

9 数模与模数转换器

Analog Digital Converter and Digital Analog Converter

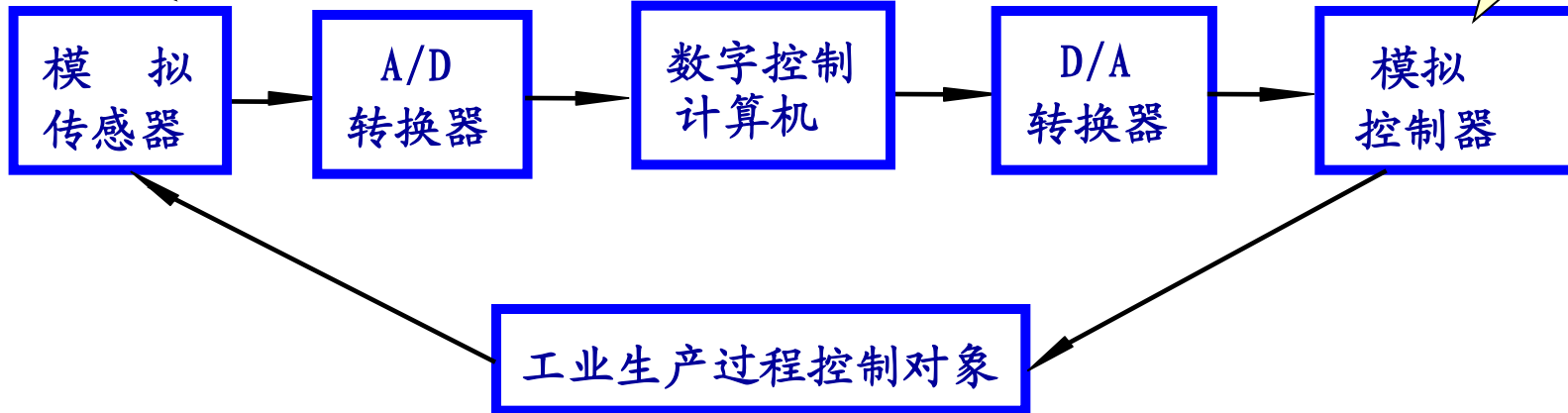
教学基本要求

- 1、掌握倒T形电阻网络D/A转换器(DAC)、集成D/A转换器7520的工作原理及相关计算。
- 2、掌握并行比较、逐次比较、双积分A/D转换器(ADC)的工作原理及其特点。
- 3、正确理解D/A、A/D转换器的主要参数。

将温度、压力、流量、应力等物理量转换为模拟电量。

计算机进行数字处理（如计算、滤波）、保存等

用模拟量作为控制信号



ADC和DAC已成为计算机系统中不可缺少的接口电路。

9.1 D/A转换器

1. 概述

1、数 / 模转换器:

将数字量转换为与之成正比模拟量。

$$A = KD \longrightarrow v_O = -K N_B$$





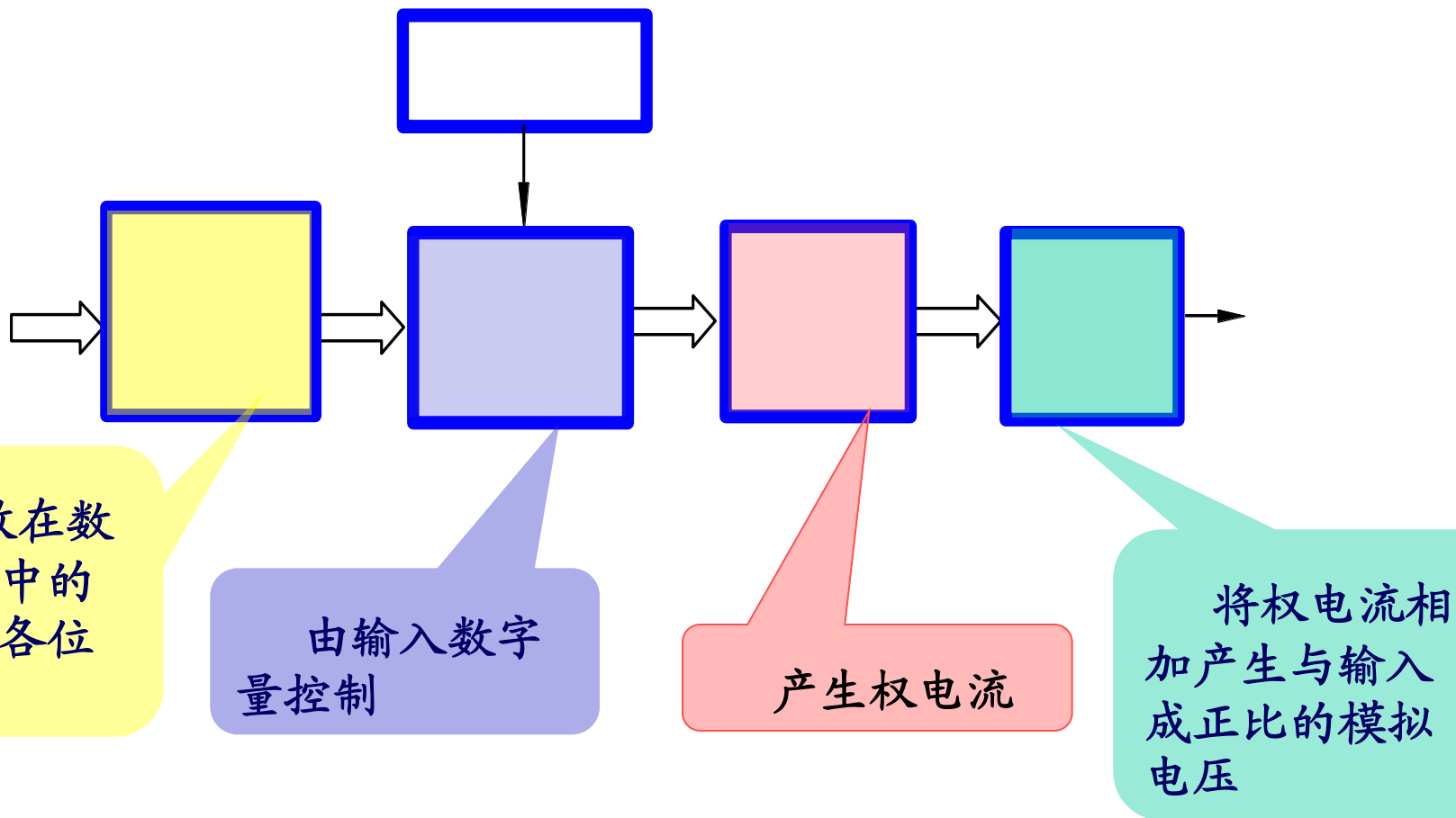
2. 实现D/A转换的基本思想

将二进制数 $N_D = (11001)_B$ 转换为十进制数。

$$\begin{aligned} N_D &= b_4 \times 2^4 + b_3 \times 2^3 + b_2 \times 2^2 + b_1 \times 2^1 + b_0 \times 2^0 \\ &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \end{aligned}$$

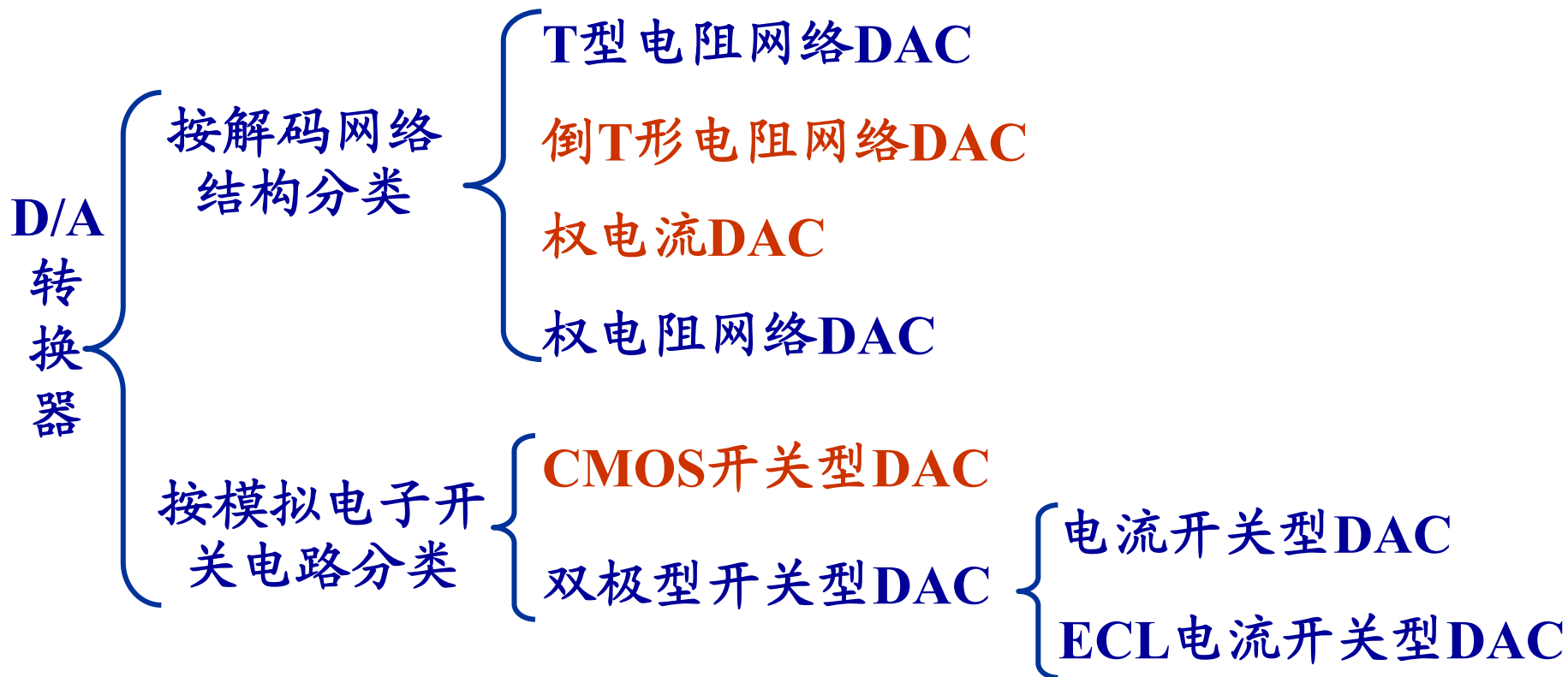
数字量是用代码按数位组合而成的,对于有权码,每位代码都有一定的权值,如能将每一位代码按其权的大小转换成相应的模拟量,然后,将这些模拟量相加,即可得到与数字量成正比的模拟量,从而实现数字量--模拟量的转换。

