

第八章 数-模 和 模-数转换

模数转换器

Analog to Digital Converter (ADC)

数模转换器

Digital to Analog Converter (DAC)



自然界的
温度，速度
声音，图像

转换成数字量的优点

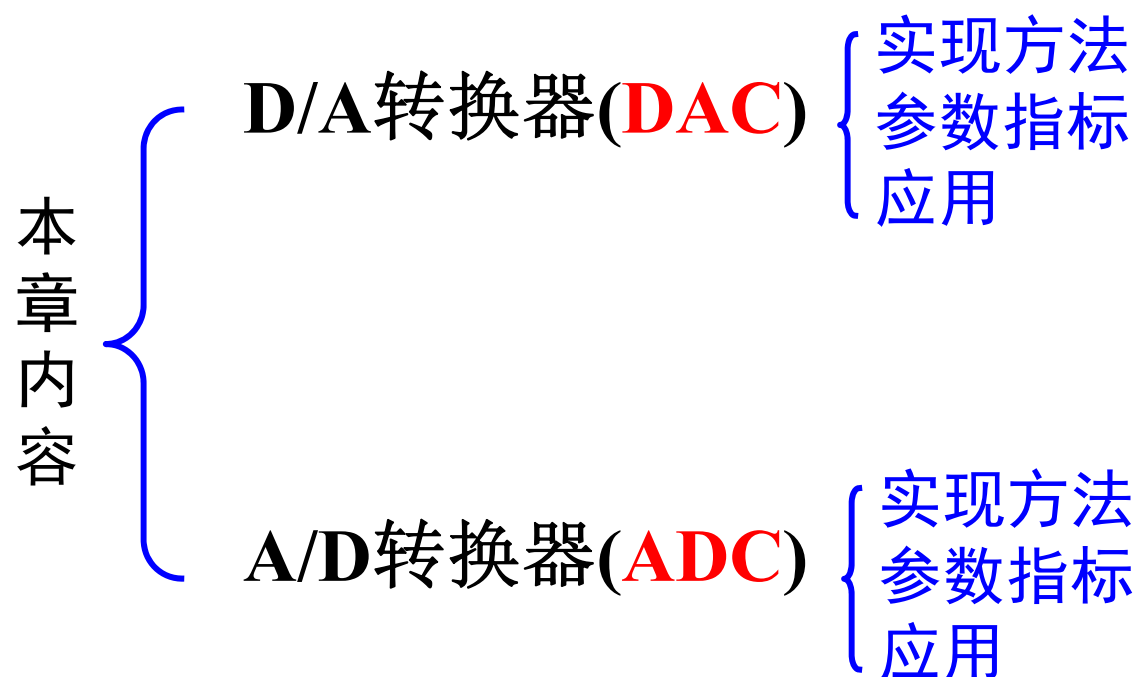
- 1) 抗干扰能力强,可靠 { $0V \sim 3V$
 $0, 1$
- 2) 易于控制，灵活



