



# 第10章 数模和模数转换

## 10.1 概述

## 10.2 D/A转换

## 10.3 A/D转换



# 10.1 概 述

## 一、A/D转换

把模拟信号转换为数字信号的过程称为模-数转换，简称为A/D转换；

把实现A/D转换的电路称为A/D转换器，简称为ADC。

## 二、D/A转换

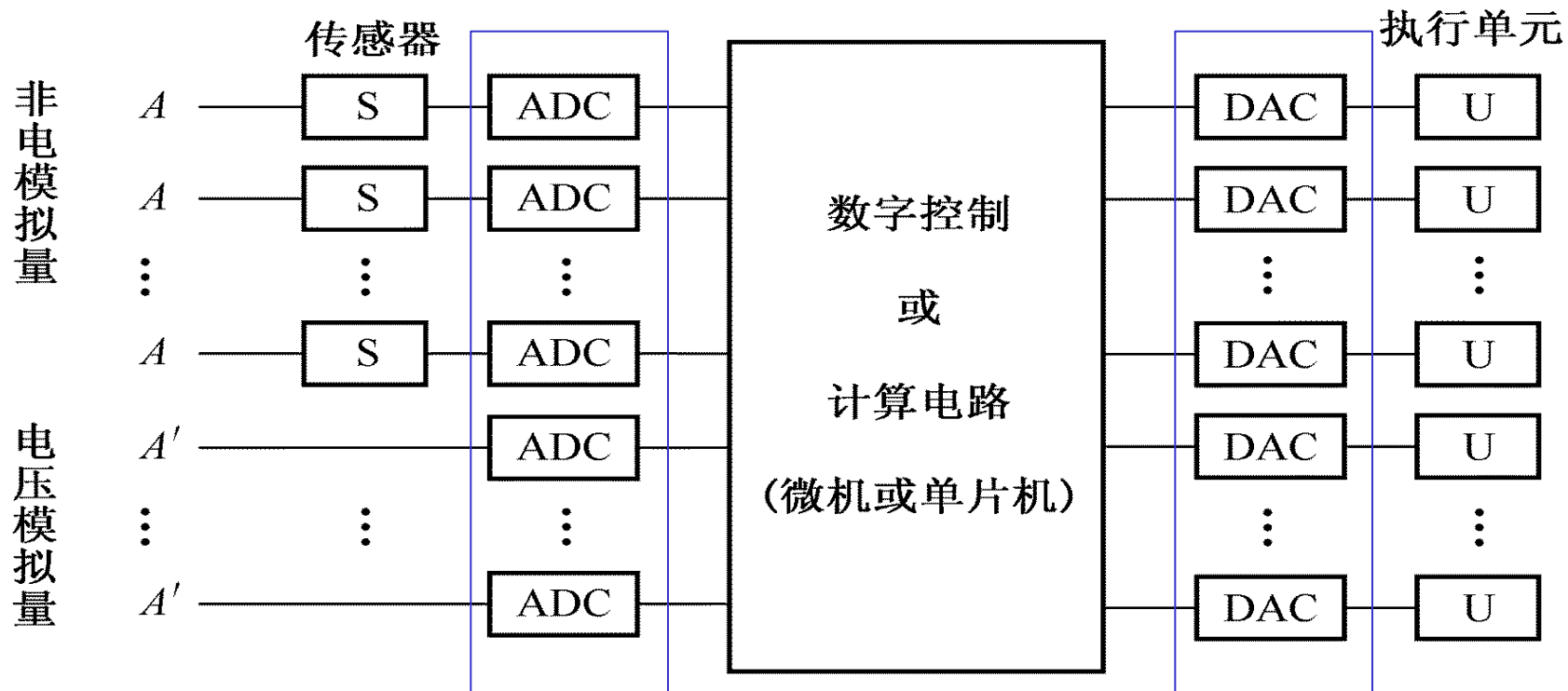
把数字信号转换为模拟信号的过程称为数-模转换，简称为D/A转换；

把实现D/A转换的电路称为D/A转换器，简称为DAC。



### 三、A/D、D/A的典型应用

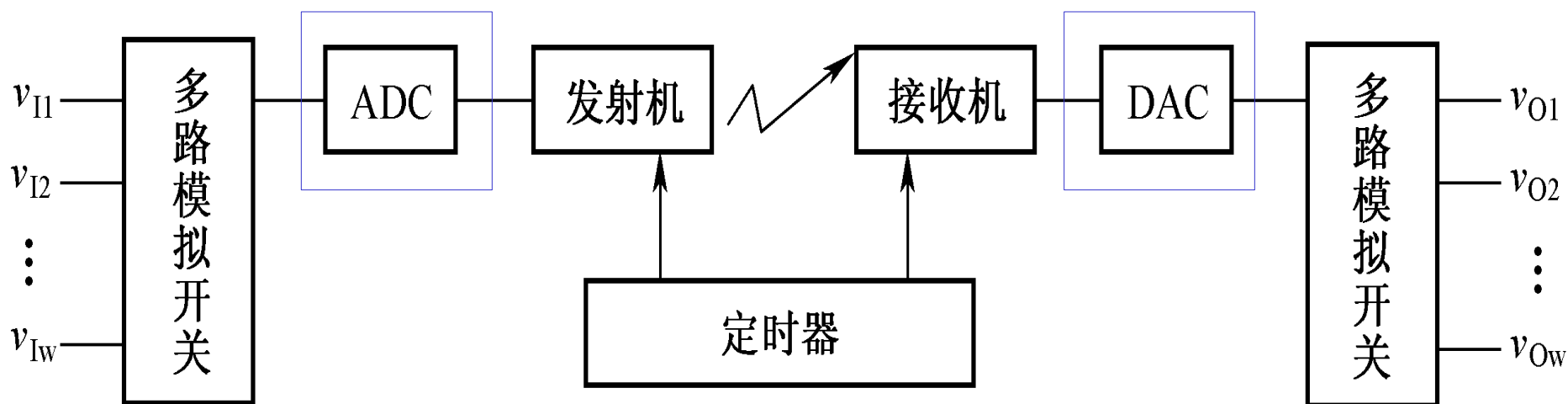
#### 1. 数字控制系统





### 三、A/D、D/A的典型应用

#### 2. 数据传输系统





## 四、ADC和DAC的两个性能指标

1. 转换精度

2. 转换速度

## 五、ADC和DAC的分类

1. DAC的分类:

权电阻网络D/A转换器

倒T形电阻网络D/A转换器

权电流型D/A转换器