3. D/A转换器的组成:



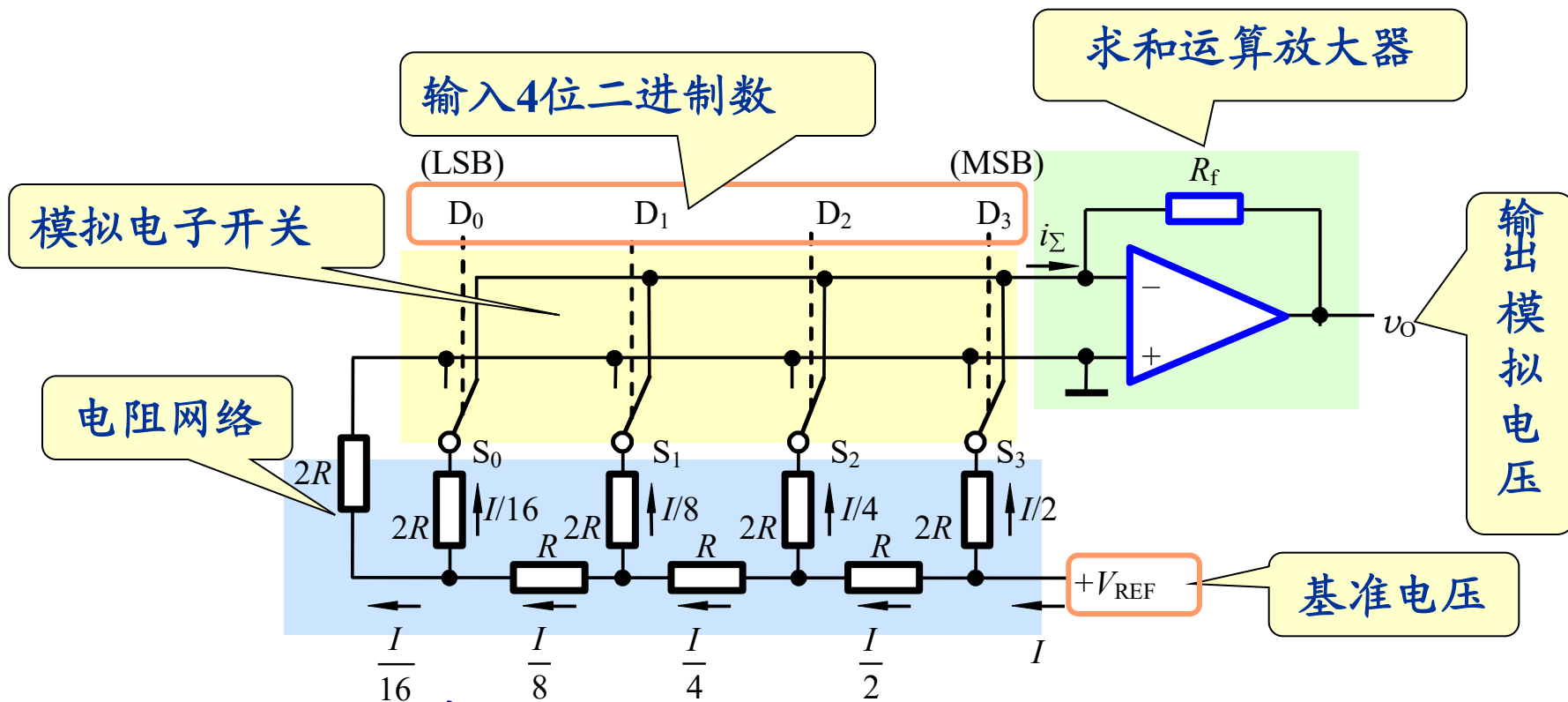
DAC的数字数据可以并行输入也可串行输入

4. D/A转换器的分类:



9.1.1 倒T形电阻网络D/A转换器

1、原理电路



• 电阻网络

根据运放线性转换原理的概念可知，无论模拟开关 S_i 处于何种位置，与 S_i 相连的 $2R$ 电阻将接“地”或虚地。

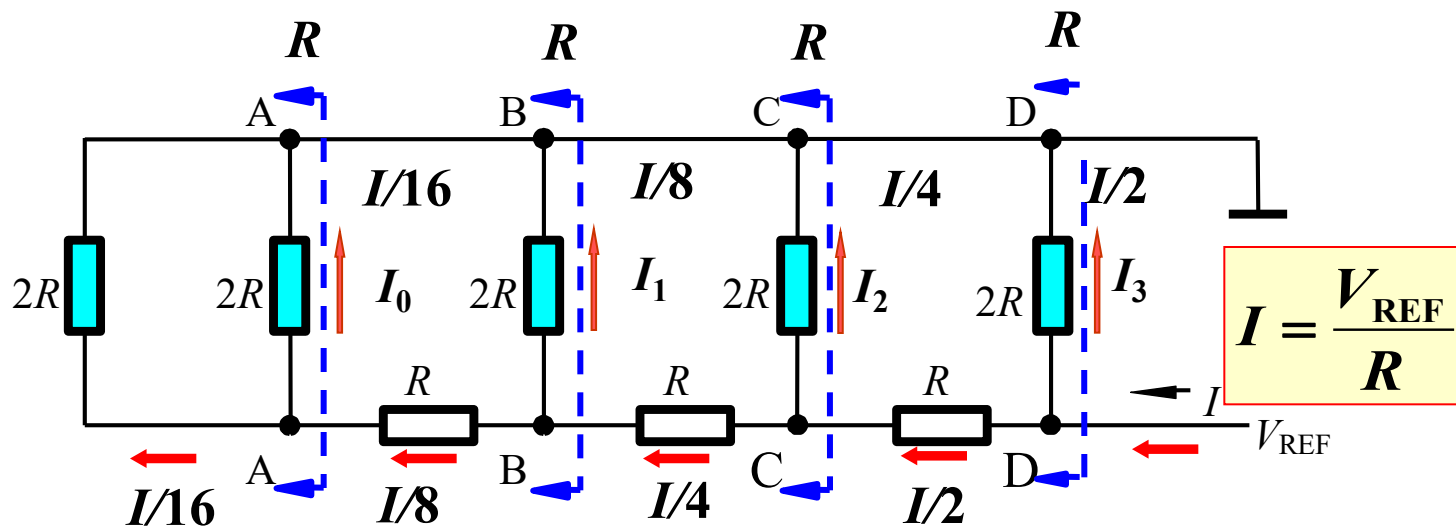
• 求和运算放大器

9.1倒T形电阻网络D/A转换器

2、D/A转换器的倒T形电阻网络

流过各开关支路的电流: $I_3 = ?$ $I_2 = ?$ $I_1 = ?$ $I_0 = ?$

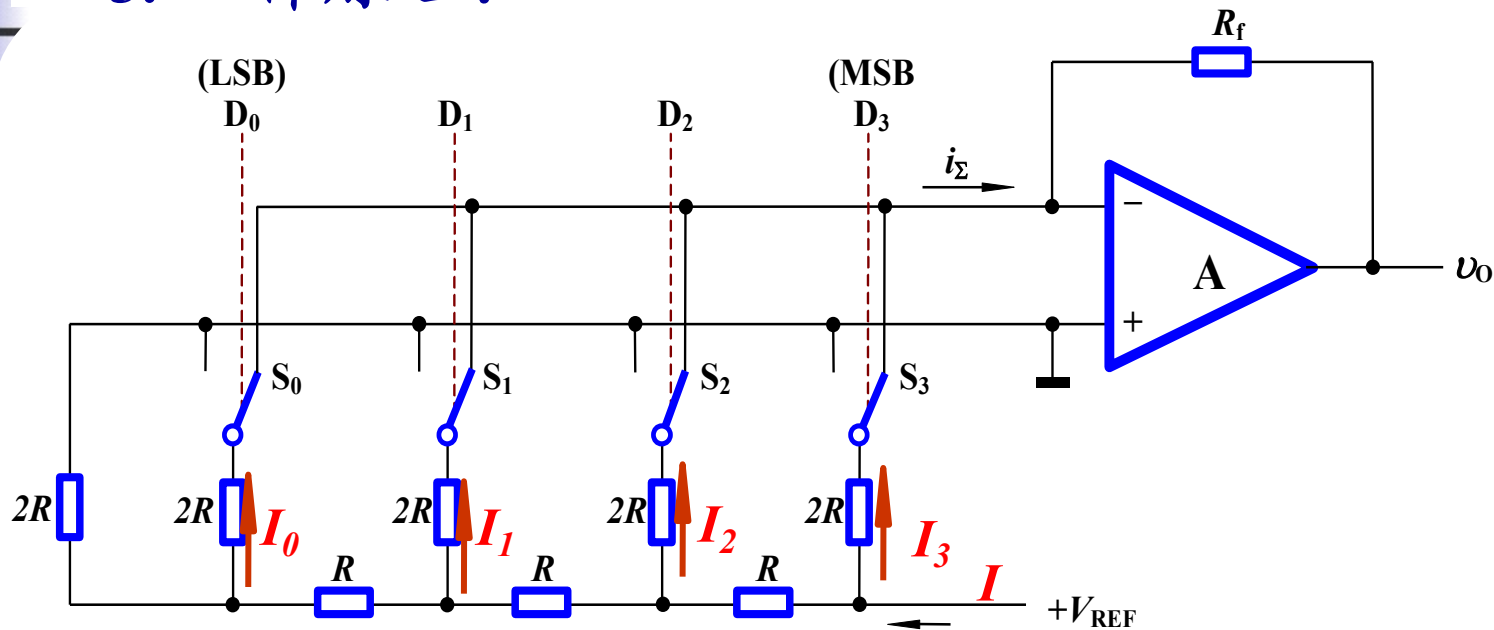
基准电源 V_{REF} 提供的总电流为: $I = ?$



流入每个 $2R$ 电阻的电流从高位到低位按2的整数倍递减。

$$I_3 = V_{REF} / 2R \quad I_2 = V_{REF} / 4R \quad I_1 = V_{REF} / 8R \quad I_0 = V_{REF} / 16R$$

3. 工作原理:



流入运放的总电流: $i_\Sigma = I_0 + I_1 + I_2 + I_3$

$$= \frac{V_{REF}}{R} \left(\frac{D_0}{2^4} + \frac{D_1}{2^3} + \frac{D_2}{2^2} + \frac{D_3}{2^1} \right)$$

输出模拟电压:

$$v_O = -i_\Sigma R_f = -\frac{R_f}{R} \cdot \frac{V_{REF}}{2^4} \sum_{i=0}^3 (D_i \cdot 2^i)$$

