

数字与模拟转换

程晨闻

东南大学电气工程学院



➤ 内容概要

- 数字/模拟转换器**DAC** 的工作原理
- 模拟/数字转换器**ADC**的工作原理



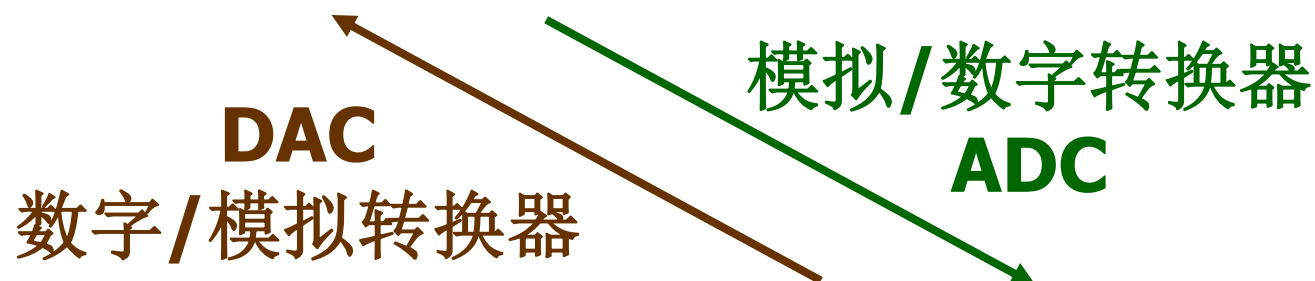
➤ 内容概要

- 数字/模拟转换器**DAC** 的工作原理

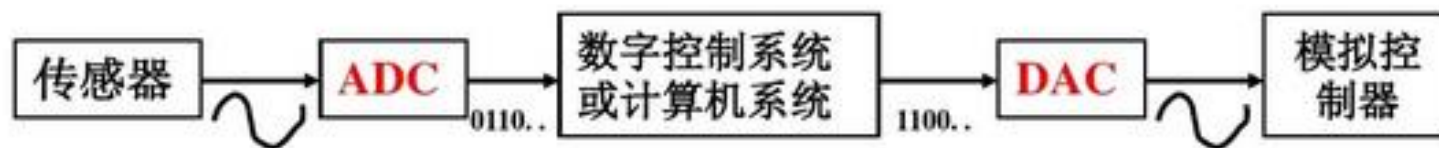
- 模拟/数字转换器**ADC**的工作原理



➤ 模拟量——连续变化的物理量



➤ 数字量——时间和数值上都离散的量



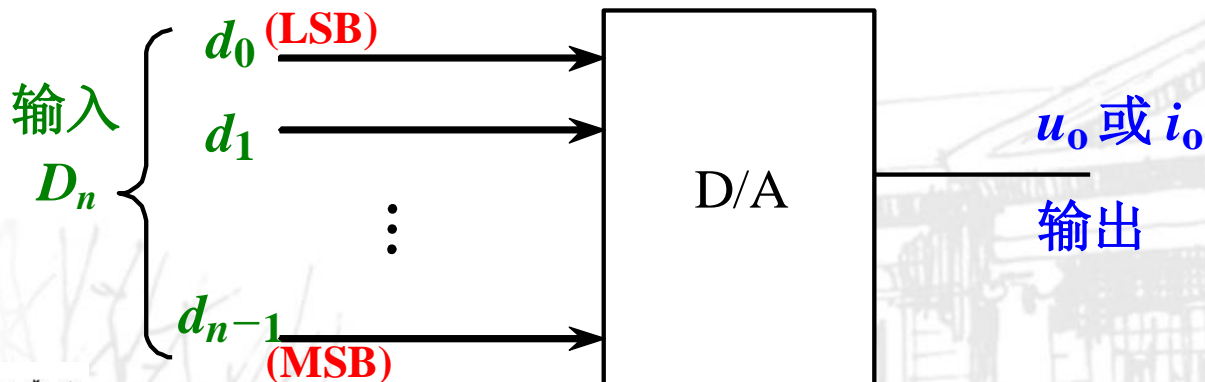
➤ DAC

- DAC是将数字量转换成模拟量输出的设备
- DAC将输入的**二进制数字量**转换成**模拟量**，以电压或电流的形式输出
- DAC可看作是一个**译码器**（解码器），提供了数字量到模拟量的映射功能