权电容网络D/A转换器

开关树形D/A转换器

2. ADC的分类:

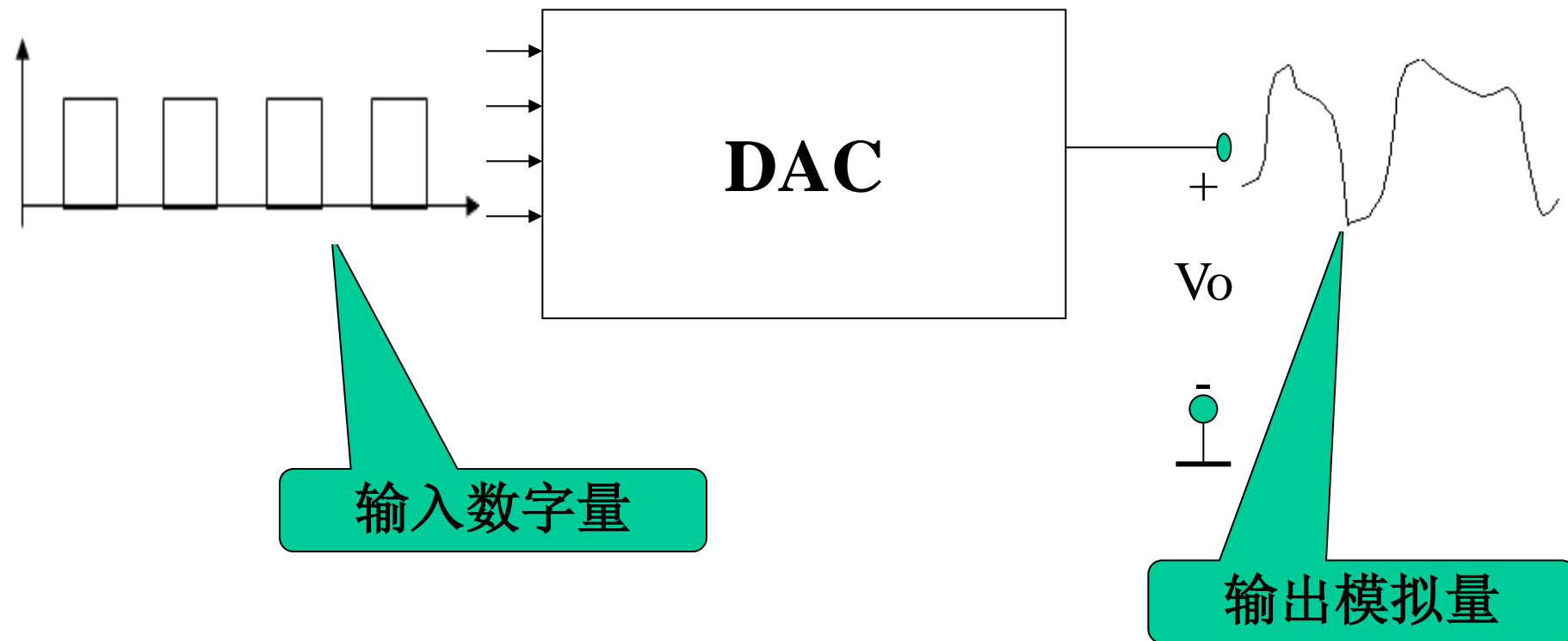
直接A/D转换器

间接A/D转换器



## 10.2 D/A转换

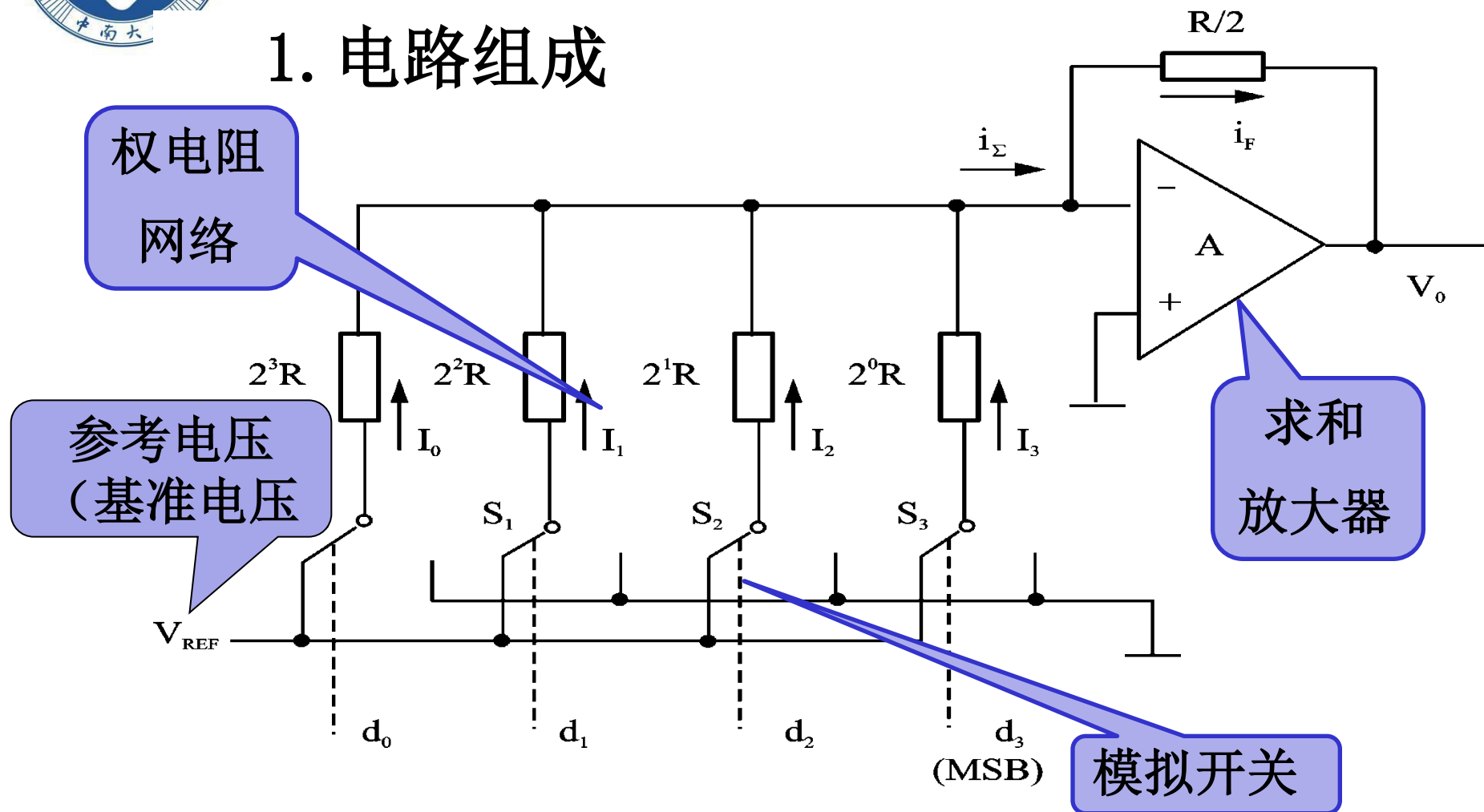
### 一、原理框图





## 二、 权电阻网络DAC

### 1. 电路组成



### 2. 转换公式

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



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

1) 当  $d_3 d_2 d_1 d_0 = 1111$

$$V_{O_{\max}} = \frac{-V_{REF}}{2^4} (2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0) = -\frac{15}{16} V_{REF} = FSR$$