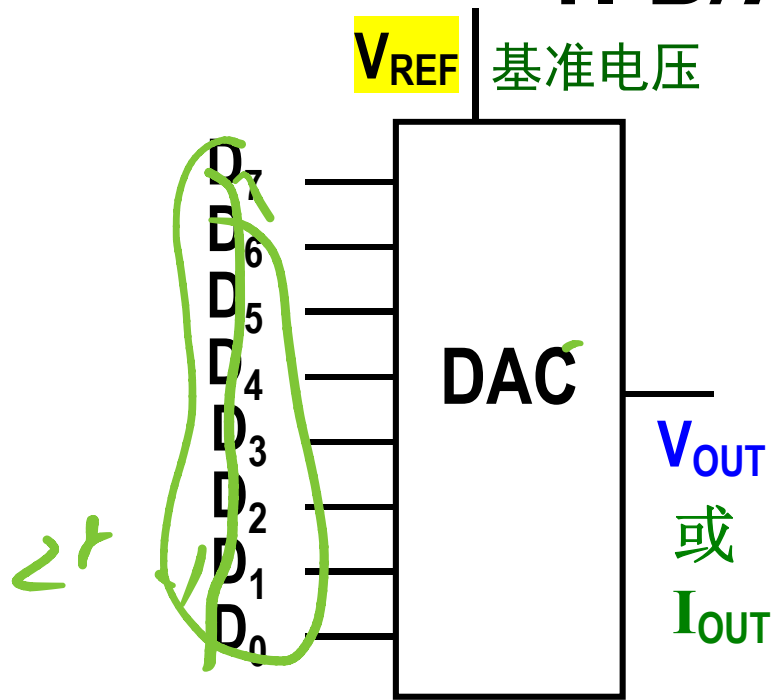
衡量A/D，D/A转换器的主要性能指标

转换精度
转换速度

第八章 数-模和模-数转换



1. D/A转换器 (DAC)



$D_7 \ D_6 \ D_5 \ D_4 \ D_3 \ D_2 \ D_1 \ D_0 \rightarrow V_{OUT}$

1 1 1 1 1 1 1 1 $\rightarrow 10V$

0 0 0 0 0 0 1 0 $\rightarrow 0.078V$

0 0 0 0 0 0 0 1 $\rightarrow 0.039V$