- 一般常用的线性D/A转换器，其输出模拟电压 u_O 和输入数字量 D_n 之间成**正比**关系。

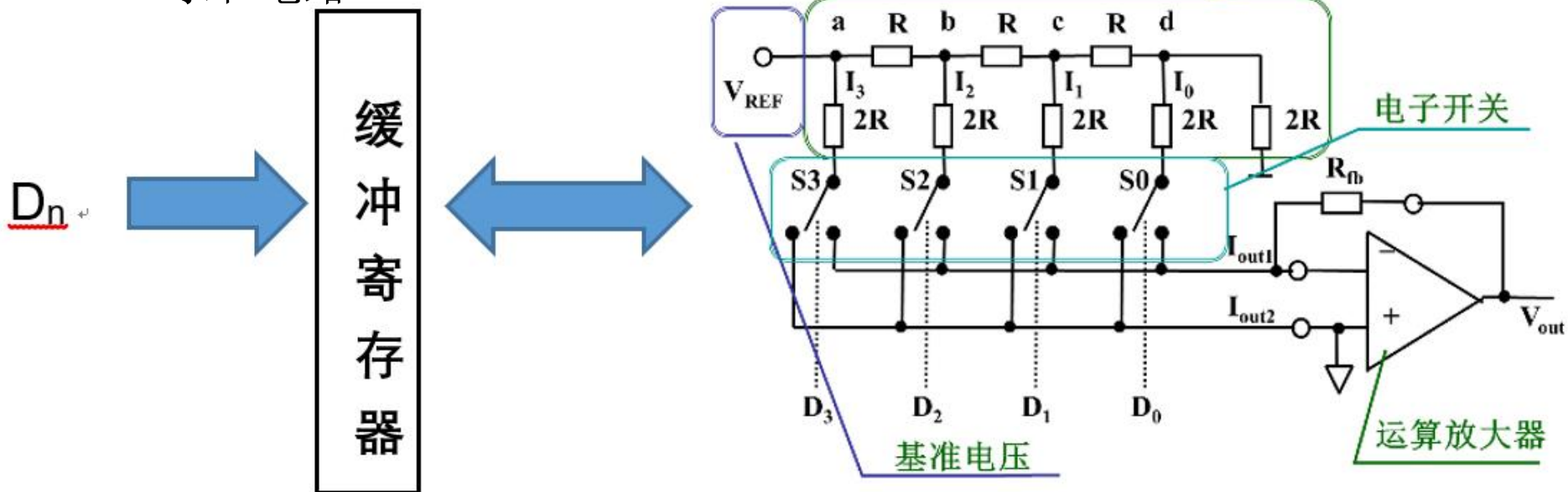
U_{REF} 为参考电压

$$u_O = D_n U_{REF}$$

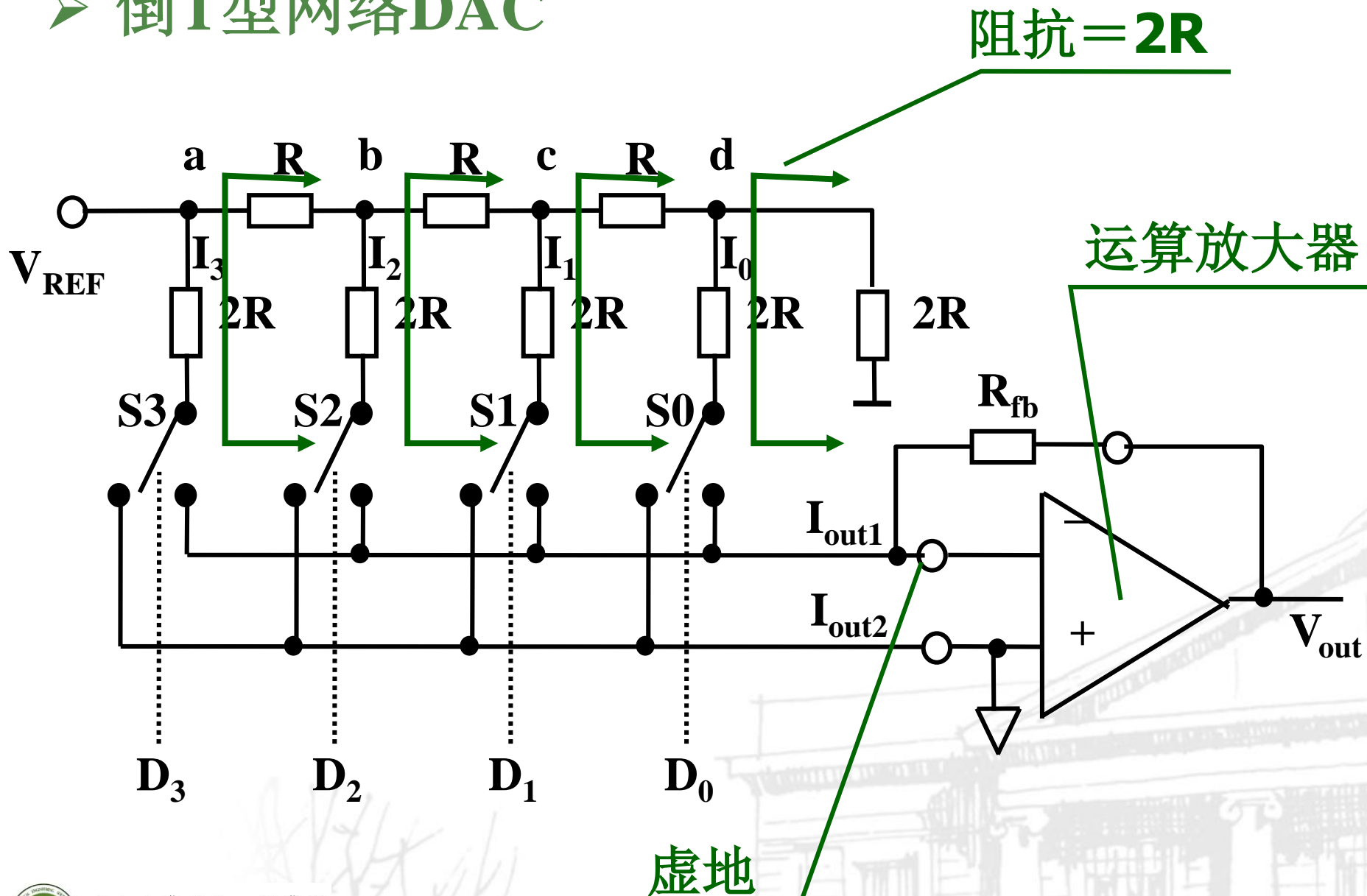


➤ DAC的组成（倒T型网络DAC）

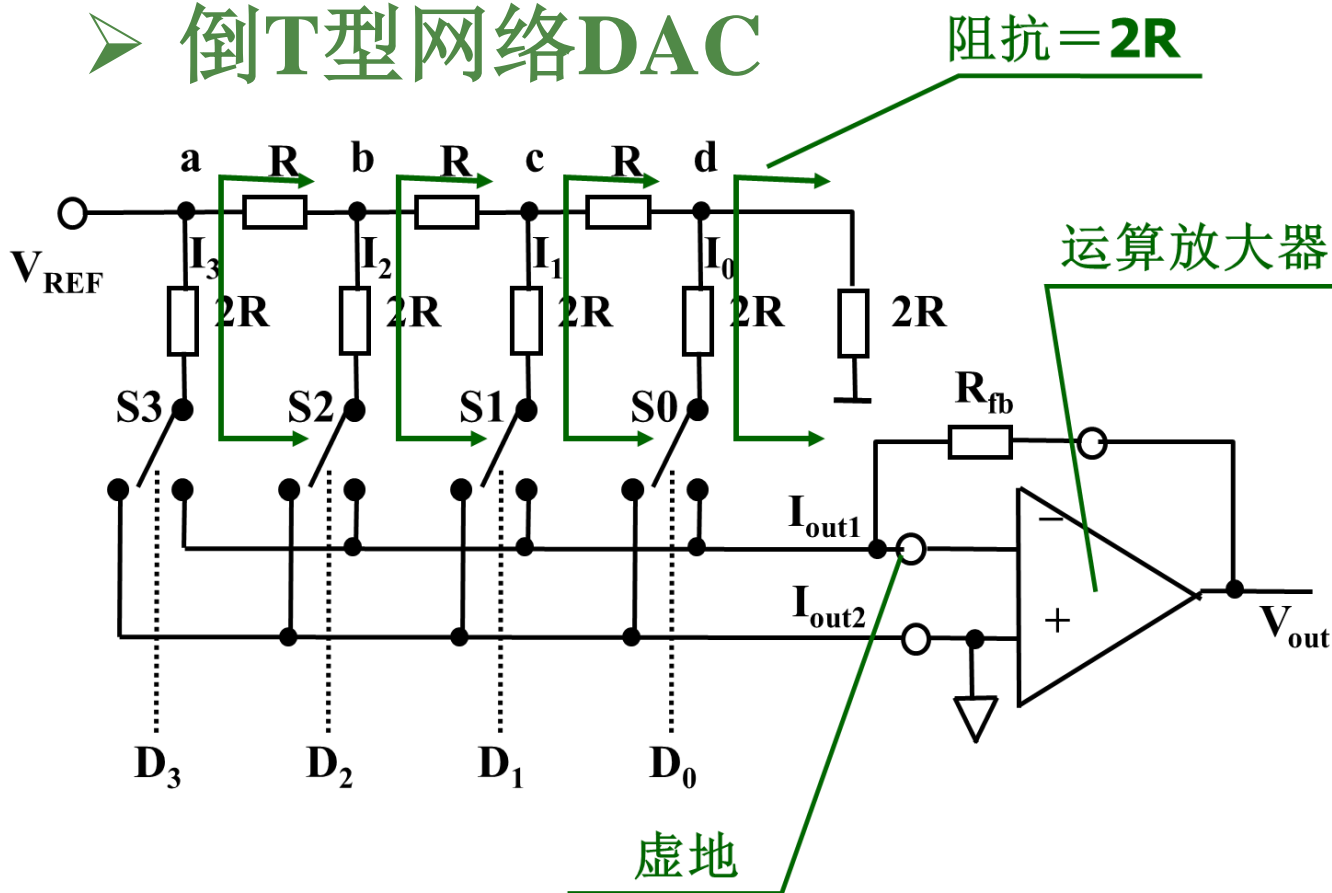
- 缓冲寄存器
- 模拟电子开关
- 参考电压
- 解码网络
- 求和电路



➤ 倒T型网络DAC



➤ 倒T型网络DAC



$$\begin{aligned} V_a &= V_{REF} \\ V_b &= V_{REF}/2 \\ V_c &= V_{REF}/4 \\ V_d &= V_{REF}/8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_0 &= V_d/2R = V_{REF}/(8 \times 2R) \\ I_1 &= V_c/2R = V_{REF}/(4 \times 2R) \\ I_2 &= V_b/2R = V_{REF}/(2 \times 2R) \\ I_3 &= V_a/2R = V_{REF}/(1 \times 2R) \end{aligned}$$