$$v_O = -\frac{V_{REF}}{2^n} \cdot \frac{R_f}{R} \left[\sum_{i=0}^{n-1} (D_i \cdot 2^i) \right]$$



4 位倒T形电阻网络DAC的输出模拟电压:

$$v_O = -i_{\Sigma} R_f = -\frac{R_f}{R} \cdot \frac{V_{\text{REF}}}{2^4} \sum_{i=0}^3 (D_i \cdot 2^i)$$

n 位倒T形电阻网络DAC有:

$$v_O = -\frac{V_{\text{REF}}}{2^n} \cdot \frac{R_f}{R} \left[\sum_{i=0}^{n-1} (D_i \cdot 2^i) \right]$$

$$\text{令: } K = \frac{V_{\text{REF}}}{2^n} \cdot \frac{R_f}{R}, \quad N_B = \sum_{i=0}^{n-1} (D_i \cdot 2^i)$$

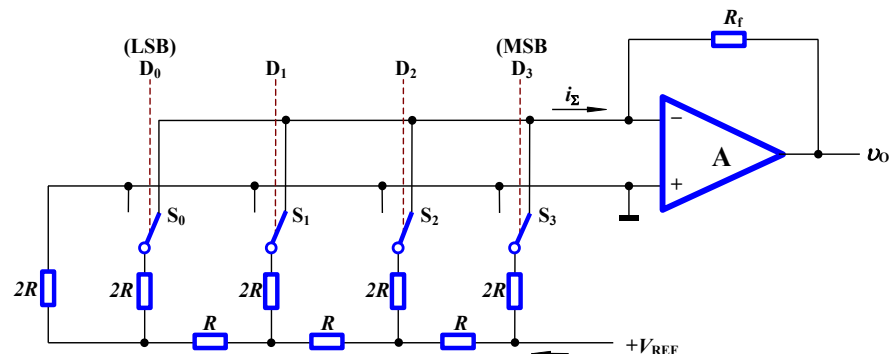
$$\text{则 } v_O = -K N_B$$

在电路中输入的每一个二进制数 N_B ，均能得到与之成正比的模拟电压输出。

关于D/A转换器精度的讨论

为提高D/A转换器的精度，对电路参数的要求：

$$v_O = -\frac{V_{REF}}{2^n} \cdot \frac{R_f}{R} \left[\sum_{i=0}^{n-1} (D_i \cdot 2^i) \right]$$



(1) 基准电压稳定性好；

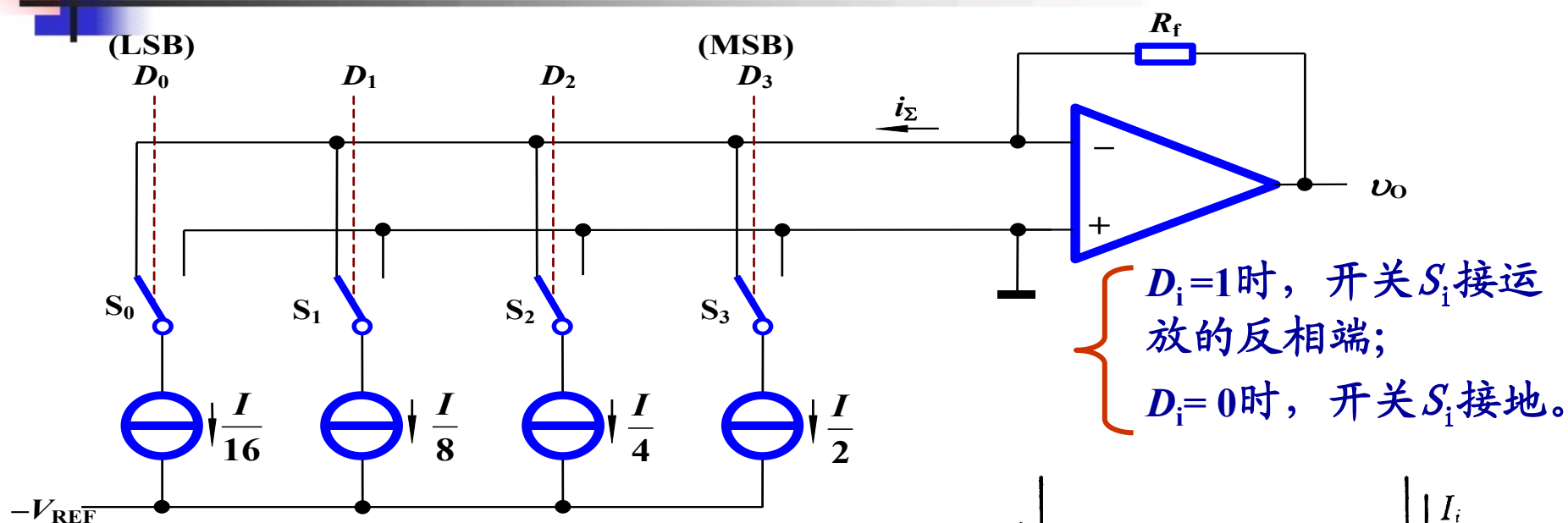
(2) 倒T形电阻网络中 R 和 $2R$ 电阻比值的精度要高；

(3) 每个模拟开关的开关电压降要相等

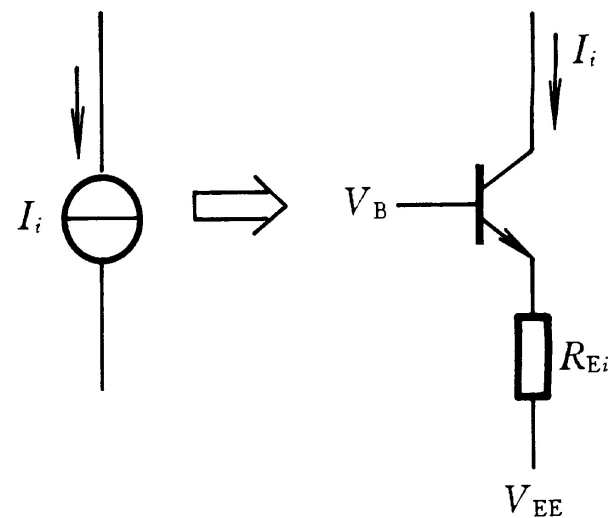
(3) 为实现电流从高位到低位按2的整数倍递减，模拟开关的导通电阻也相应地按2的整数倍递增。