满刻度电压

2) 当  $d_3 d_2 d_1 d_0 = 0001$

$$V_{O_{\min}} = \frac{-V_{REF}}{2^4} \cdot 2^0 = -\frac{1}{16} V_{REF} = LSB$$

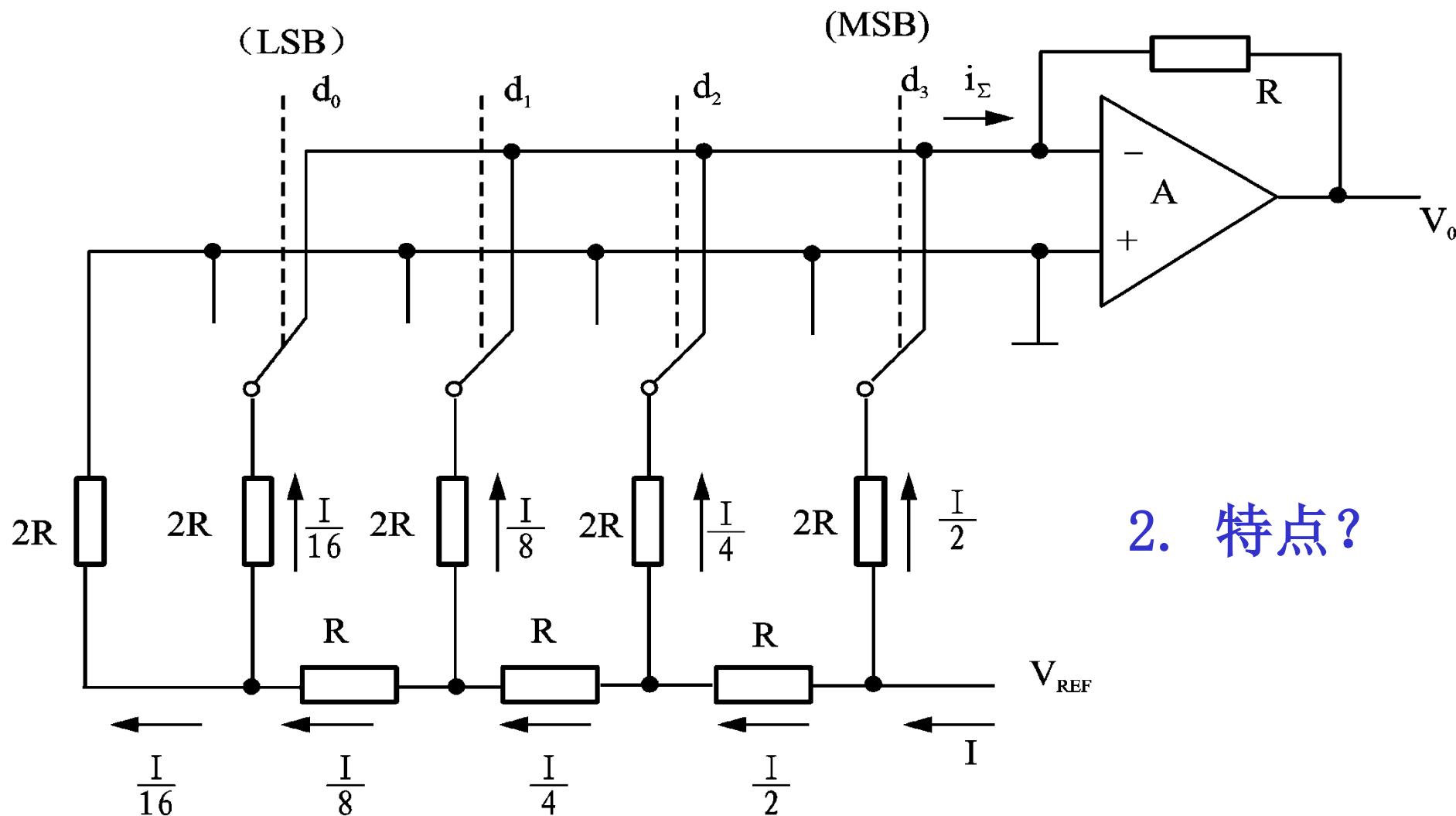
最低有效位



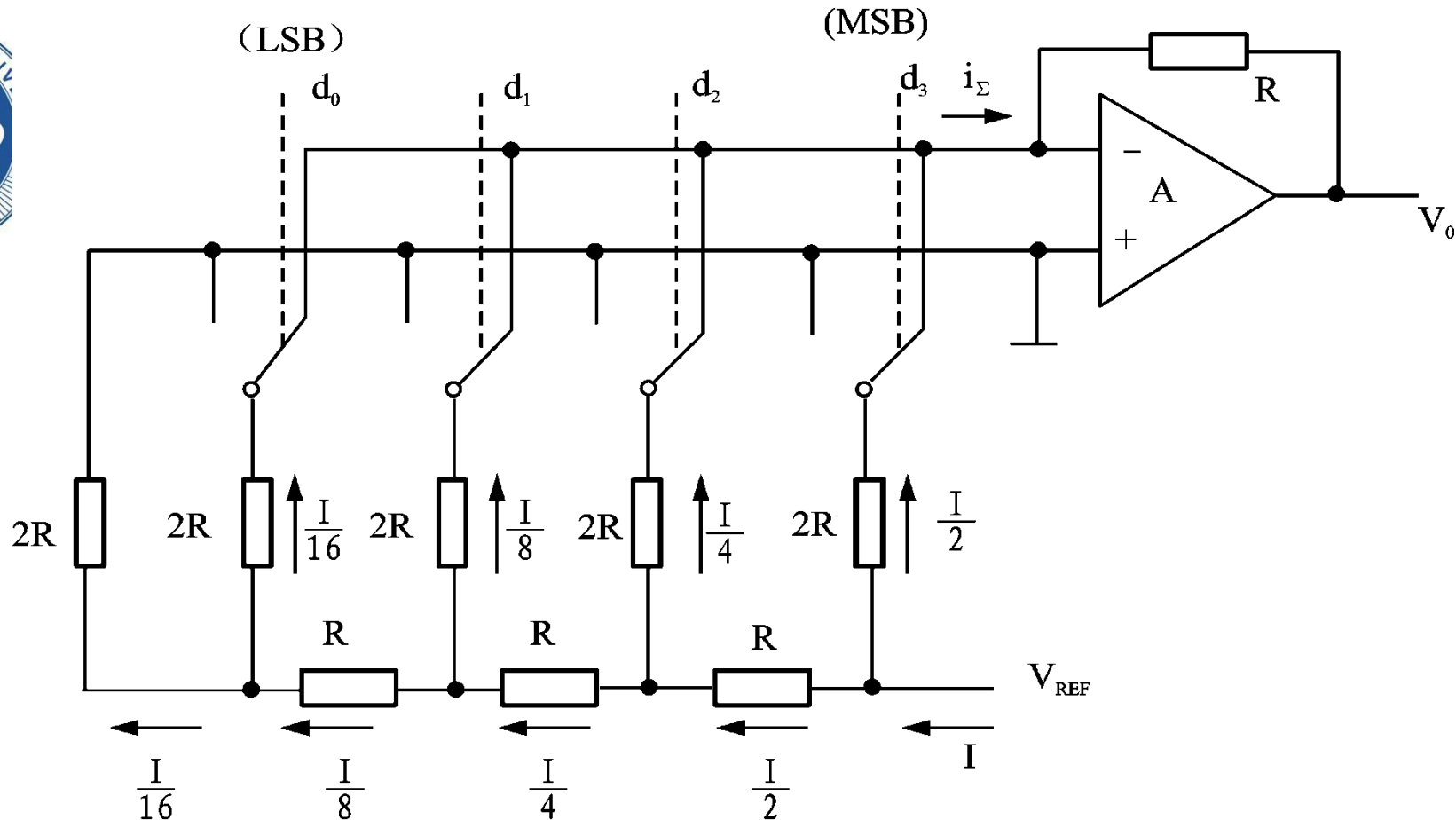


### 三、倒T形电阻网络DAC

#### 1. 电路构成



#### 2. 特点?



1) 只有R和2R两种阻值的电阻，这给集成电路的设计和制作带来很大的方便。

2) 无论开关合到哪一边，流过每个支路的电流始终不变。

3) 转换公式 
$$V_O = \frac{-V_{REF}}{2^4} (2^3 d_3 + 2^2 d_2 + 2^1 d_1 + 2^0 d_0)$$



$$V_{d0} = \frac{-V_{REF}}{2^n} (2^{n-1} d_{n-1} + \dots + 2^1 d_1 + 2^0 d_0)$$

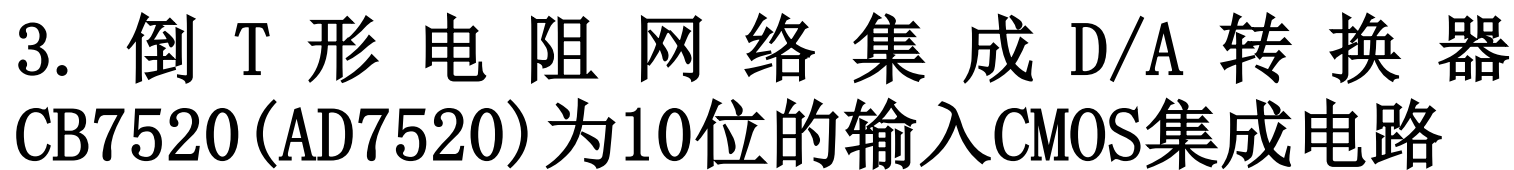
1) 当  $d_{n-1} \dots d_1 d_0 = 1 \dots 1 1$