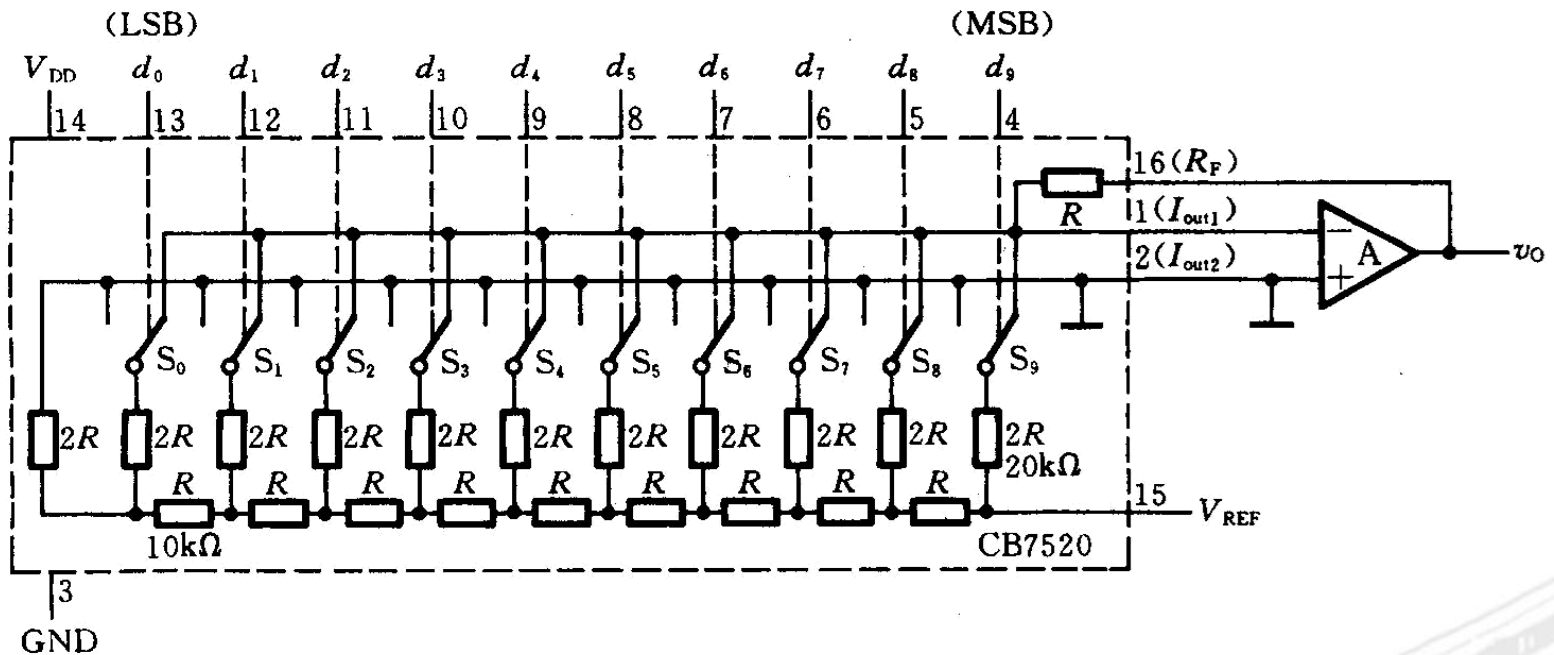
➤ 倒T型网络DAC

输入量Dn的每一位，控制一个电子开关

- $I_{out1} = Dn(0) \cdot I_0 + Dn(1) \cdot I_1 + Dn(2) \cdot I_2 + Dn(3) \cdot I_3$
- $= V_{REF}/2R \times (Dn(0) \cdot 1/8 + Dn(1) \cdot 1/4 + Dn(2) \cdot 1/2 + Dn(3) \cdot 1)$
- $V_{out} = -I_{out1} \times R_{fb}$
- 若 $R_{fb} = R$
- $V_{out} = -V_{REF} \times [(Dn(0) \cdot 2^0 + Dn(1) \cdot 2^1 + Dn(2) \cdot 2^2 + Dn(3) \cdot 2^3) / 2^4]$

$$V_{out} = - (Dn / 2^n) \times V_{REF}$$

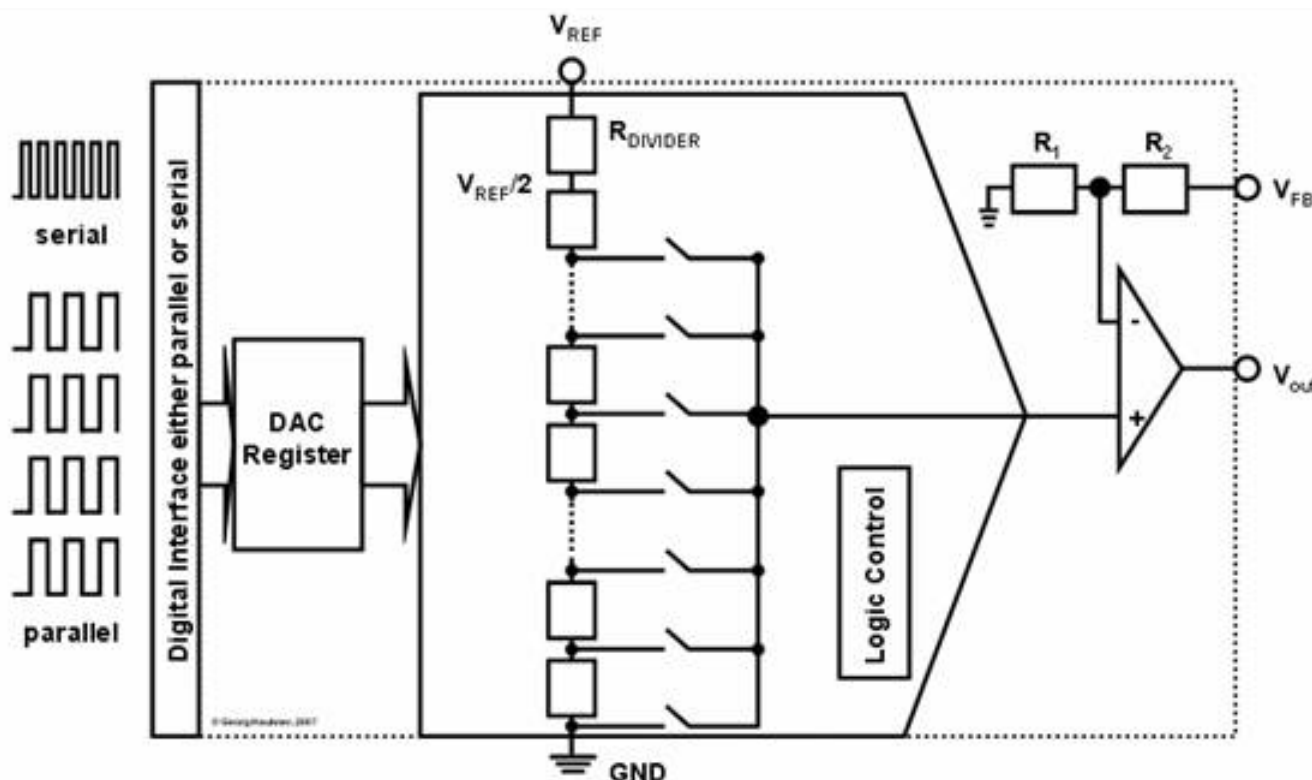
➤ 应用示例(10位DAC CB7520)