为进一步提高D/A转换器的精度，可采用权电流型D/A转换器。

电路



$$\begin{aligned}
 v_o &= -i_\Sigma R_f = -R_f \left(\frac{I}{2} D_3 + \frac{I}{4} D_2 + \frac{I}{8} D_1 + \frac{I}{16} D_0 \right) \\
 &= \frac{I}{2^4} \cdot R_f (D_3 \cdot 2^3 + D_2 \cdot 2^2 + D_1 \cdot 2^1 + D_0 \cdot 2^0) \\
 &= \frac{I}{2^4} \cdot R_f \sum_{i=0}^3 D_i \cdot 2^i
 \end{aligned}$$

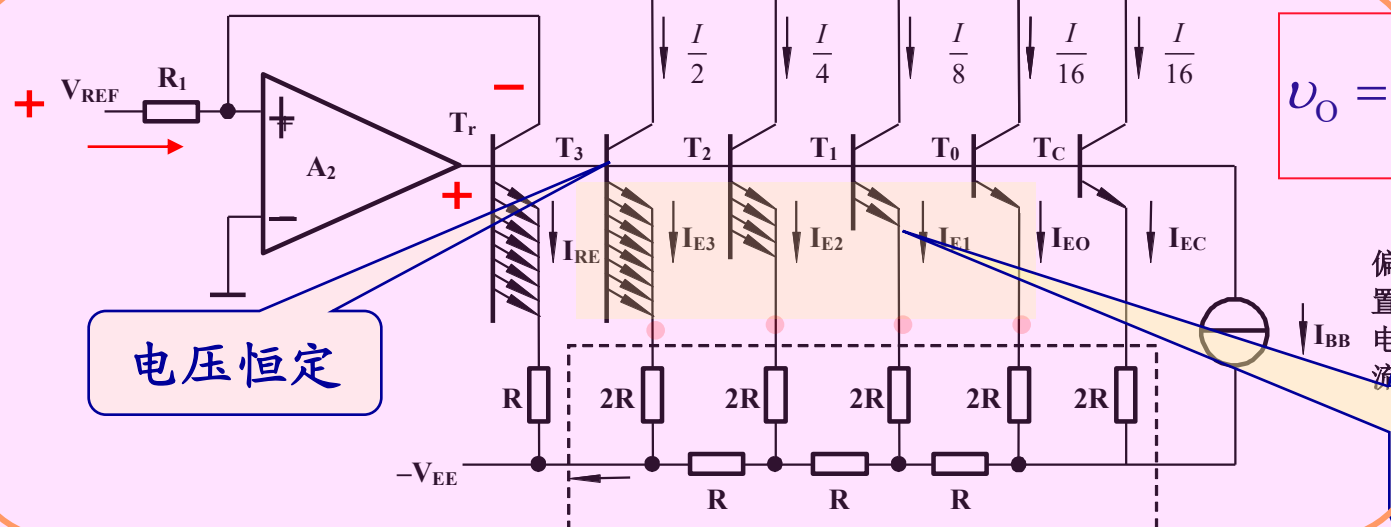
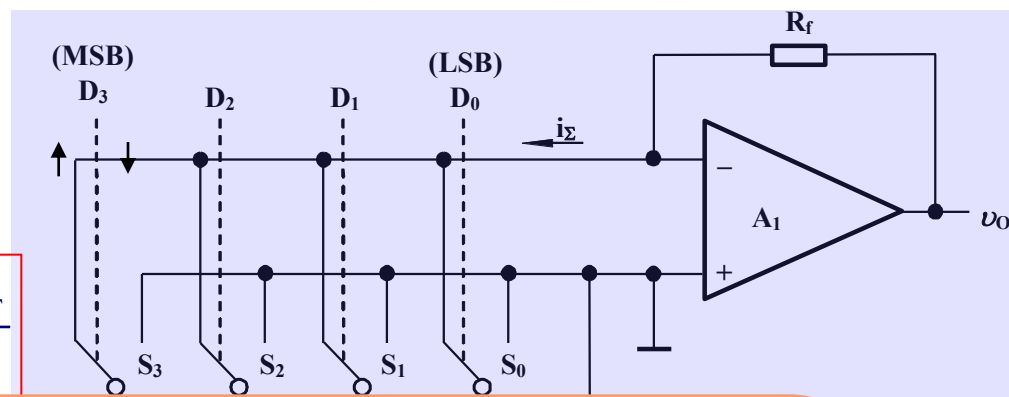


在恒流源电路中，各支路权电流的大小均不受开关导通电阻和压降的影响，这样降低了对开关电路的要求，提高了转换精度。

实际的权电流D/A转换器电路

基准电流产生电路

$$I_{REF} = \frac{V_{REF}}{R_1}$$



电压恒定

$$v_O = -\frac{V_{REF}}{R_1} \cdot \frac{R_f}{2^n} \sum_{i=0}^{n-1} D_i \cdot 2^i$$

偏置电流

各BJT的发射结电压相等

$$v_O = i_{\Sigma} R_f = \frac{R_f V_{REF}}{2^4 R_1} (D_3 \cdot 2^3 + D_2 \cdot 2^2 + D_1 \cdot 2^1 + D_0 \cdot 2^0)$$

9.1.3 D/A转换器的输出方式

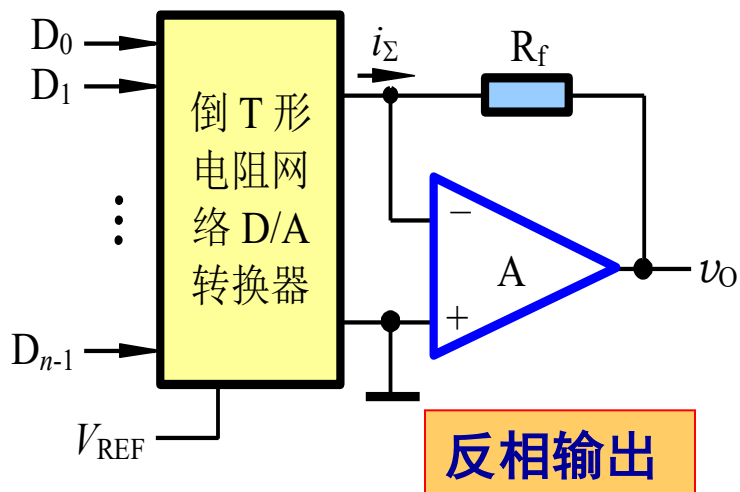
表10.1.1 8位D/A转换器在单极性输出时的输入/输出关系

D_7	D_6	D_5	D_4	D_3	D_2	D_1	D_0	模拟量
1	1	1	1	1	1	1	1	$\pm V_{ref} (\frac{255}{256})$
\vdots								
1	0	0	0	0	0	0	1	$\pm V_{ref} (\frac{129}{256})$
1	0	0	0	0	0	0	0	$\pm V_{ref} (\frac{128}{256})$
0	1	1	1	1	1	1	1	$\pm V_{ref} (\frac{127}{256})$
\vdots								
0	0	0	0	0	0	0	1	$\pm V_{ref} (\frac{1}{256})$
0	0	0	0	0	0	0	0	$\pm V_{ref} (\frac{0}{256})$