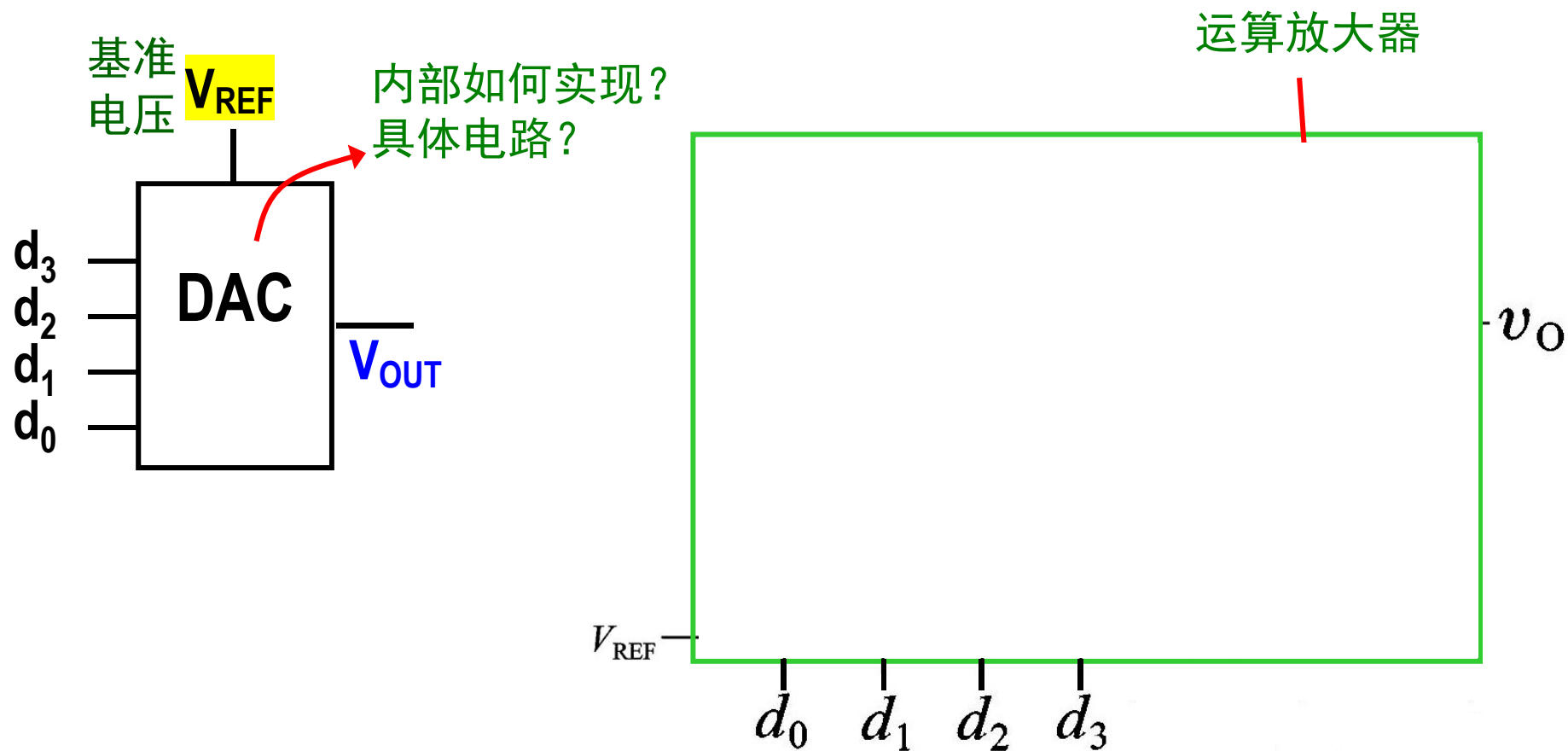
0 0 0 0 0 0 0 0 $\rightarrow 0V$

255个台阶, 间隔为

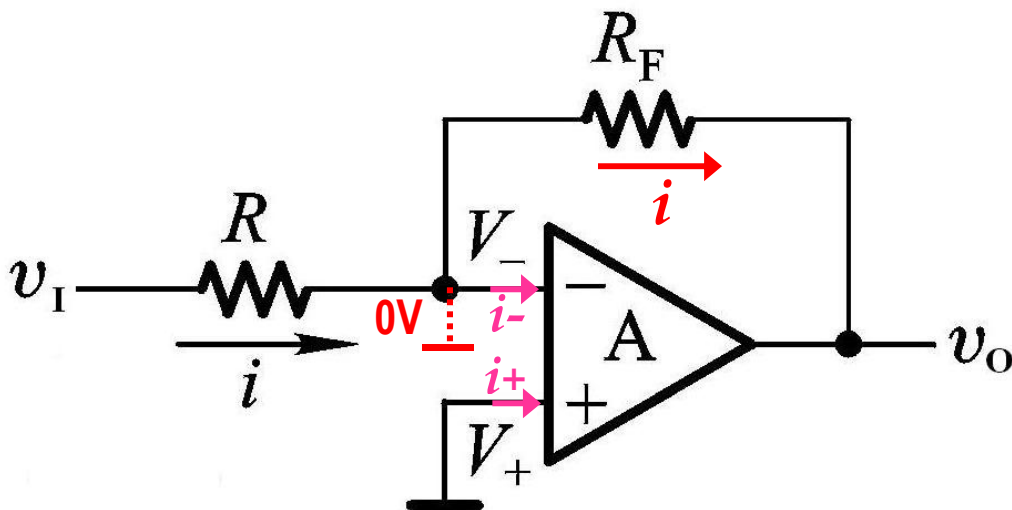
$$\frac{10V}{255} = \frac{10}{2^8 - 1} V = 0.039V$$

位数越多, 分得越细, 越精细

1.1 D/A转换器实现方法(原理)



1) 基础知识： 运算放大器的特性

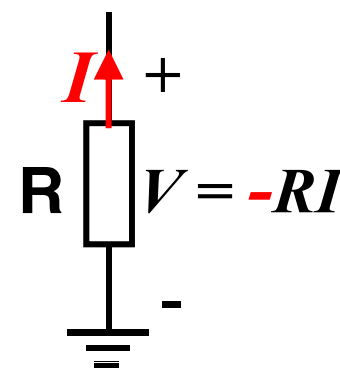
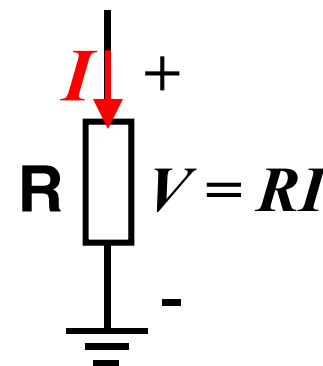