CB7520电路原理图

➤ 其他结构的DAC

- 倒T型网络DAC也被称作R2R 架构DAC
- 除此之外，常用的还有电阻串(R-String)结构的DAC



➤ D/A转换器的主要技术指标

1. 转换精度

输出模拟电压的实际值与理想值之差，也称最大静态转换误差

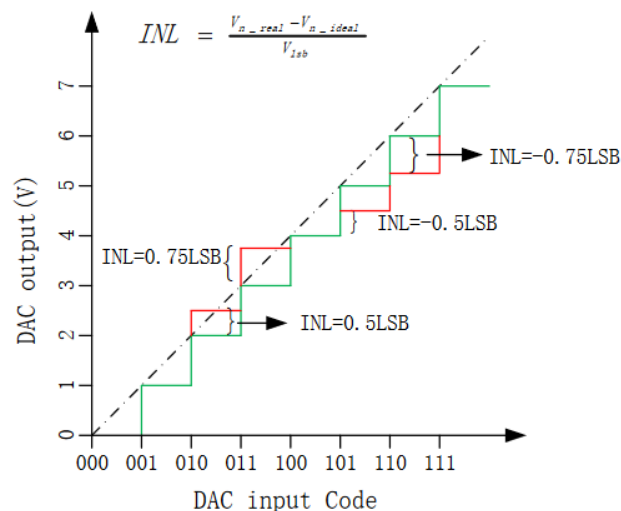
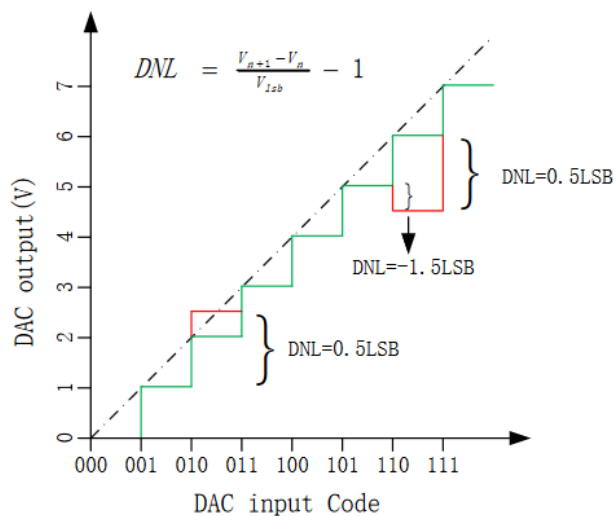
2. 分辨率

DAC模拟输出电压可能被分离的等级数；输入数字量位数越多，分辨率越高

3. 线性度

通常用非线性误差的大小表示DAC的线性度

DNL 是微分线性度；INL 是积分线性度

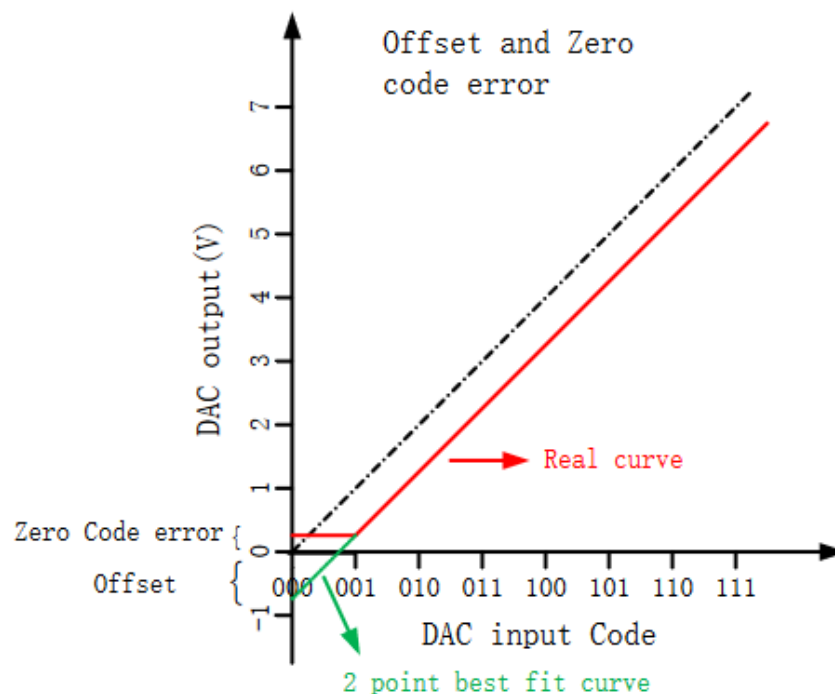
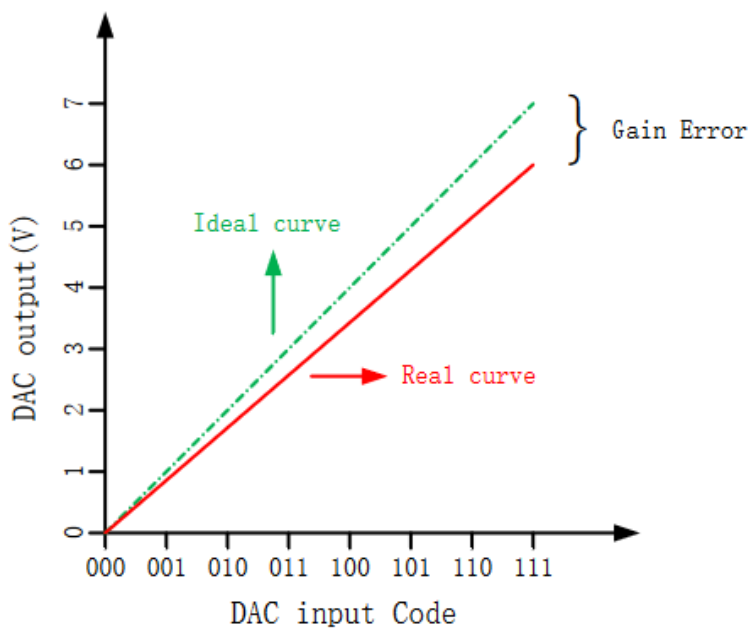


