟开关又接向 B ，积分器在正的输入电压 v_I 作用下，重新开始向 C 充电，输出电压 v_{O1} 线性下降。

充电电荷量和反充电电荷量相等的 电荷平衡原理

$$I_I(T_0 - t_W) = t_W(I_R - I_I)$$

所以 $I_I T_0 = I_R t_W$

$$f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{I_I}{I_R t_W} = \frac{V_I}{R I_R t_W}$$



输出频率 f_0 与输入电压 V_I 成正比

◆ 所用阻容元件应为低温度系数的稳定元件，如金属膜电阻和绝缘性能良好的聚苯乙烯电容器或聚丙烯电容器等

常见的集成芯片有：ADVFC32、AD650、
LM131/LM231/LM331等，

第6章 信号转换电路

- 6.1 数/模转换电路
- 6.2 模/数转换电路
- 6.3 电压/频率 (V/F) 转换电路
- * 6.4 频率/电压 (F/V) 转换电路