$$i = \frac{v_I}{R}$$

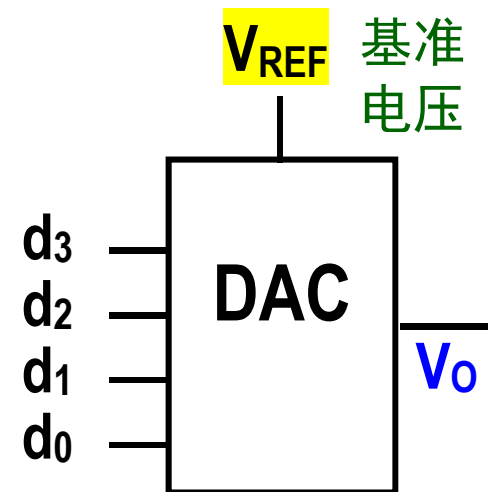
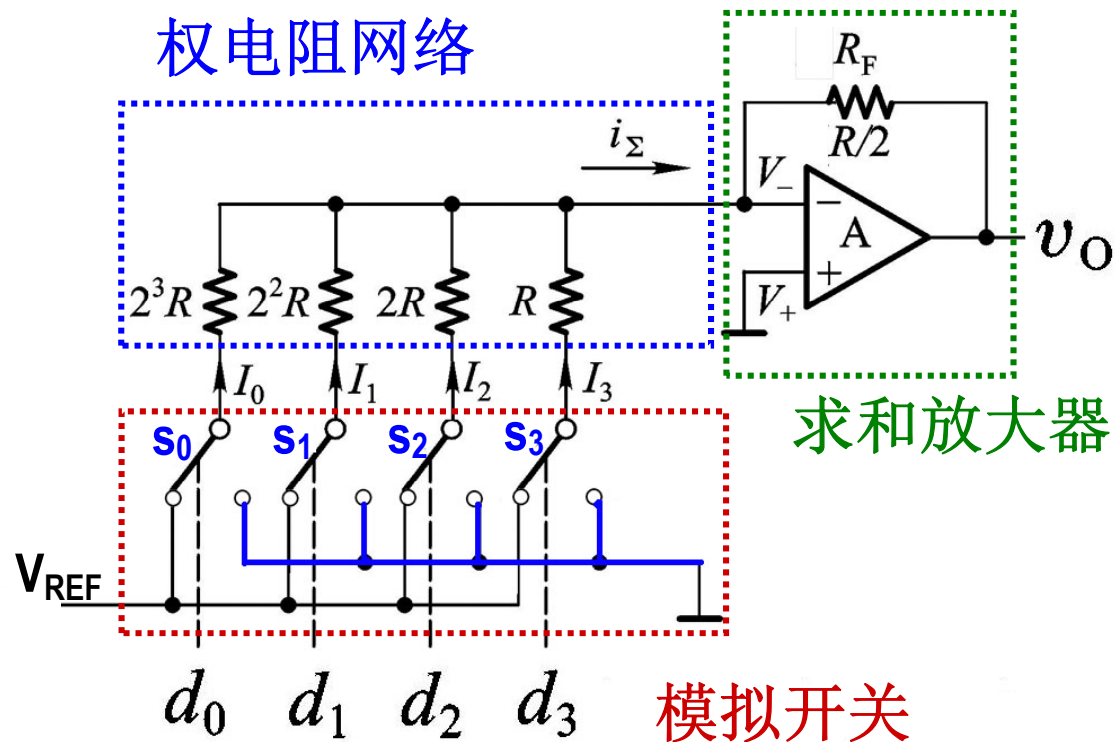
$$\frac{v_O}{v_I} = -\frac{R_F}{R} \quad \text{放大功能}$$