➤ D/A转换器的主要技术指标

4. 偏移

增益偏差

零位偏差



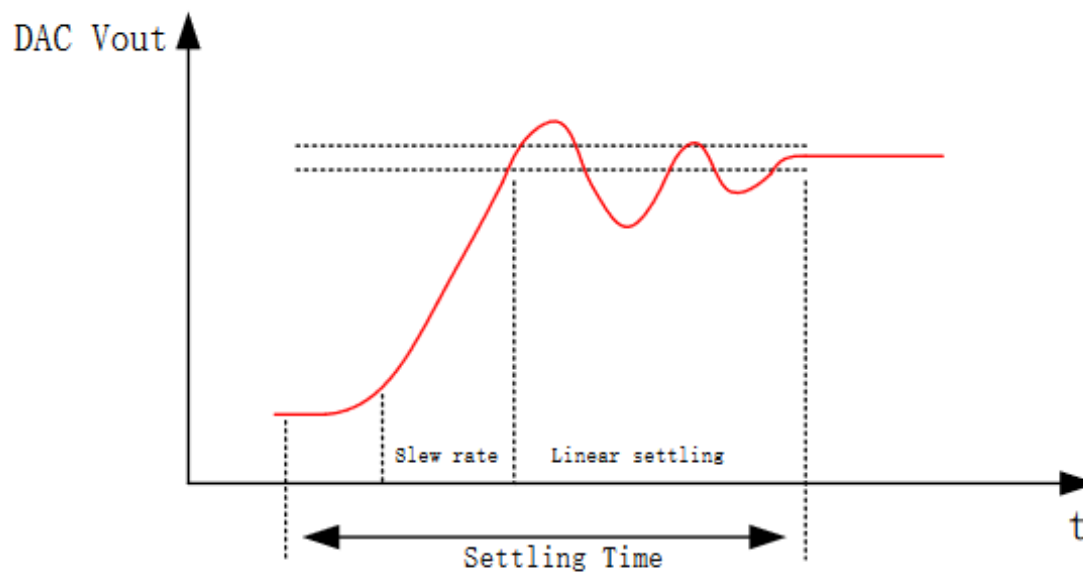
➤ D/A转换器的主要技术指标

5. 转换时间

建立时间 (Settling time)

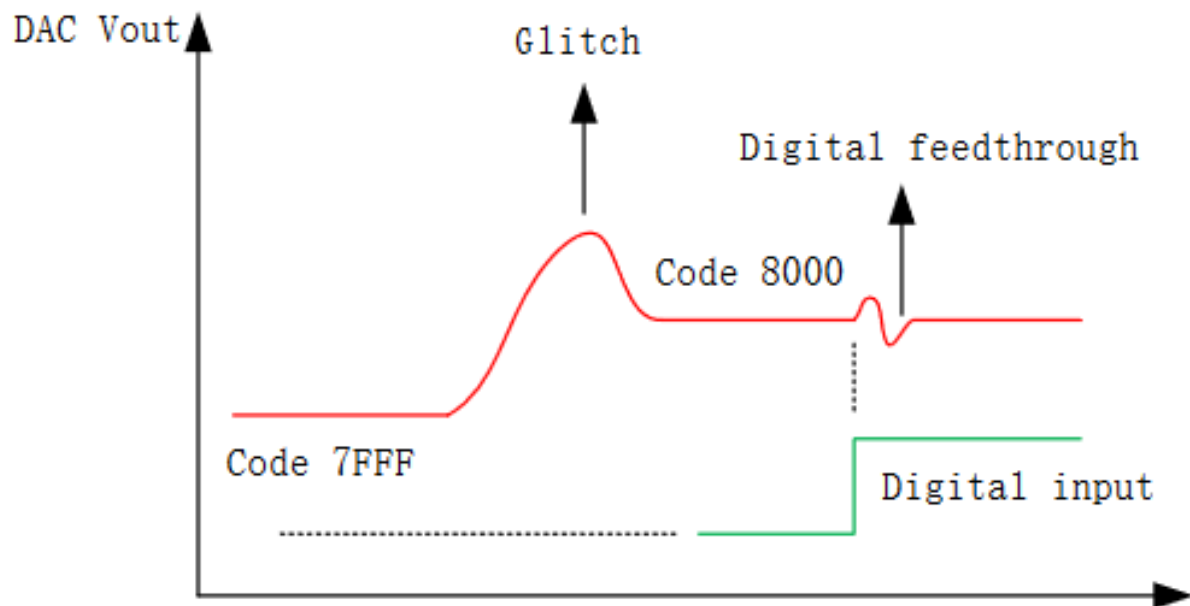
压摆率 slew rate

线性稳定时间 linear settling



➤ D/A转换器的主要技术指标

6. 毛刺



➤ D/A转换器的主要技术指标

7. 温度系数

- 在输入不变的情况下，输出模拟电压随温度变化产生的变化量。一般用满刻度输出条件下温度每升高 1°C ，输出电压变化的百分数作为温度系数。
- 单位为**PPM**，即温度上升或者下降1摄氏度时，输出的变化为百万分之几



➤ 内容概要

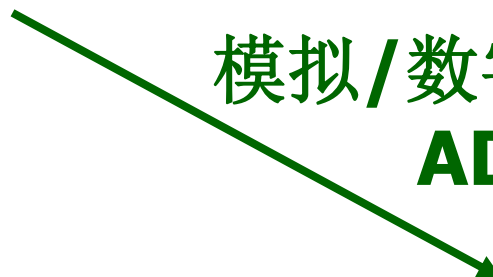
- 数字/模拟转换器**DAC** 的工作原理
- 模拟/数字转换器**ADC**的工作原理



模拟量



模拟/数字转换器
ADC



数字量



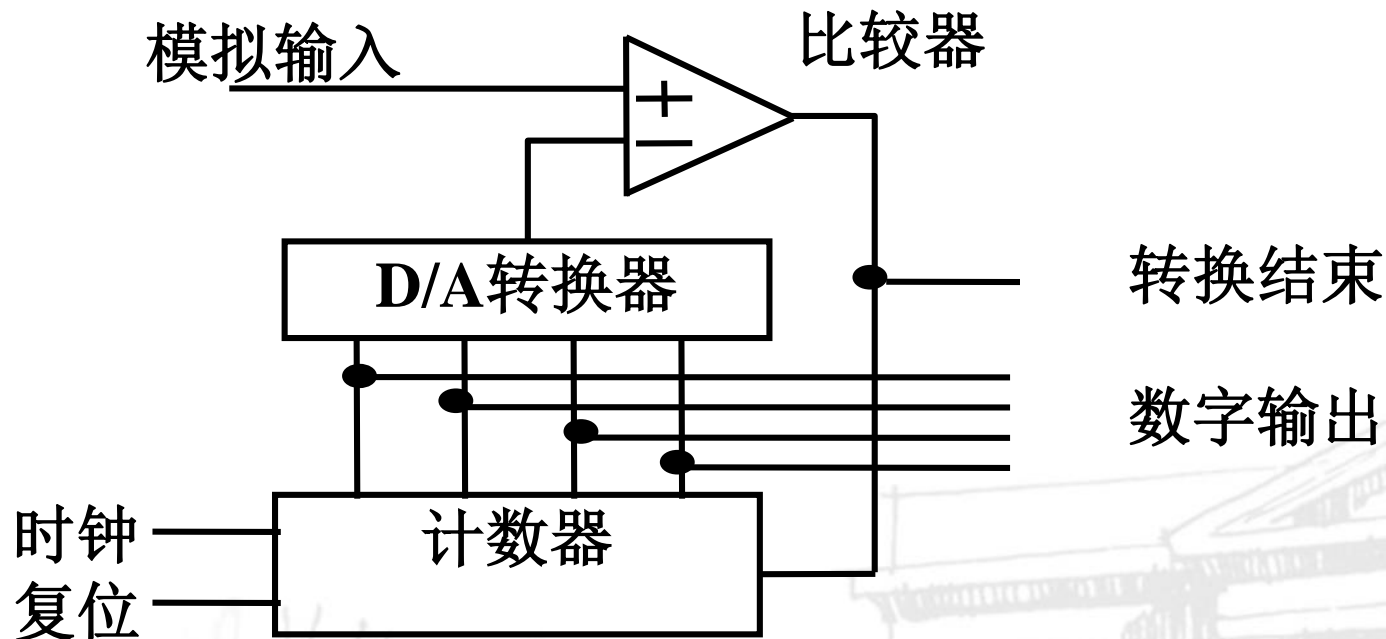
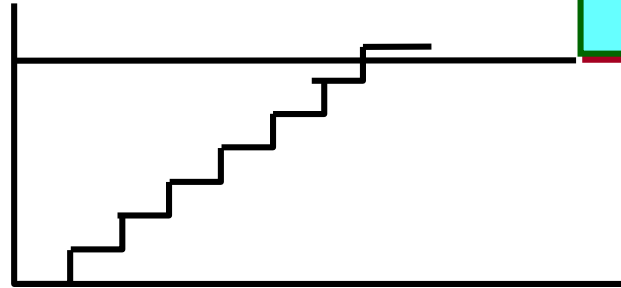
➤ A/D转换技术分类