$$FSR = \frac{-V_{REF}}{2^n} (2^{n-1} + \dots + 2^1 + 2^0)$$

$$= \frac{-V_{REF} (2^n - 1)}{2^n} \approx -V_{REF}$$

2) 当  $d_{n-1} \dots d_1 d_0 = 0 \dots 0 1$

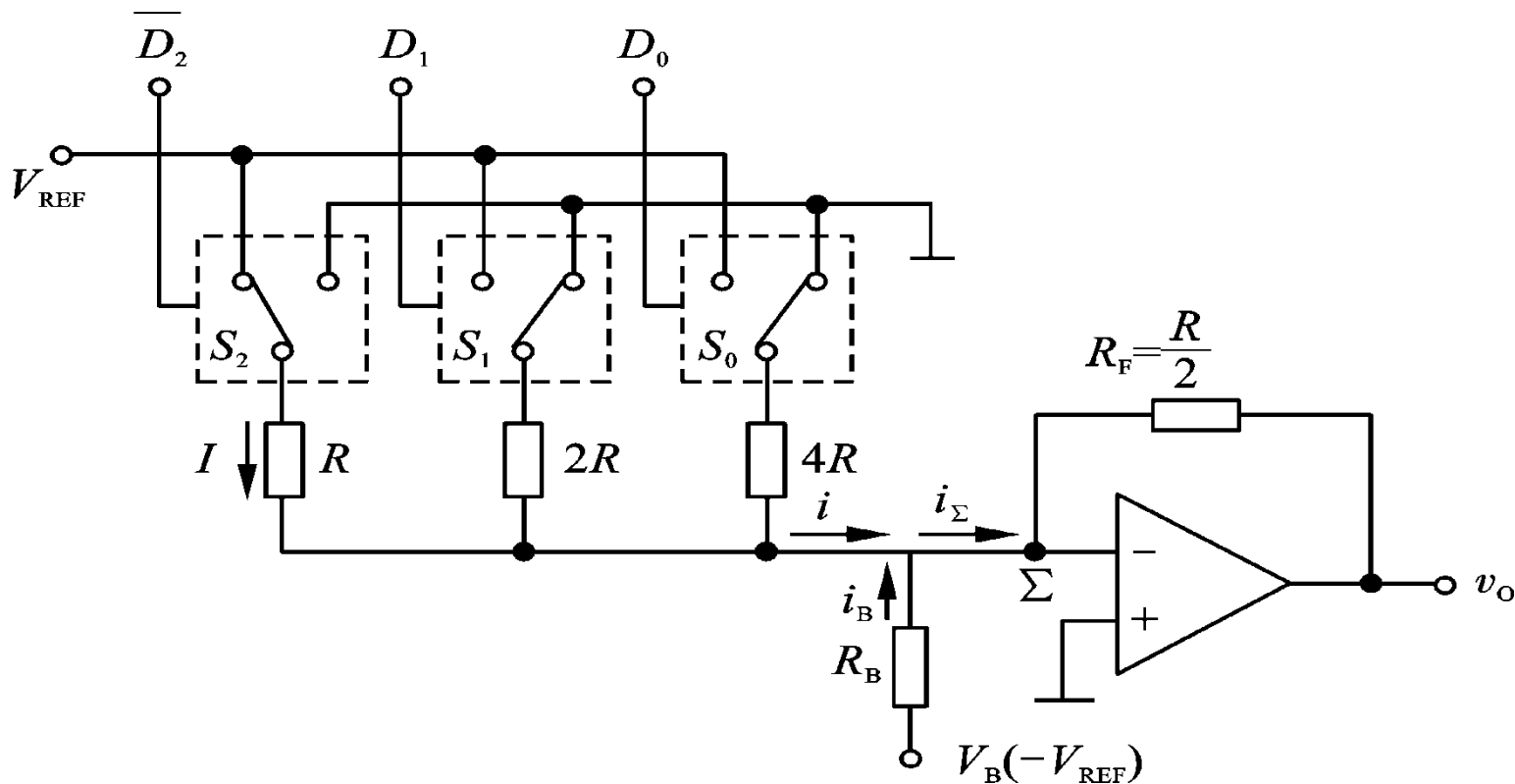
$$LSB = \frac{-V_{REF}}{2^n} (0 + \dots + 0 + 2^0) = \frac{-V_{REF}}{2^n}$$

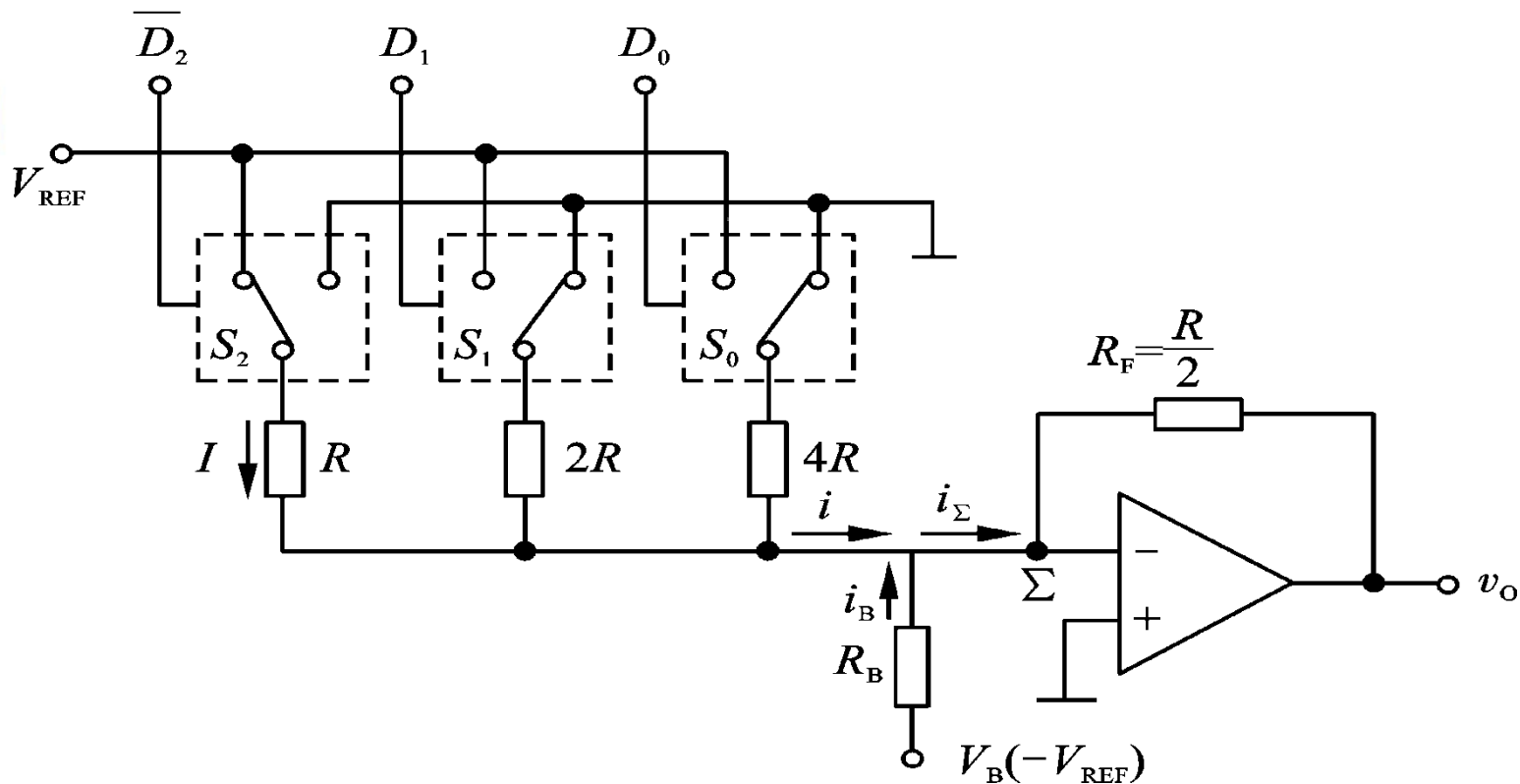




## \*具有双极性输出的D/A转换器

做法：1) 在求和放大器的输入端接入一个偏移电流，使输入最高位为1而其他各位输入为0时的输出 $V_0=0$ ；  
2) 将输入的符号位反相后接到一般的D/A转换器的输入，就得到了双极性输出的D/A转换器。





$$V_O = -\frac{V_{REF}}{2^3} (\bar{D}_2 \cdot 2^2 + D_1 \cdot 2^1 + D_0 \cdot 2^0) - \frac{R_F}{R_B} V_B$$



$$V_O = -\frac{V_{REF}}{2^3} (\overline{D}_2 \cdot 2^2 + D_1 \cdot 2^1 + D_0 \cdot 2^0) - \frac{R_F}{R_B} V_B$$