运算放大器特性

$$\begin{cases} V_+ = V_- \\ i_+ = i_- = 0 \end{cases}$$



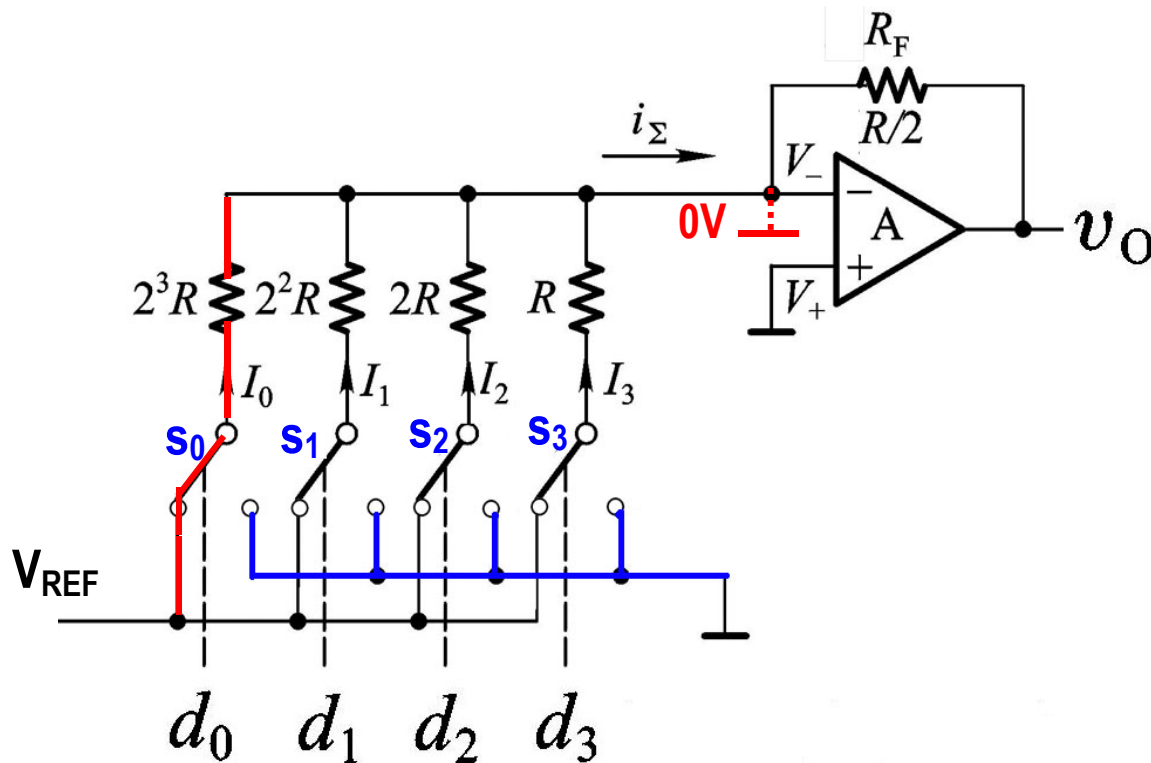
2) 权电阻网络D/A转换器



$d_i=1$ 时, 开关 S_n 接到 V_{REF} ,

$d_i=0$ 时, 开关 S_n 接到地

一、 权电阻网络D/A转换器



权电阻网络DAC

倒T型电阻网络DAC

权电流型DAC

开关树型DAC

权电容网络DAC

权电流: $I_i = \frac{V_{\text{REF}}}{R_i}$

$I_0 =$

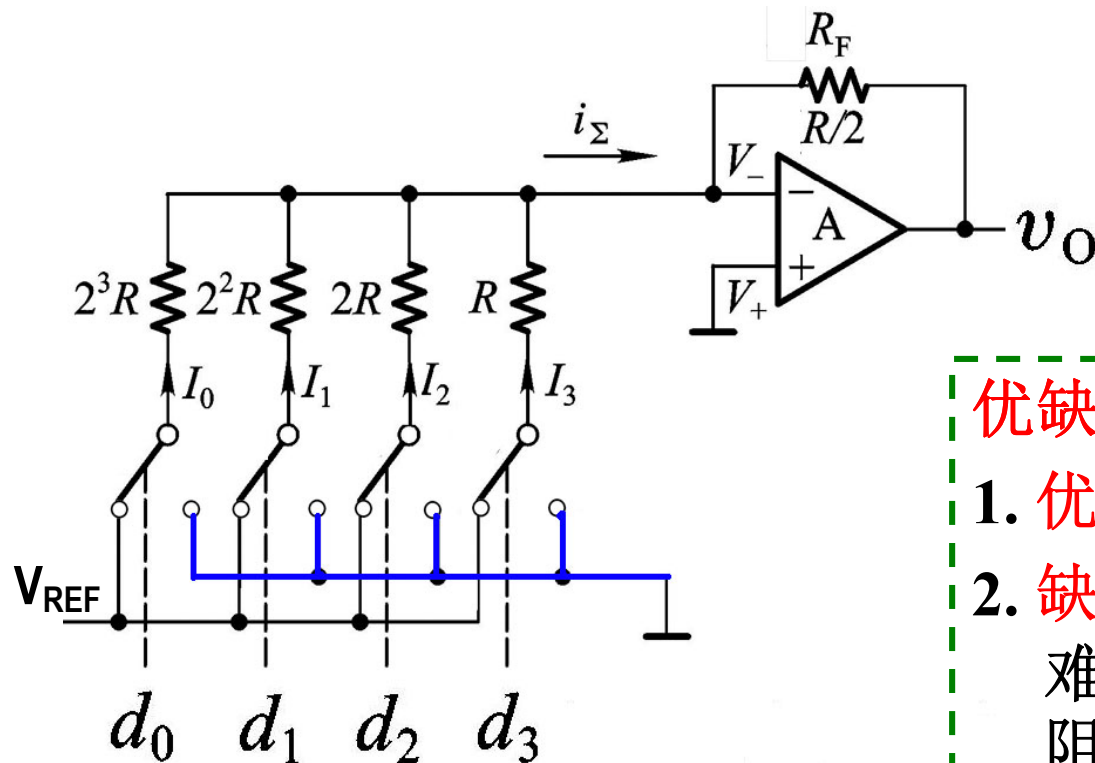
$I_1 =$

$I_2 =$

$I_3 =$

$d_i=1$ 时, 开关 S_n 接到 V_{REF} ,

$d_i=0$ 时, 开关 S_n 接到地



输出电压: $V_O = -R_F i_\Sigma$

$$R_F = \frac{R}{2}$$

优缺点:

1. 优点: 简单
2. 缺点: 电阻值相差大, 难于保证精度, 且大电阻不宜于集成在IC内部

$$-\frac{R_{REF}}{2^4} D + 误差$$

可见, 输出模拟电压正比于数字量的输入。

二、倒T形电阻网络D/A转换器

希望用较少类型的电阻，
仍然能得到一系列权电流

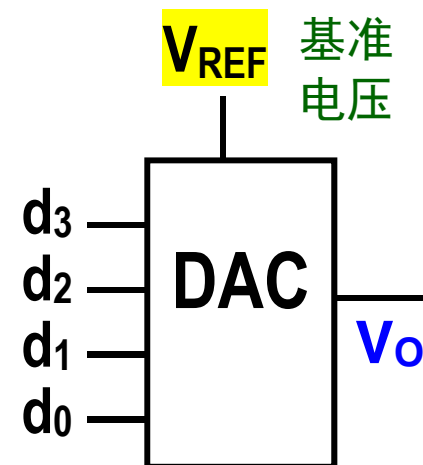
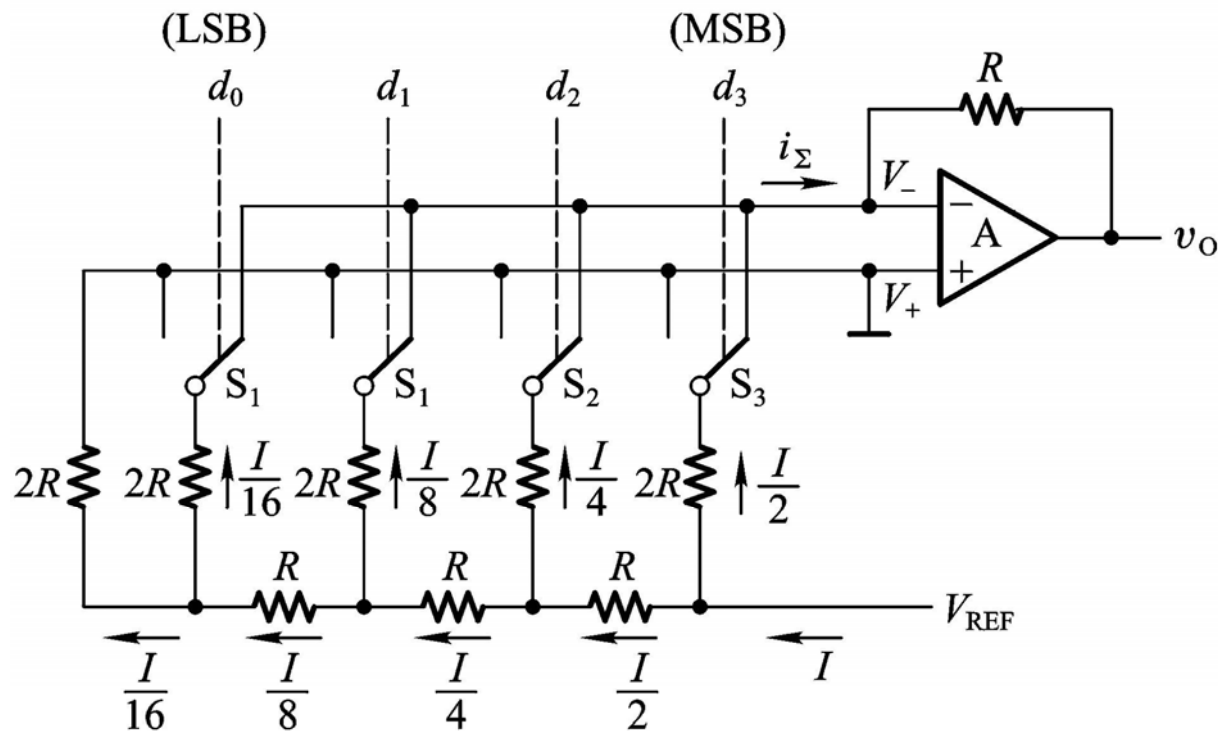
权电阻网络DAC