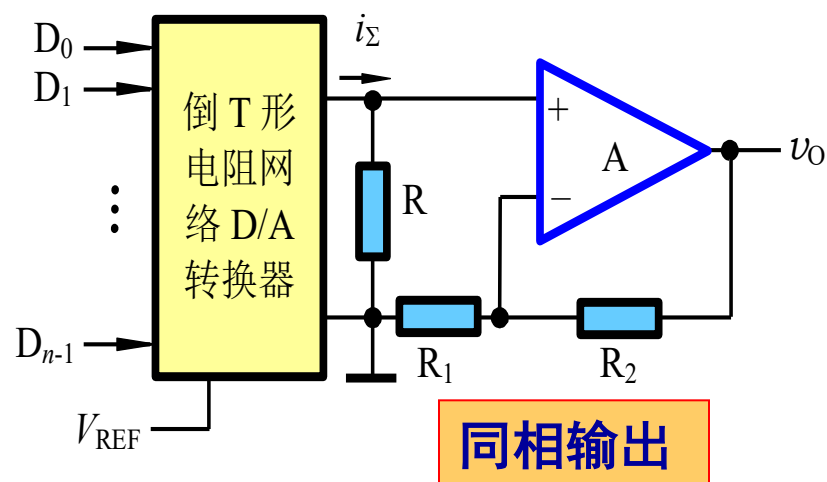
9.1.3 D/A转换器的输出方式

1. 单极性输出方式

倒T形电阻网络D/A转换器单极性电压输出的电路



$$v_O = -i_\Sigma R_f$$



$$v_O = i_\Sigma R (1 + R_2 / R_1)$$

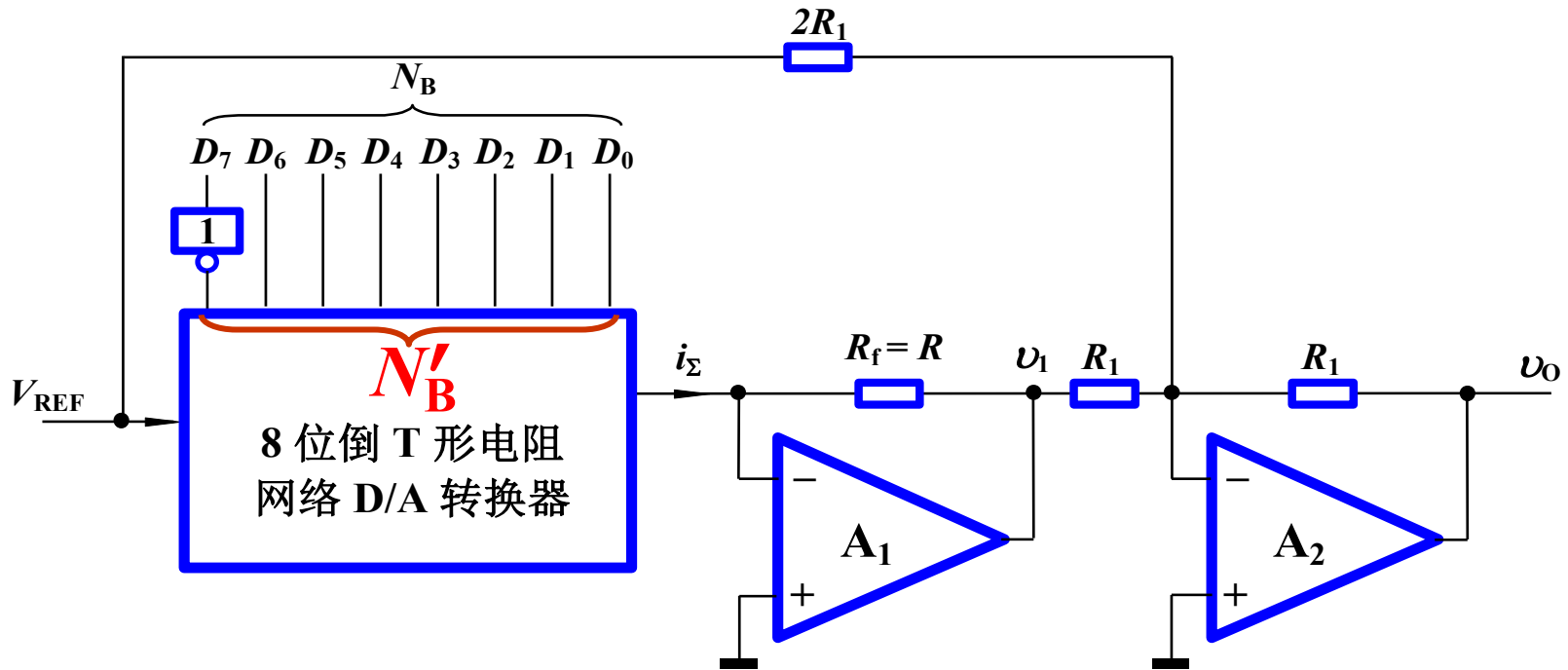
9.1.3 D/A转换器的输出方式

双极性输出的8位D/A转换器输入与输出关系

十进制数	2的补码	偏移二进制码	模拟量
	$D_7 D_6 D_5 D_4 D_3 D_2 D_1 D_0$	$D_7 D_6 D_5 D_4 D_3 D_2 D_1 D_0$	V_O/V_{LS} B
127	0 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	127
126	0 1 1 1 1 1 1 0	1 1 1 1 1 1 1 0	126
...			
-1	1 1 1 1 1 1 1 1	0 1 1 1 1 1 1 1	-1
...			
-127	1 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 1	-127
-128	1 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	-128

9.1.3 D/A转换器的输出方式

双极性输出的8位D/A转换器

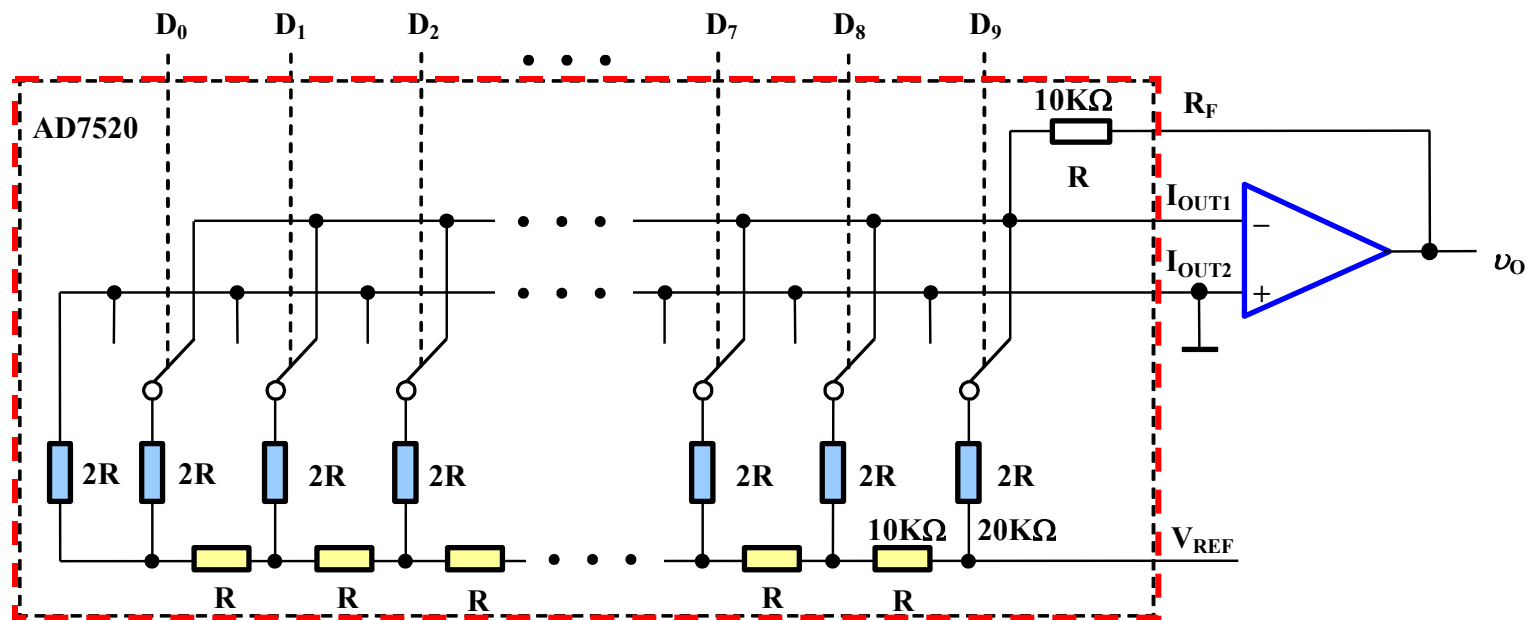


$$v_1 = -\frac{V_{\text{REF}}}{2^8} N'_B = -\frac{V_{\text{REF}}}{2^8} (N_B + 2^7)$$

$$v_O = -v_1 - \frac{1}{2} V_{\text{REF}} = \left(\frac{N_B V_{\text{REF}}}{2^8} + \frac{V_{\text{REF}}}{2} \right) - \frac{V_{\text{REF}}}{2} = V_{\text{REF}} \cdot \frac{N_B}{256}$$