$D_2$	$D_1$	$D_0$	$\overline{D}_2$	$D_1$	$D_0$	$V_O$
1	0	0	0	0	0	-4
1	0	1	0	0	1	-3
1	1	0	0	1	0	-2
1	1	1	0	1	1	-1
0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	1	0	1	1
0	1	0	1	1	0	2
0	1	1	1	1	1	3



## 五、DAC的转换精度和转换速度

### 1. DAC的转换精度

1) **分辨率**是用以说明DAC在理论上可达到的精度。其定义是电路所能分辨的最小输出电压LSB与最大输出电压FSR之比，即：

$$\text{分辨率} = \text{LSB} / \text{FSR} = 1 / (2^n - 1)$$

上式说明输入数字的**位数n越多，分辨率越小，分辨能力越强。**





2) **转换误差**是用以说明DAC转换器实际上所能达到的转换精度，可用输出电压满刻度值的百分数来表示，也可以用LSB的倍数来表示。

转换误差又分静态误差和动态误差。

**静态误差**：基准电源 $V_{REF}$ 的不稳定、运放的零点漂移、模拟开关导通时的内阻和压降级电阻网络种阻值的偏差等；

**动态误差**：在转换的动态过程中所附加的误差，它是由分布电容和分布电感引起的。



## 2. DAC的转换速度有两种衡量方法

1) **建立时间** $t_{\text{set}}$ 是在输入数字量各位由全0变为全1或由全1变为全0时，输出电压达到某一规定值（例如取1/2LSB或满刻度值的0.01%）所需要的时间。

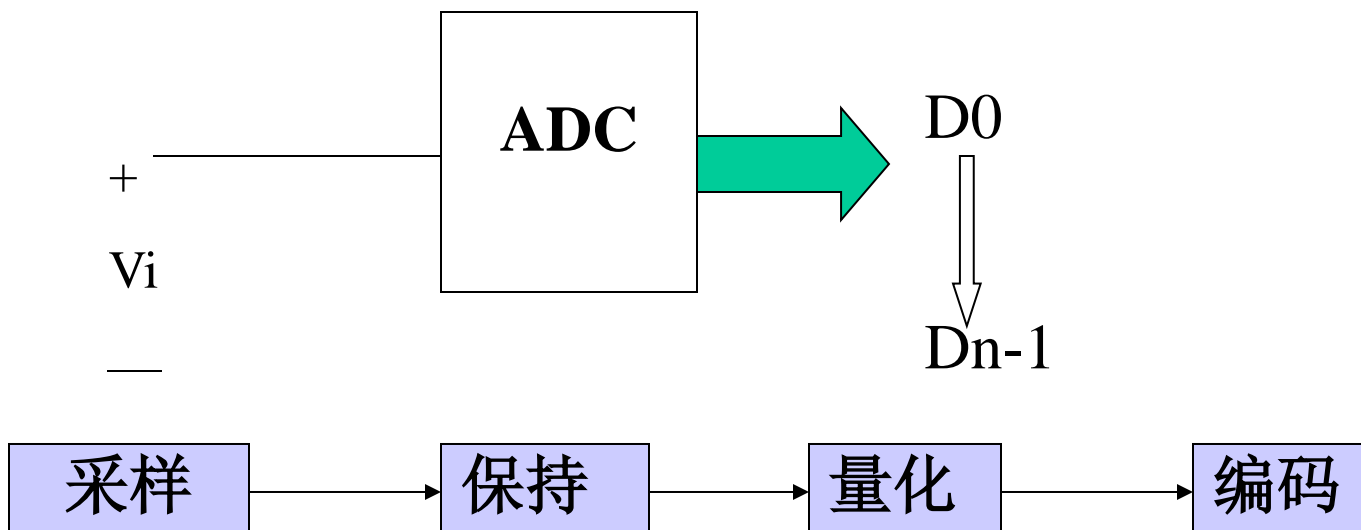
目前，在某些集成D/A转换器中， $t_{\text{set}} \leq 0.1 \mu\text{s}$ ；在内部包含有基准电源和求和运算放大器的集成D/A转换器中，最短的建立时间可以达到 $1.5 \mu\text{s}$ 。建立时间是最常用的衡量方法。