- 计数器式
- 逐次逼近式
- 双积分式
- 并行式
- Delta-Sigma



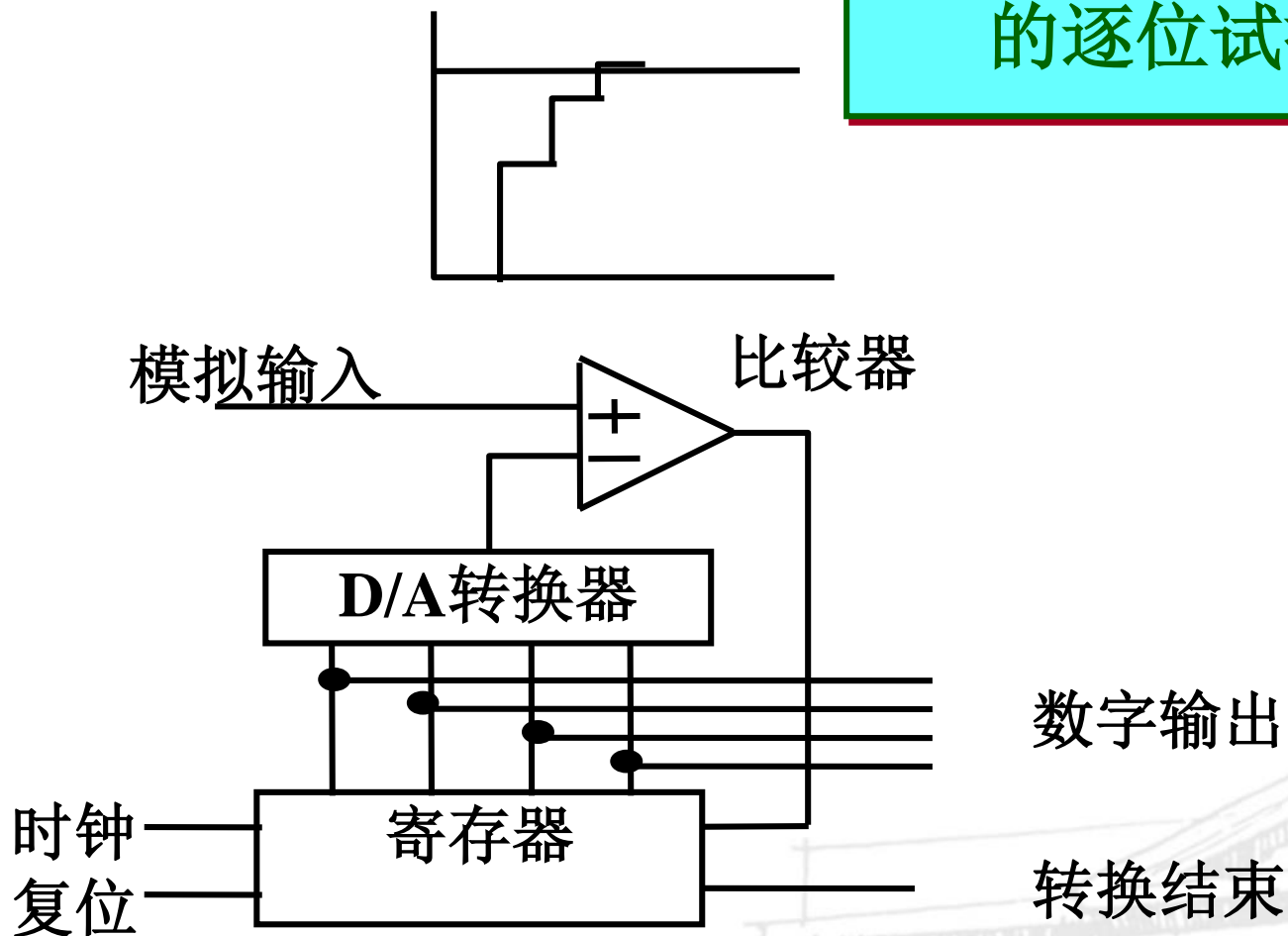
➤ 计数器式A/D转换器

以最低位为增减量
单位的逐步计数法



➤ 逐次逼近式A/D转换器

从最高位开始的
逐位试探法



➤ 逐次逼近式A/D转换器

— 其工作原理可用天平称重过程作比喻

- 若有四个砝码共重15克
- 每个重量分别为8、4、2、1克
- 设待称重量 $W_x = 13$ 克

顺序	砝码重	比较判断	暂时结果
1	8 g	$8\text{g} < 13\text{g}$, 保留	8 g
2	8 g + 4 g	$12\text{g} < 13\text{g}$, 保留	12 g
3	8 g + 4 g + 2 g	$14\text{g} > 13\text{g}$, 撤去	12 g
4	8 g + 4 g + 1 g	$13\text{g} = 13\text{g}$, 保留	13g