9.1.5 集成D/A转换器及其应用

1. AD7520D/A转换器 10位CMOS电流开关型D/A转换器

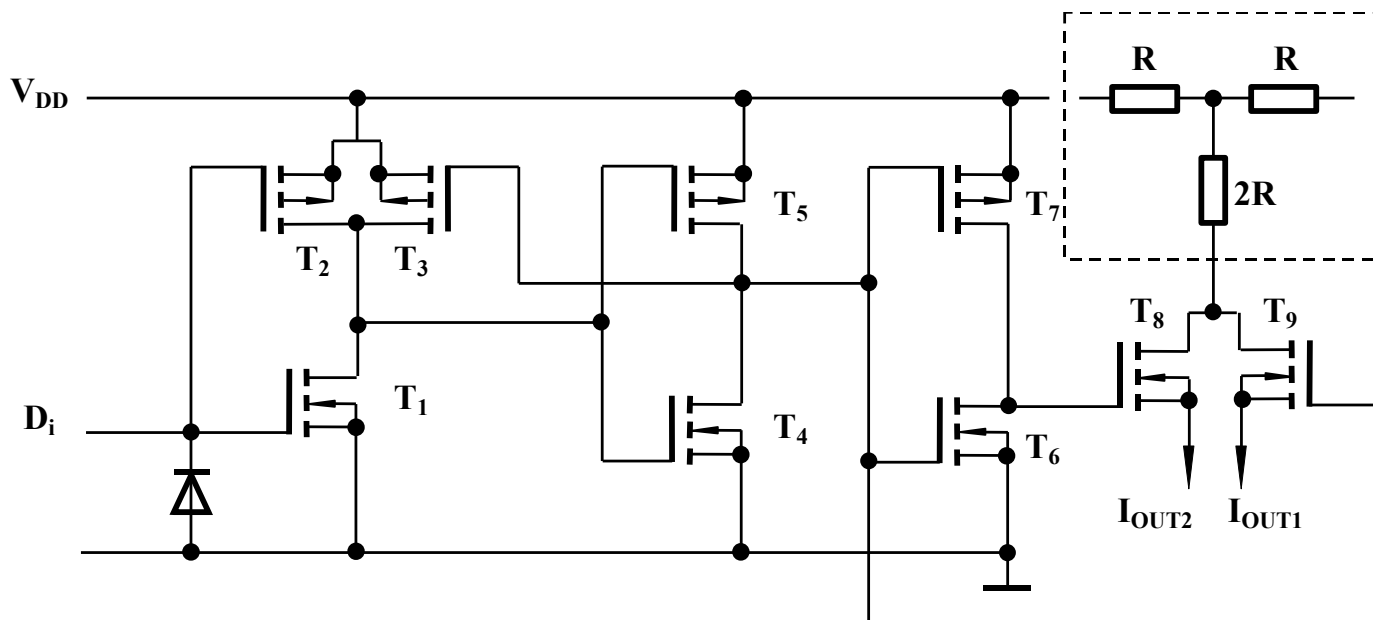


使用: 1) 要外接运放, 2) 运放的反馈电阻可使用内部电阻, 也可采用外接电阻 (接在 v_o 和 $I_{(OUT1)}$ 间)

$$v_o = -\frac{V_{REF}}{2^{10}} \cdot \frac{R_f}{R} \left[\sum_{i=0}^9 (D_i \cdot 2^i) \right]$$

9.1.5 集成D/A转换器及其应用

1. AD7520D/A转换器中的1位CMOS模拟开关电路

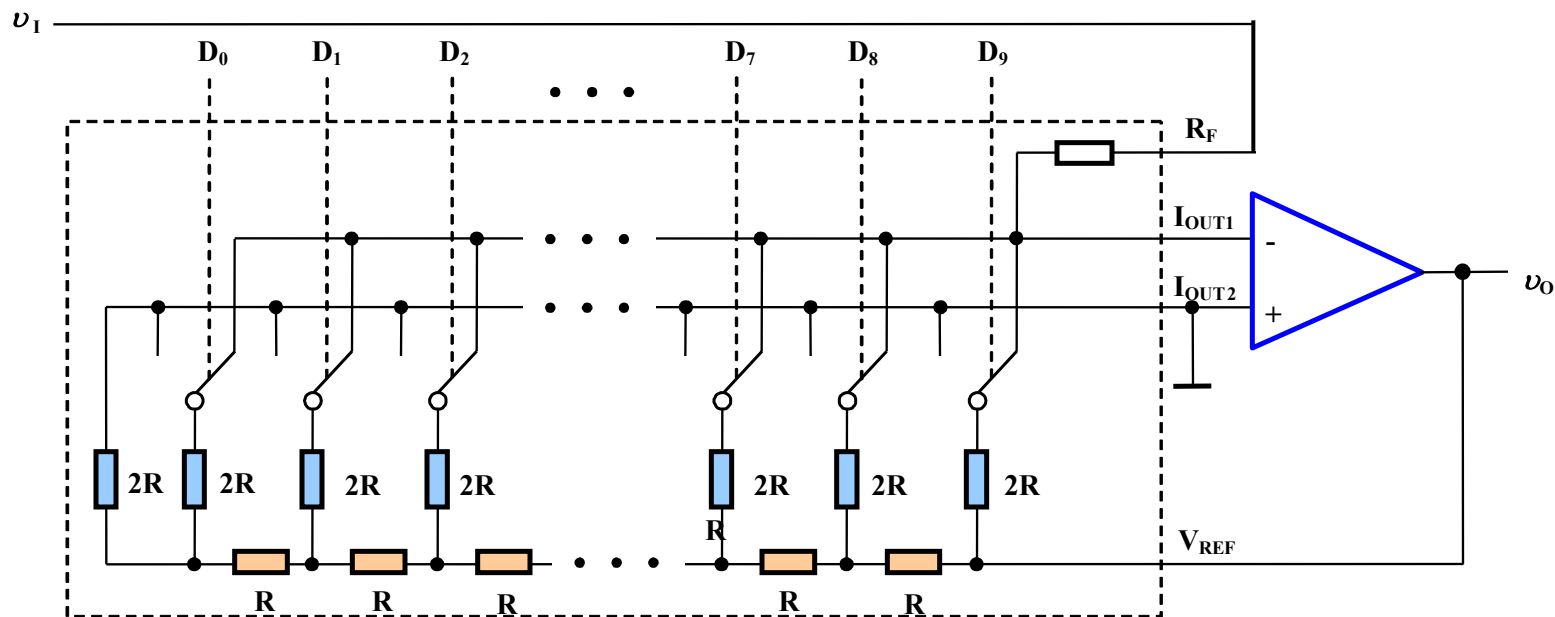


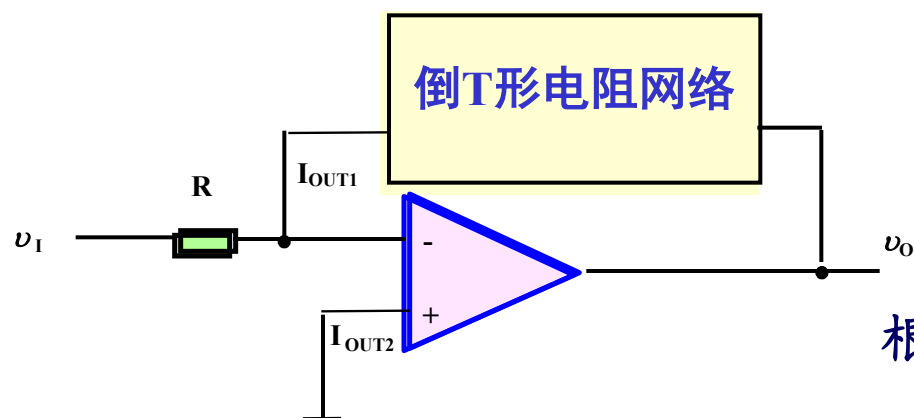
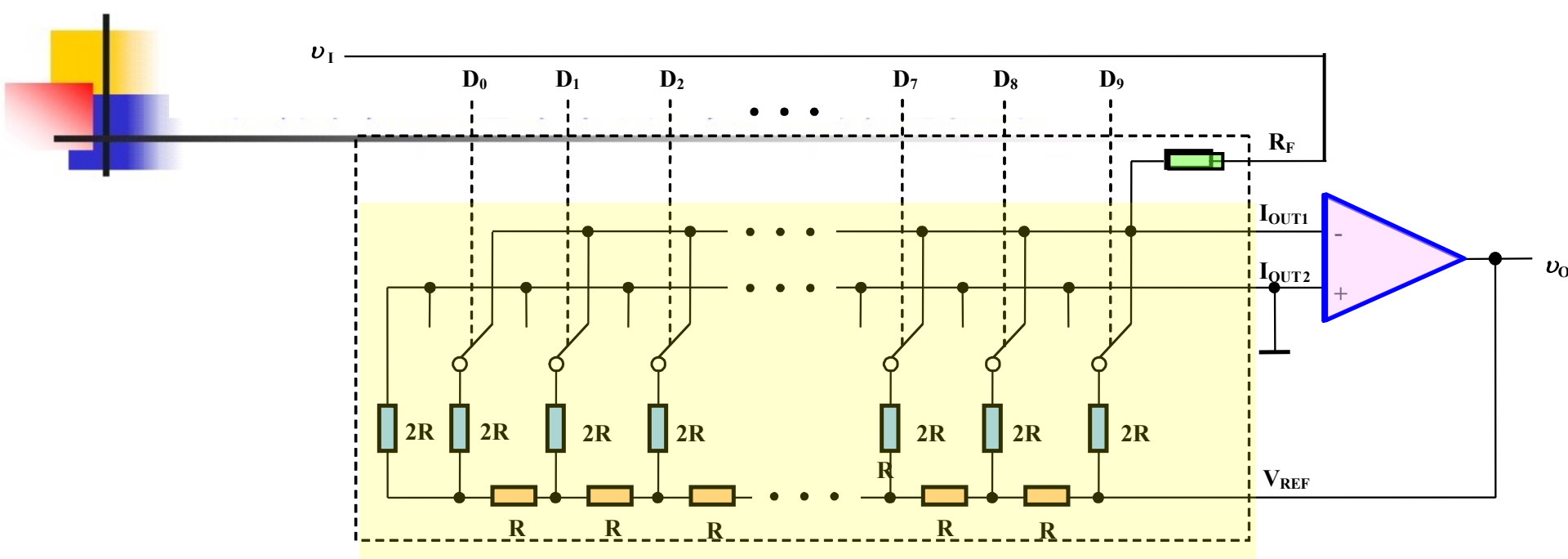
优点：