2) **转换速率** $S_R$ 是在大信号工作时，即输入数字量各位由全0变为全1或由全1变为全0时，输出电压的变化率。



## 10.3 A/D转换器

### 一、A/D转换的一般过程：





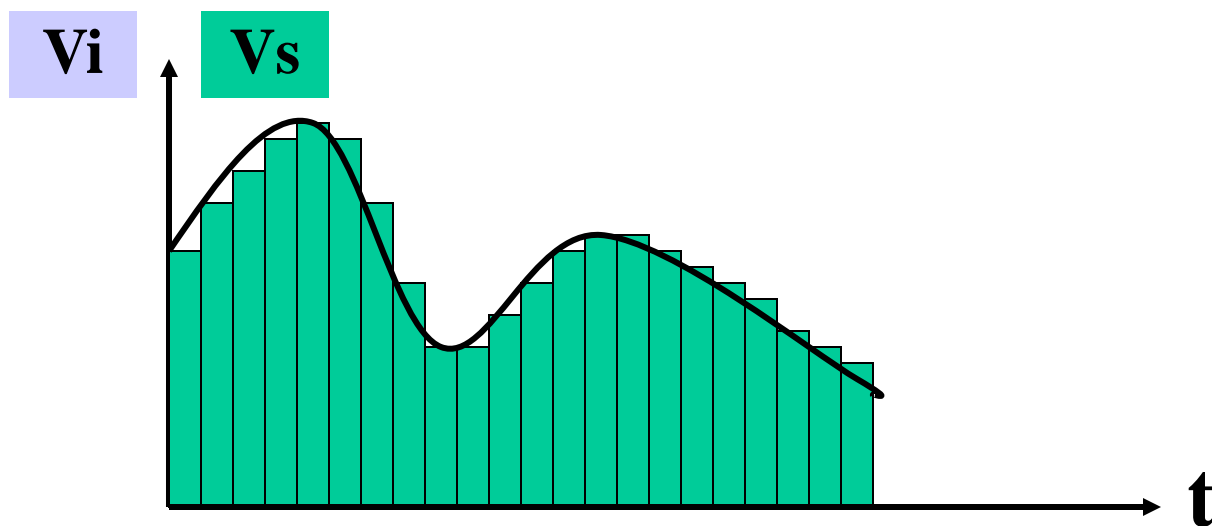
## 二、香农采样定理

内容：为了保证采样信号 $V_s$ 能正确地表示模拟输入信号 $V_i$ ，必须满足

采样频率：每秒钟采样的次数

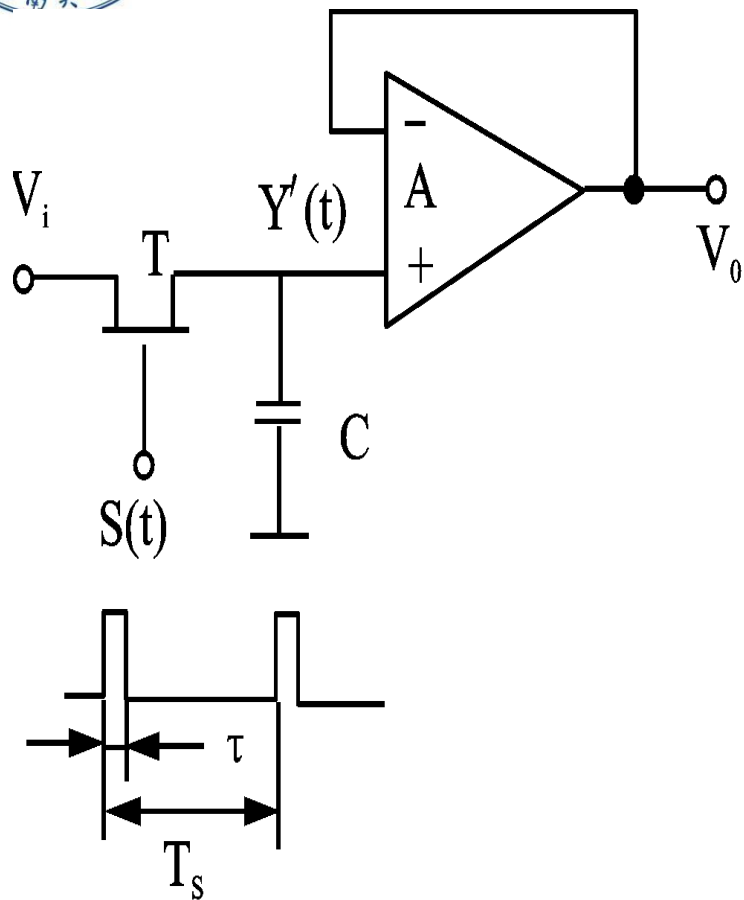
输入信号 $V_i$ 的最高频率分量的频率

$$f_s \geq 2f_i(\max)$$

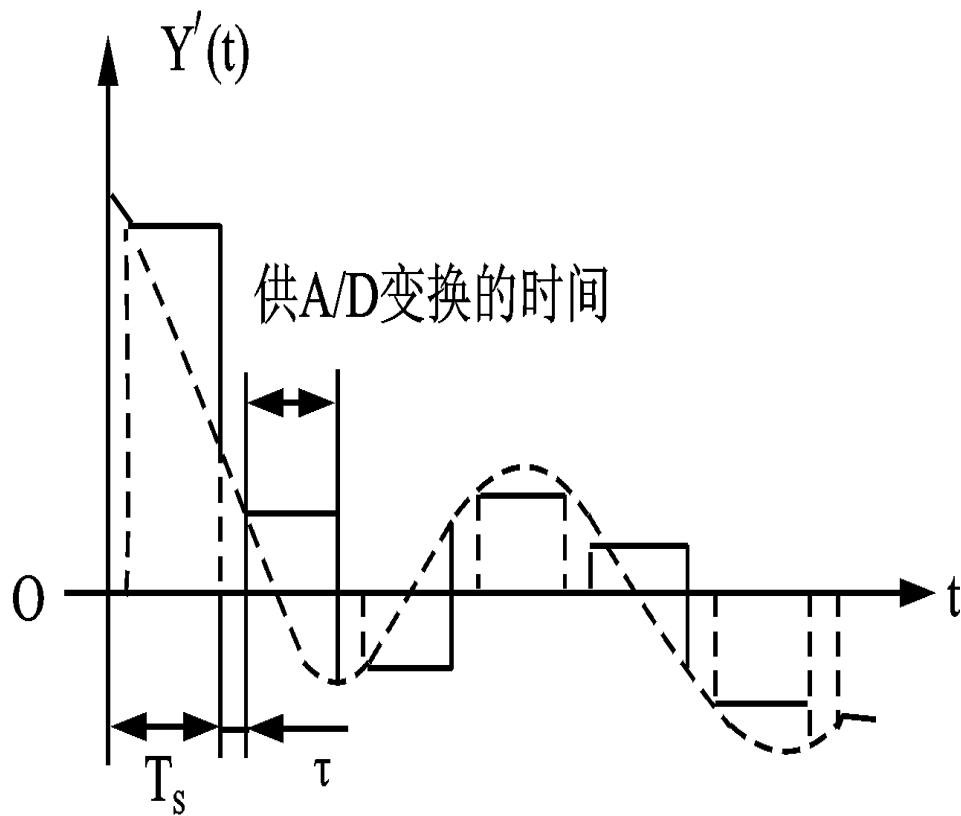




### 三、采样—保持电路



(a)



(b)



## 四、量化与编码

量化：把采样电压表示为最小量化单位 ( $\Delta$ ) 的整数倍的过程即：

$[V_s / \Delta]$ , 余数即为量化误差

编码：把量化的结果( $\Delta$ 的整数倍)用二进制代码表示,这些代码就是A/D转换的结果



例:试用三位二进制代码对0—1V的电压进行  
量化与编码(取 $\Delta=1/8V$ )

1V	←	7 $\Delta$	<b>111</b>
7/8V	←	6 $\Delta$	<b>110</b>
6/8V	←	5 $\Delta$	<b>101</b>
5/8V	←	4 $\Delta$	<b>100</b>
4/8V	←	3 $\Delta$	<b>011</b>
3/8V	←	2 $\Delta$	<b>010</b>
2/8V	←	1 $\Delta$	<b>001</b>
1/8V	←	0 $\Delta$	<b>000</b>
0			