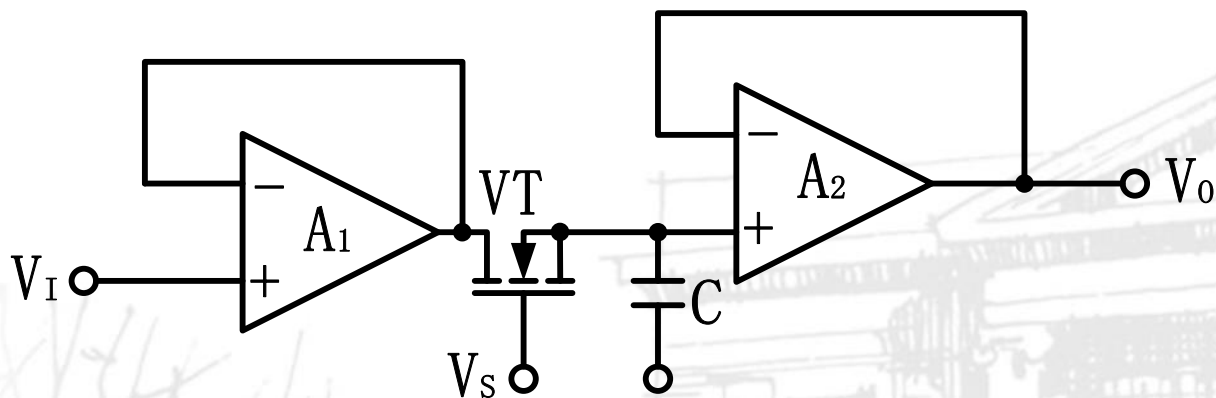
➤ 逐次逼近式A/D转换器

- DAC为4位
- 参考电压 $V_{REF} = 8V$
- 输入电压 $U_i = 5.52V$

顺序	d_3	d_2	d_1	d_0	$U_A(V)$	比较判断	“1”留否
1	1	0	0	0	4V	$U_A < U_I$	留
2	1	1	0	0	6V	$U_A > U_I$	去
3	1	0	1	0	5V	$U_A < U_I$	留
4	1	0	1	1	5.5V	$U_A \approx U_I$	留

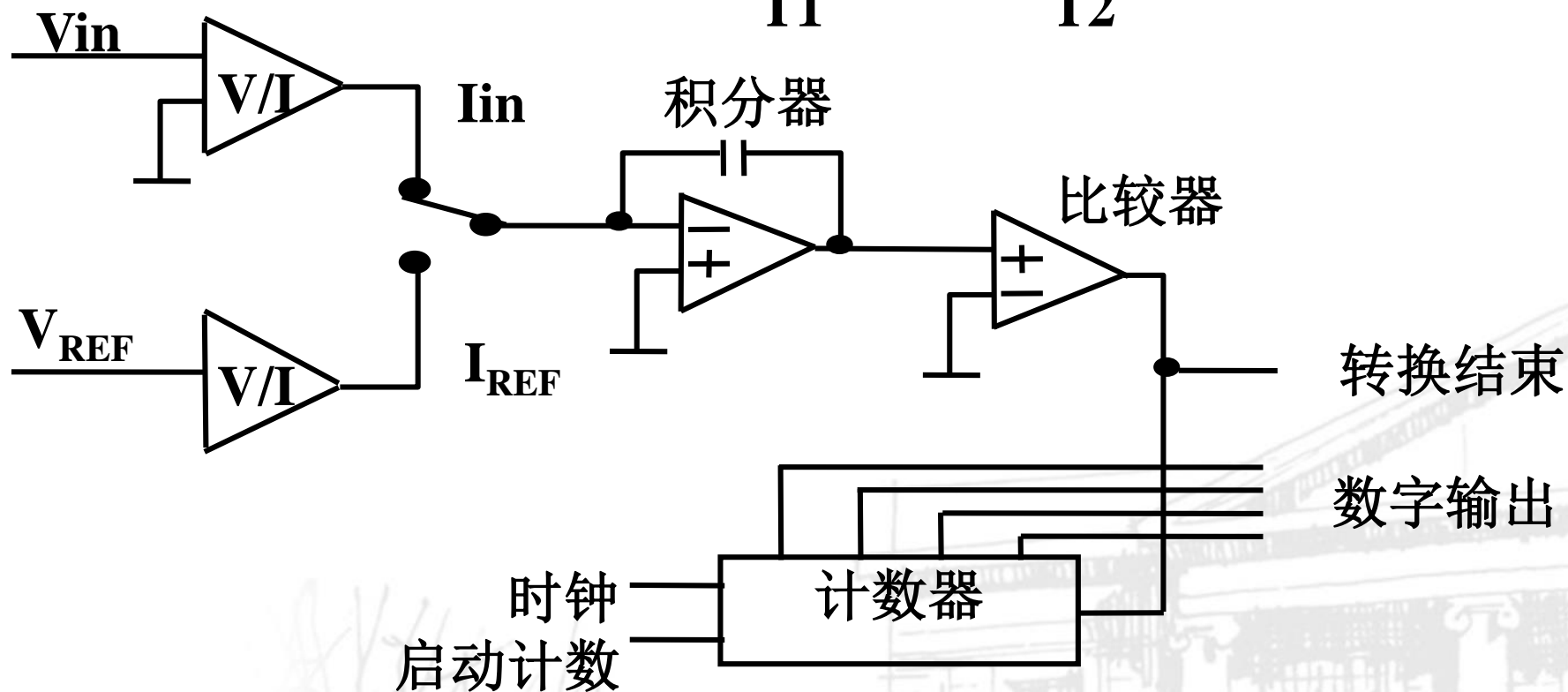
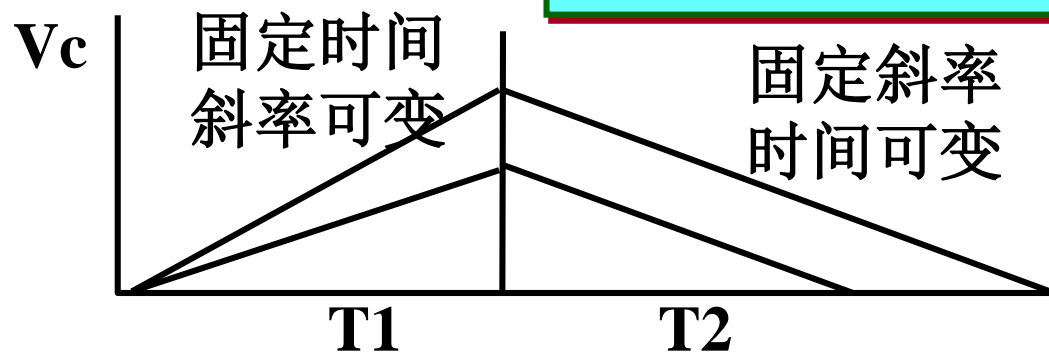
➤ 逐次逼近式A/D转换器——采样和保持

- 逐次逼近式ADC转换过程中，需要多次比较才能得到最终结果。
- 在比较的过程中，输入电压 U_i 需要保持不变
- ADC的模拟-数字转换需经过四个步骤：采样、保持、量化、编码
- 一般前两步由采样-保持电路完成，量化和编码由ADC完成