使用简便、功耗低、转换速度较快、温度系数小、通用性强。

3、集成D/A转换器的应用

1、) 数字式可编程增益控制电路





$$I_{out1} = I_0 + I_1 + I_2 + \dots I_9$$

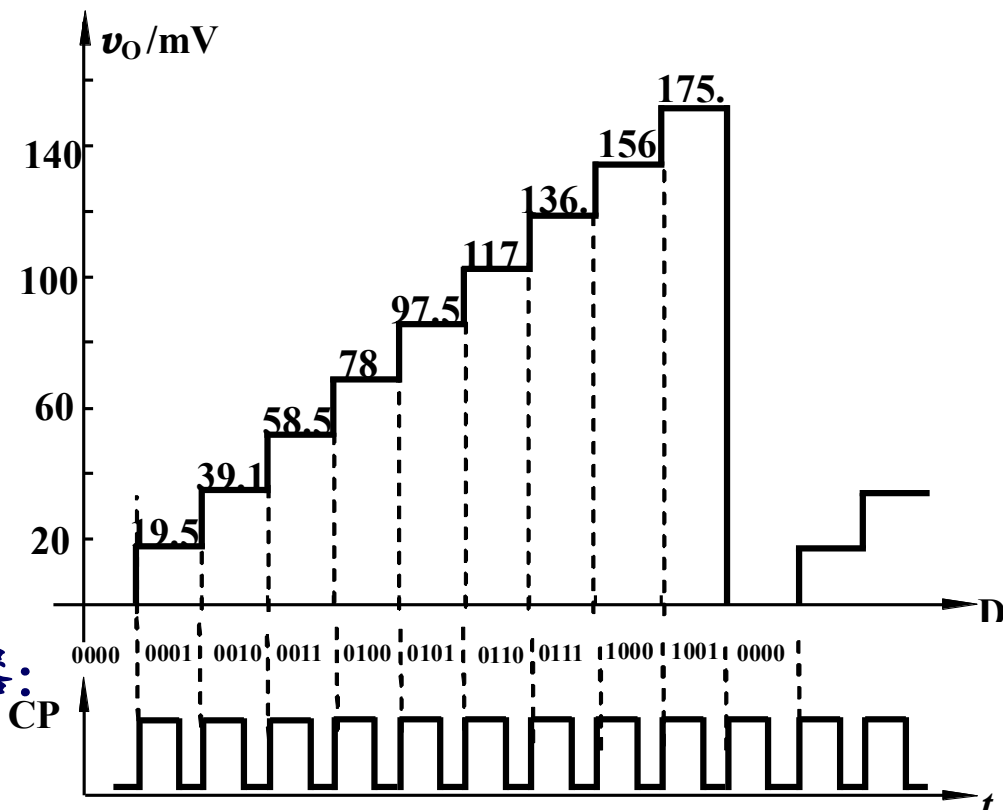
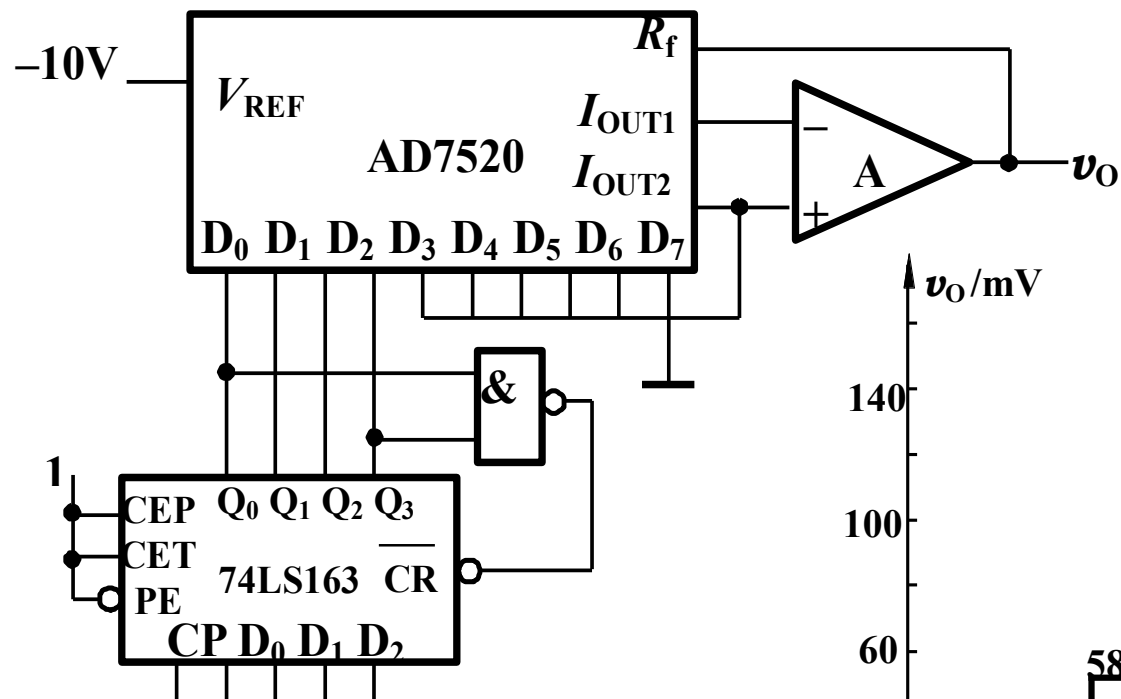
$$= V_{REF} (D_0 2^0 + D_1 2^1 + \dots D_9 2^9) / 2^{10} R$$