思考：最大量化  
误差是多少？

$V_i$

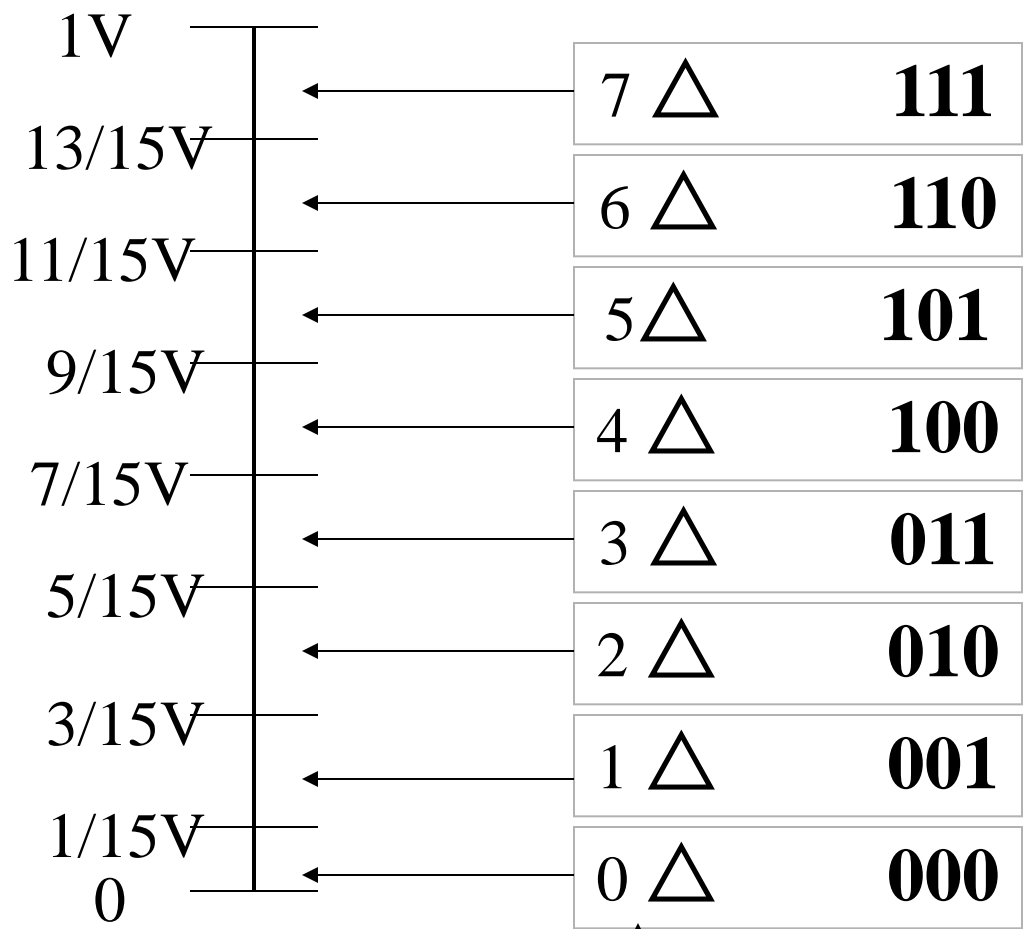
量化结果

编码结果

合作 进取 求实 创新



如果取 $\Delta=2/15V$ ,



$V_i$

量化结果

编码结果

合作 进取 求实 创新





## 五、两大类型A/D转换电路

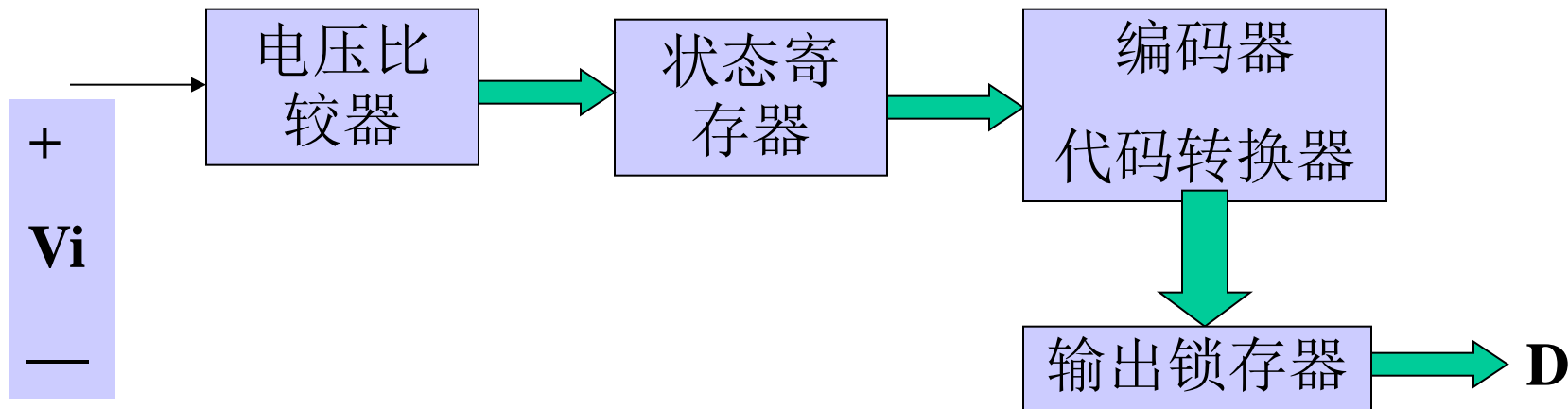
(一) 直接ADC

(二) 间接ADC



## (一) 直接ADC

### 1. 并联比较型ADC

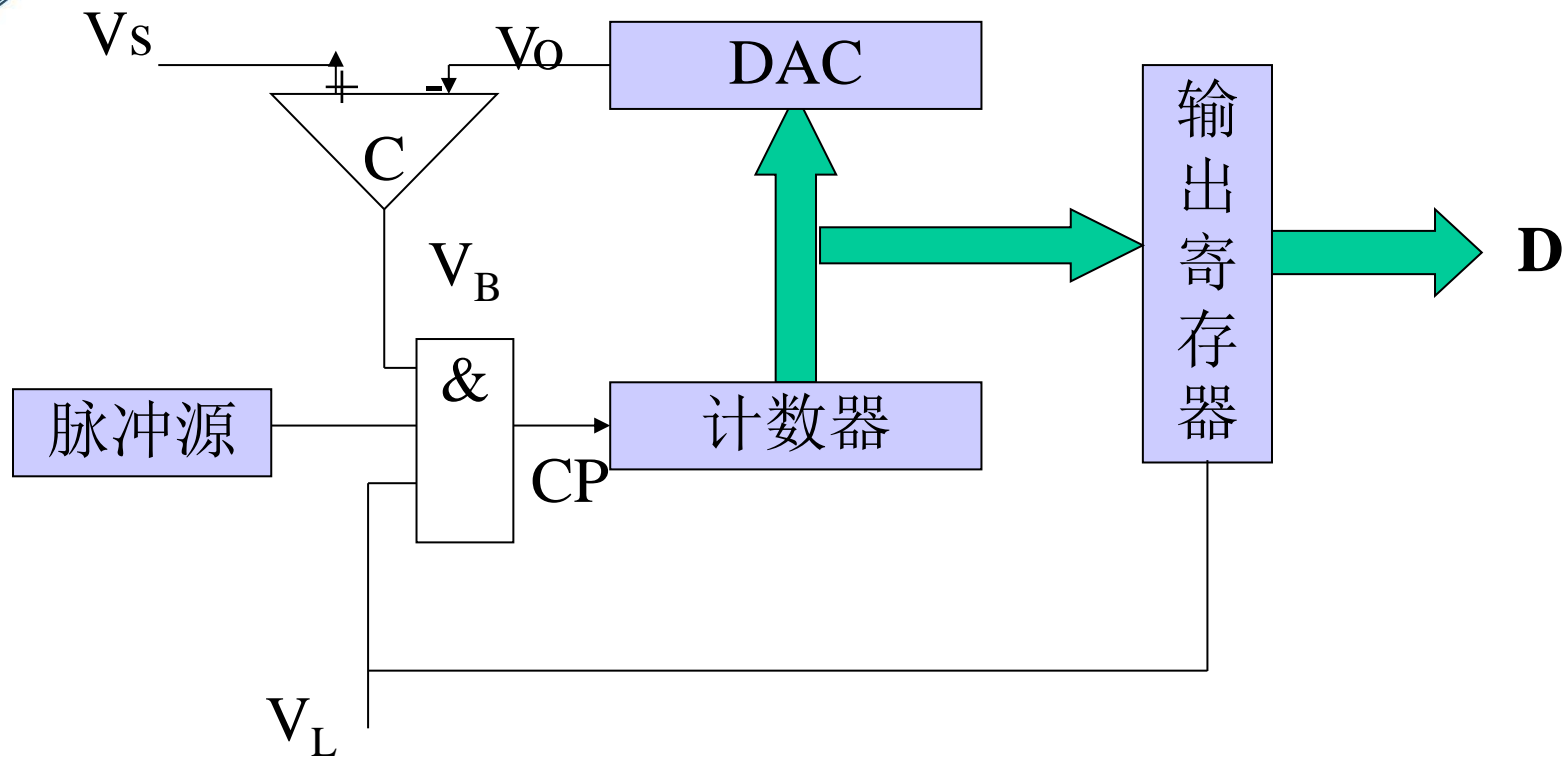


具体电路图见教材

**思考：电路的优点和缺点？**



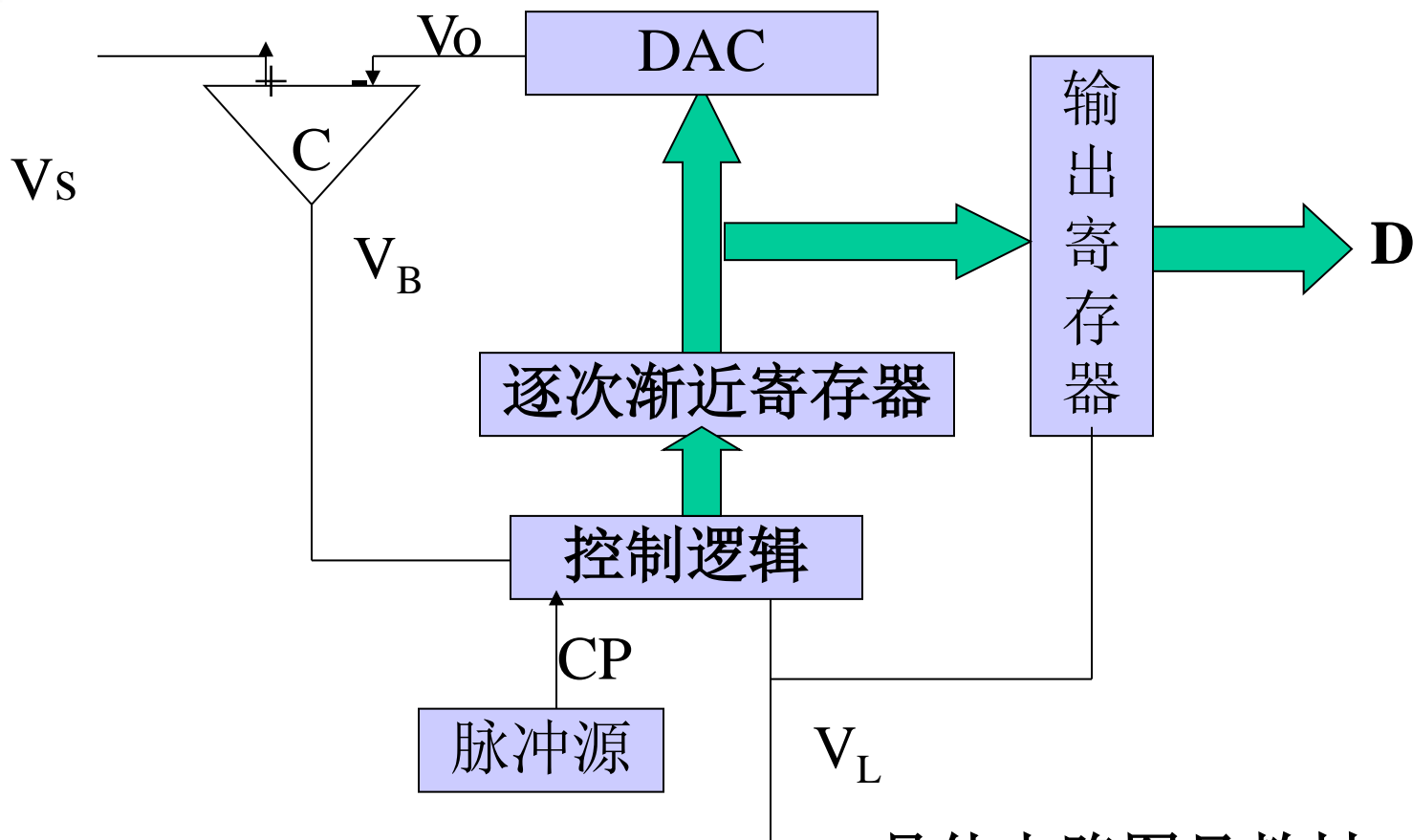