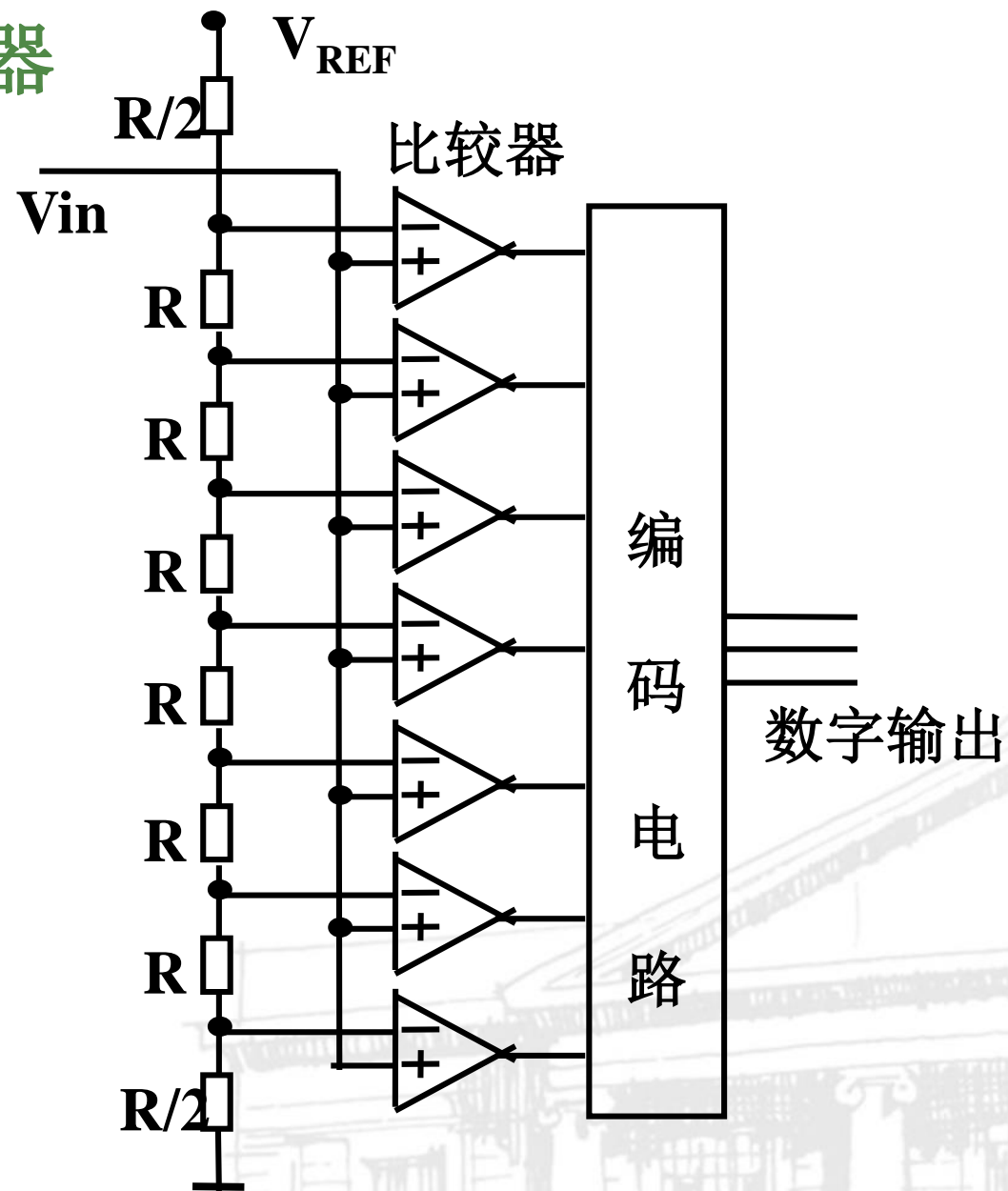
两个积分阶段
实质是电压/时间变换

➤ 双积分式A/D转换器

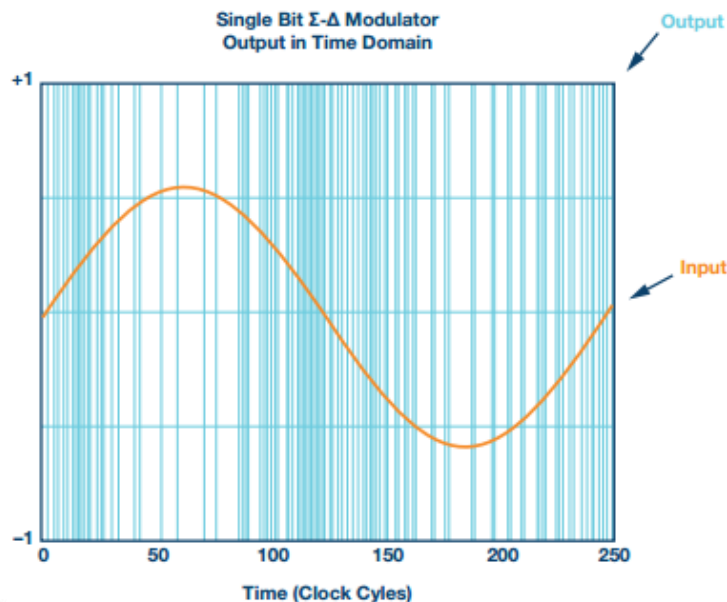
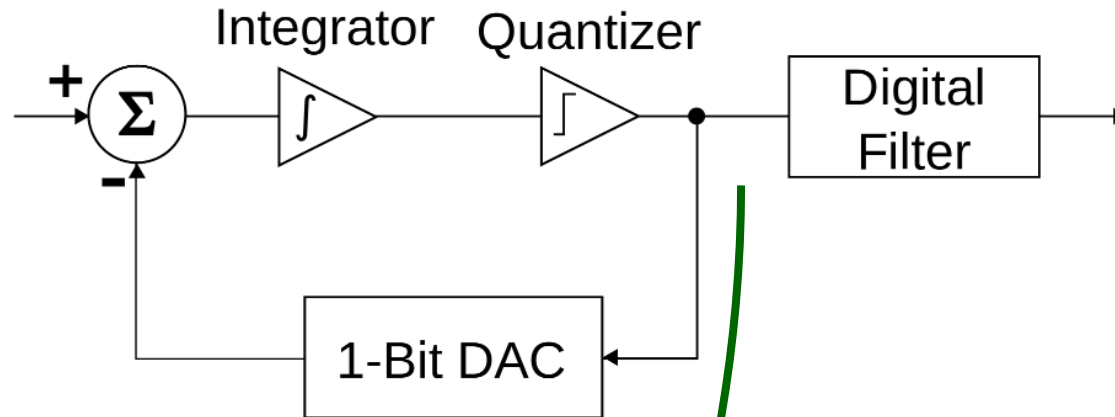


➤ 并行式A/D转换器

速度快
成本高
直接比较法



➤ Delta-Sigma转换器



- 高采样频率（**过采样**）+ **低通滤波器**
- **低分辨力**的ADC完成了**高分辨力**AD变换
- 把高比特清晰度低频率信号用**脉冲密度调制**编码为低比特清晰度高频信号的一种方法

➤ A/D 转换器的主要技术指标

1. 分辨率

以输出二进制数的位数表示分辨率。位数越多，误差越小，转换精度越高。

2. 转换速度

完成一次A/D转换所需要的时间，即从它接到转换控制信号起，到输出端得到稳定的数字量输出所需要的时间。

3. 精度

精度是反映转换器的实际输出接近理想输出的精确程度的物理量。实际转换值和理想特性之间的最大偏差。

4. 量化误差 (Quantizing Error)

由于AD的有限分辨率而引起的误差，即有限分辨率AD的阶梯状转移特性曲线与无限分辨率AD（理想AD）的转移特性曲线（直线）之间的最大偏差。通常是1个或半个最小数字量的模拟变化量，表示为1LSB、1/2LSB。

5. 偏移误差(Offset Error)

输入信号为零时输出信号的值。

6. 满刻度误差(Full Scale Error)

满度输出时对应的输入信号与理想输入信号值之差。

7. 线性度(Linearity)

实际转换器的转移函数与理想直线的最大偏移。



➤ 作业

- 如果12位逐次逼近ADC的参考电压为3.3V，转换的结果为0x101，那么输入电压是多少伏？



谢谢！