根据虚断有: $v_I / R = I_{OUT1}$ $v_o = V_{REF}$

$$v_I / R = -v_O (D_0 2^0 + D_1 2^1 + \dots D_9 2^9) / 2^{10} R$$

$$A_V = \frac{v_O}{v_I} = -2^{10} / (D_0 2^0 + D_1 2^1 + \dots D_9 2^9)$$

2、) 脉冲波产生电路



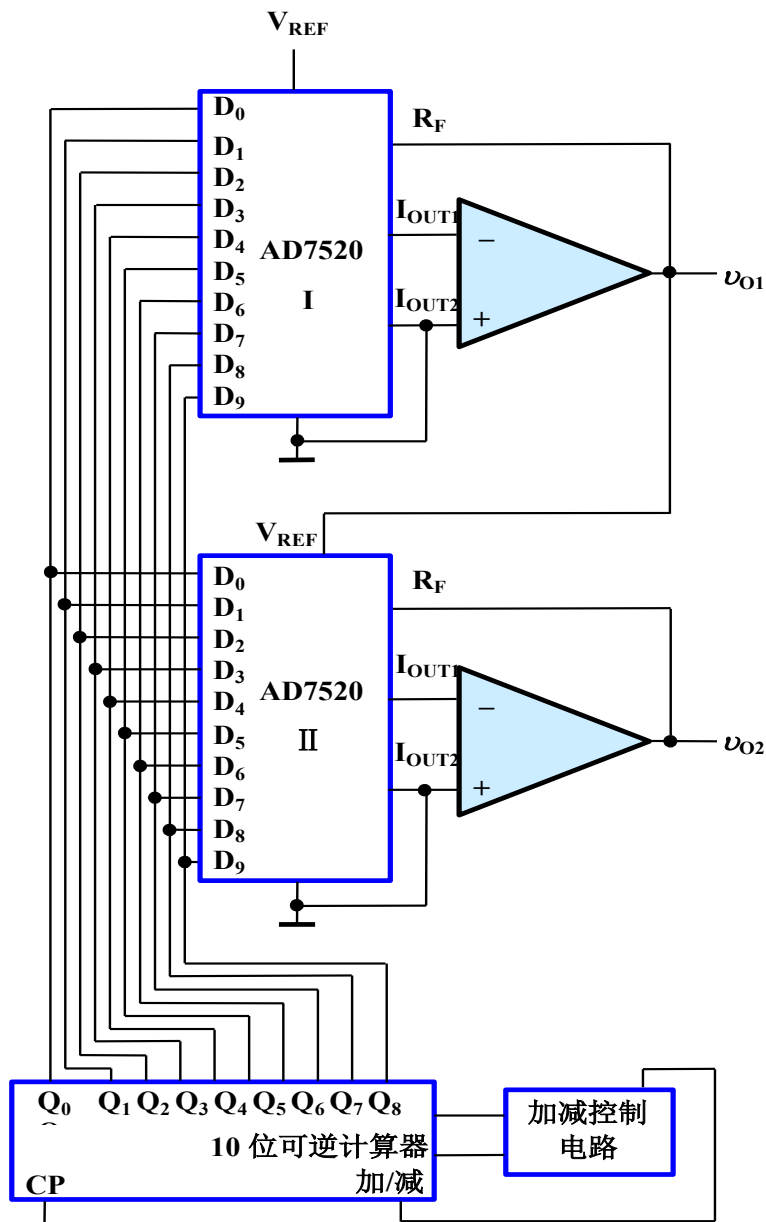
74163具同步清零功能

74163和与非门构成十进制计数器:
0000~1001

015 集成D/A转换器及其应用

2、

三电路



$$v_{O1} = -\frac{V_{REF}}{2^{10}} \cdot \sum_{i=0}^9 D_i \cdot 2^i$$



$$v_{O2} = V_{REF} \left(\frac{\sum_{i=1}^9 D_i \cdot 2^i}{2^{10}} \right)^2$$



9.1.4 D/A转换器的主要技术指标

1、分辨率

分辨率：其定义为D/A转换器模拟输出电压可能被分离的等级数。 n 位DAC最多有 2^n 个模拟输出电压，其分辨率为 2^n 。位数越多D/A转换器的分辨率越高。

分辨率也可以用能分辨的最小输出电压与最大输出电压之比给出。 n 位D/A转换器的分辨率可表示为 $\frac{1}{2^n - 1}$



9.1.4 D/A转换器的主要技术指标

2、转换精度:

- 转换精度是指对给定的数字量，D/A转换器实际值与理论值之间的最大偏差。
- 产生原因：由于D/A转换器中各元件参数值存在误差，如基准电压不够稳定或运算放大器的零漂等各种因素的影响。
- 几种转换误差：有如比例系数误差、失调误差和非线性误差等

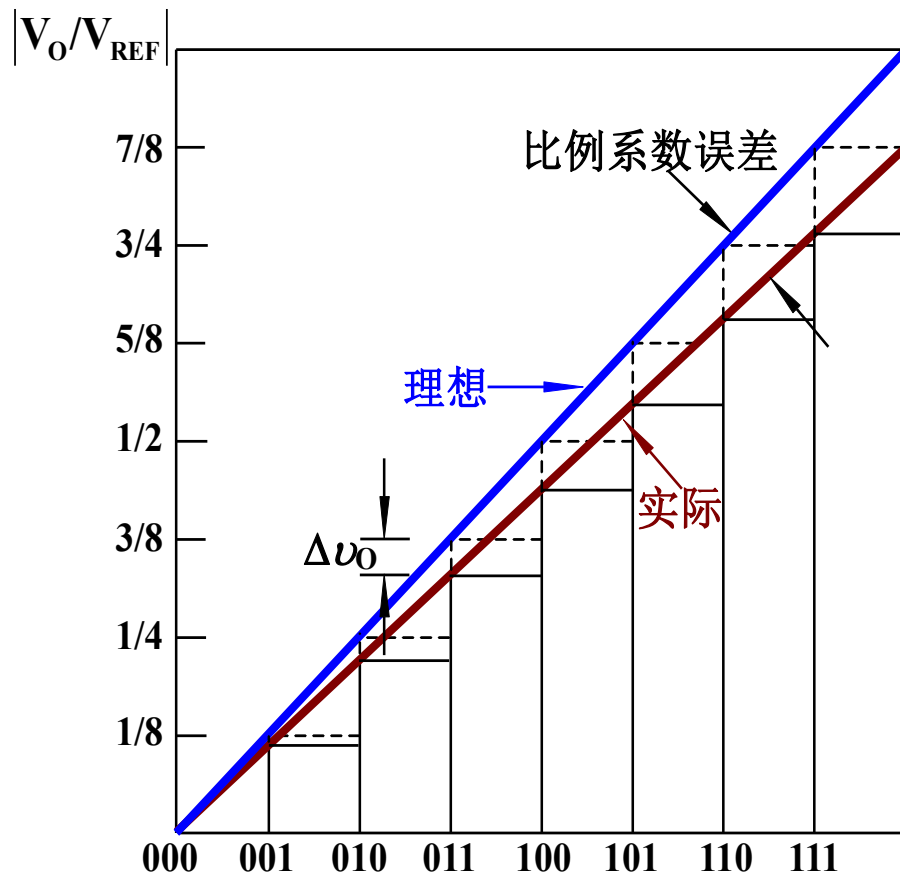
9.1.4 D/A转换器的主要技术指标

比例系数误差：是指实际转换特性曲线的斜率与理想特性曲线斜率的偏差。

如在n 位倒T 形电阻网络D/A转换器中，当 V_{REF} 偏离标准值 ΔV_{REF} 时，就会在输出端产生误差电压。由式10.1.3可知

$$\Delta v_o = \frac{\Delta V_{REF}}{2^n} \cdot \frac{R_f}{R} \sum_{i=0}^{n-1} D_i \cdot 2^i$$

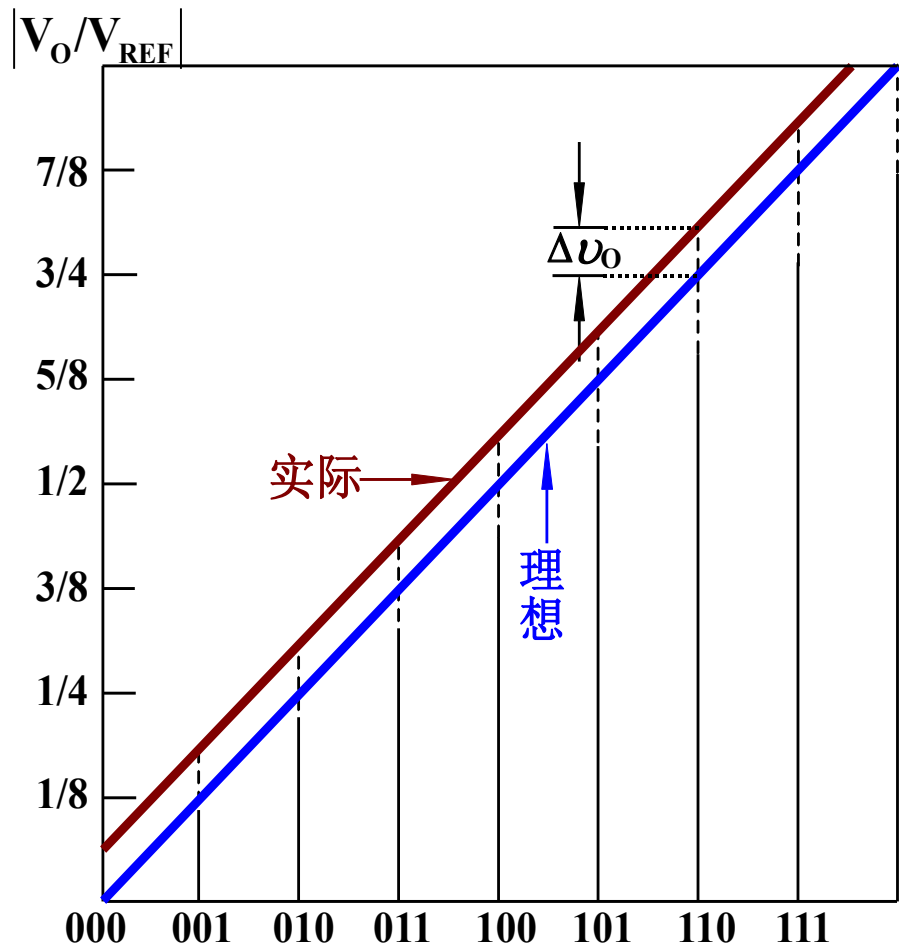
由 ΔV_{REF} 引起的误差属于比例系数误差。



9.1.4 D/A转换器的主要技术指标

失调误差：由运算放大器的零点漂移引起，其大小与输入数字量无关，该误差使输出电压的转移特性曲线发生平移。

三位D/A转换器的失调误差如图10.1.8所示。



9.1.4 D/A转换器的主要技术指标

非线性误差：没有规律的误差，一般用在满刻度范围内，偏离理想的转移特性的最大值来表示。其原因很多，如电路中各模拟开关存在不同的导通电压和导通电阻、电阻网络的电阻误差等。因此，要获得高精度的D/A转换，需要多方面的配合才能达到要求。

9.1.4 D/A转换器的主要技术指标

转换速度

(1) 建立时间：当输入数字量变化时，输出电压达到规定的误差范围所需的时间。一般用数字量从全0到全1变化时，输出电压达到规定值所需时间。

(2) 转换速率：在大信号工作状态下，模拟输出电压的最大变化率，以V/ μ s为单位表示。

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。