## 2. 计数型ADC



思考：电路的优点和缺点？



### 3. 逐次渐近型ADC



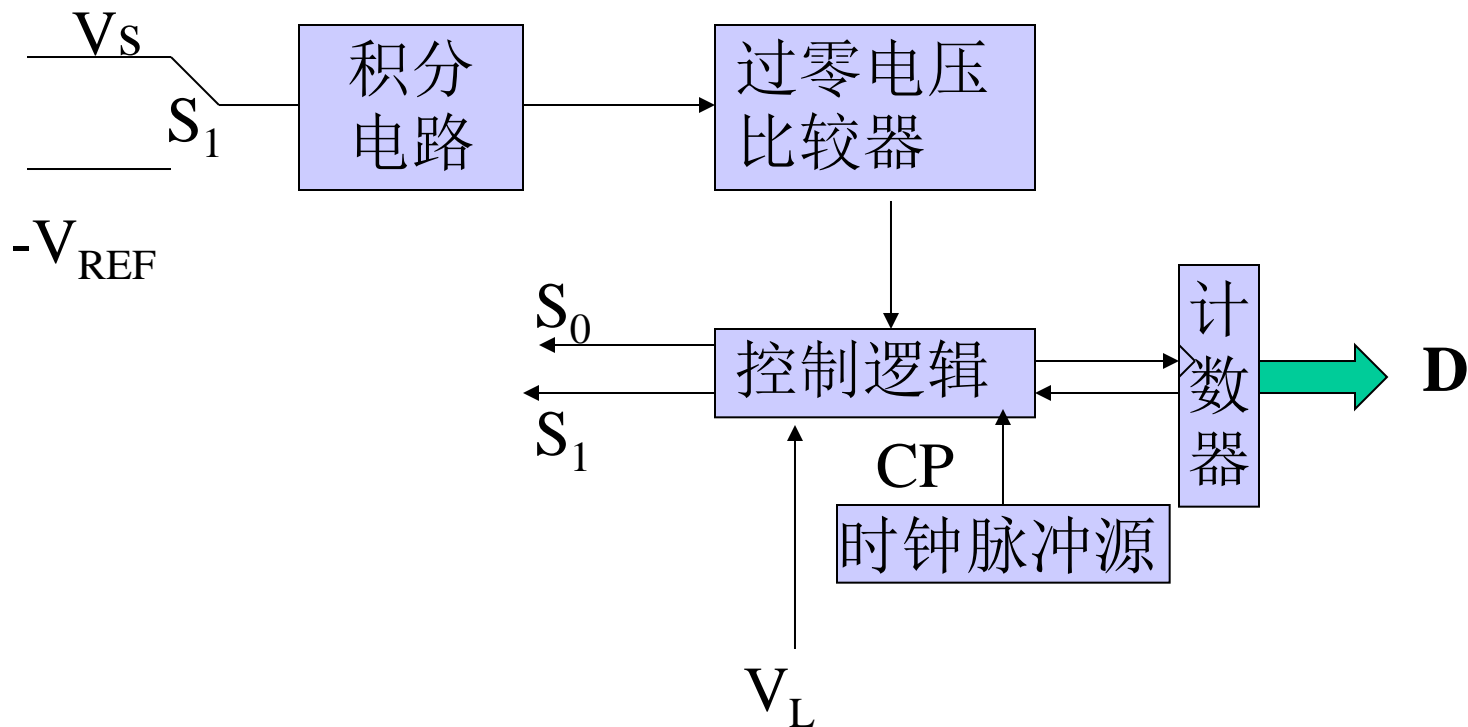
具体电路图见教材

电路的优点和缺点？



## 六、间接ADC

### 1. 双积分型ADC



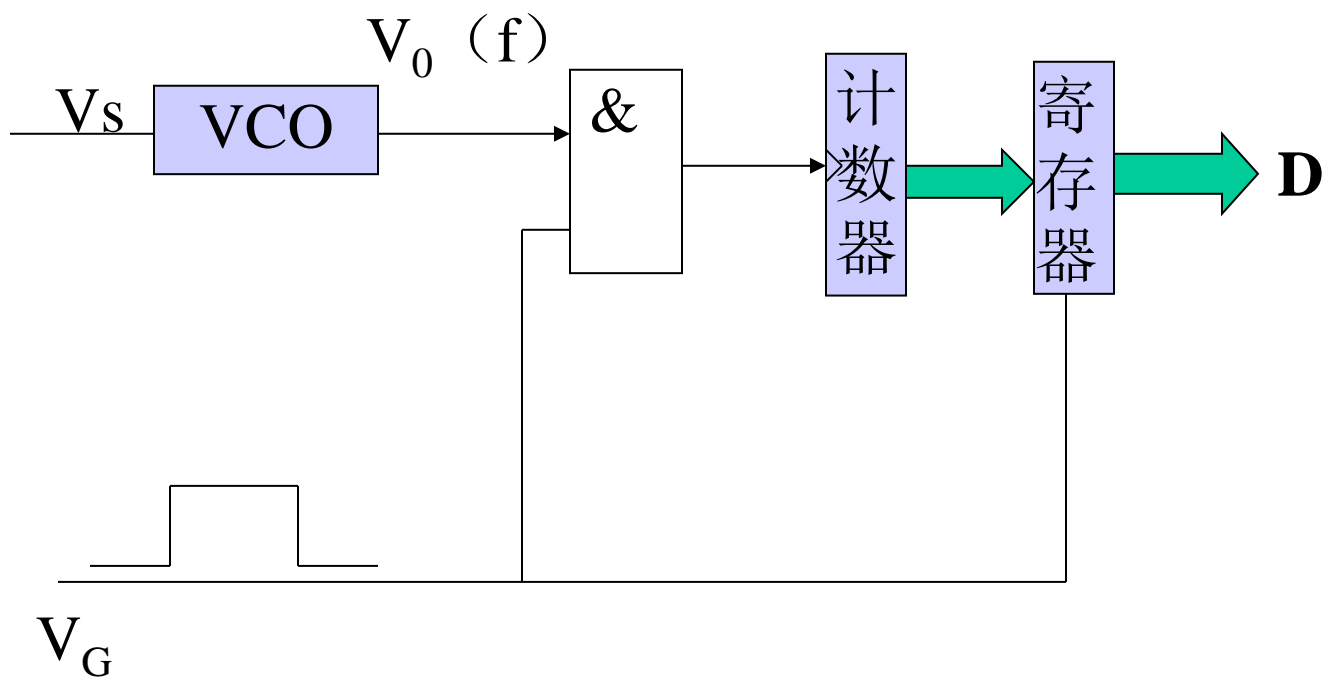
具体电路图见教材

电路的优点和缺点？



## 拓展知识：

### V-F变换型ADC





## 七、ADC的性能指标

### 一、ADC的转换精度

分辨率、转换误差

### 二、ADC的转换速度

并联比较型：50ns以内

逐次渐近型：10~100 $\mu$ s(1  $\mu$ s以内)

双积分型:数十ms~数百ms