倒T型电阻网络DAC

权电流型DAC

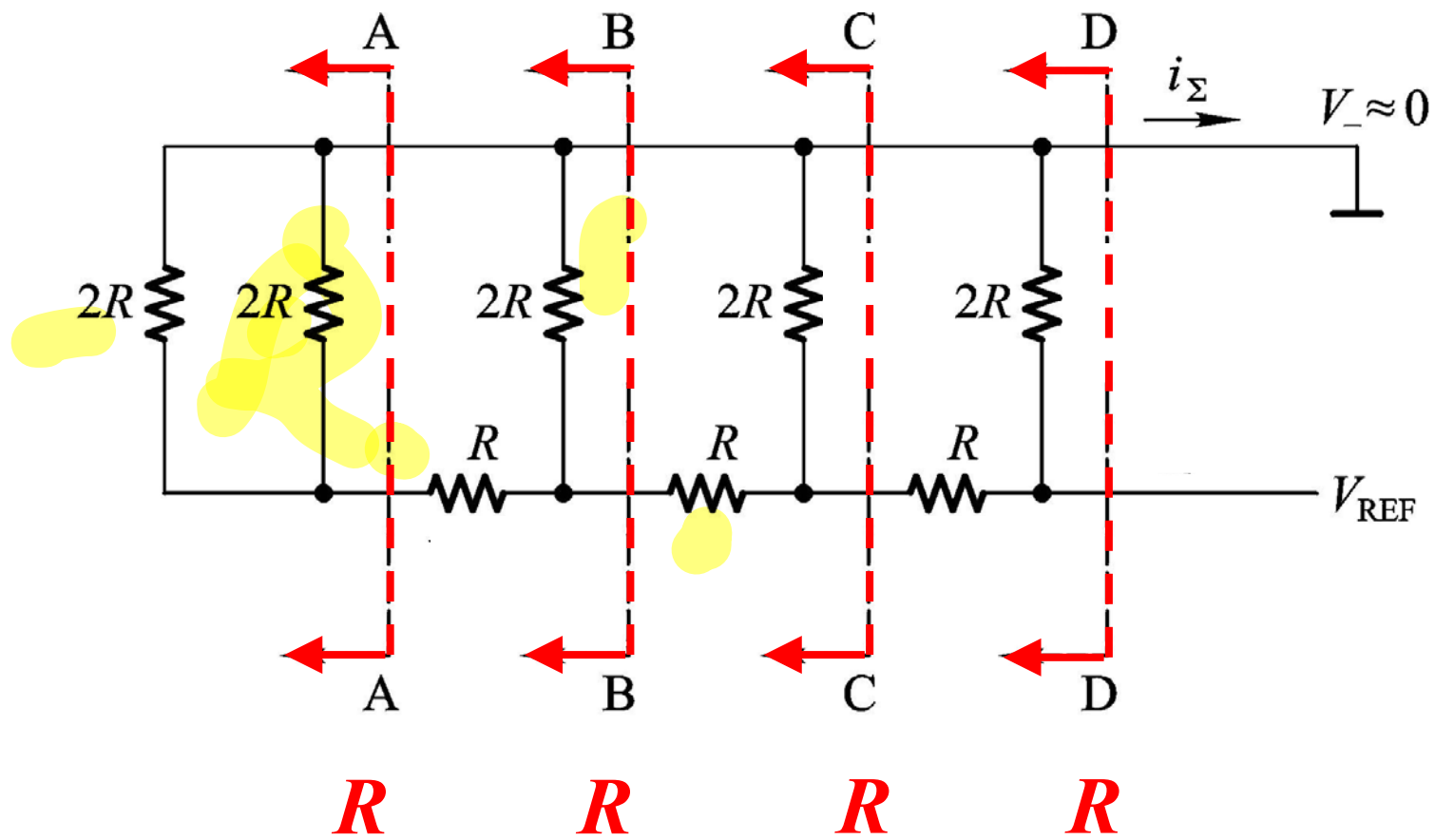
开关树型DAC

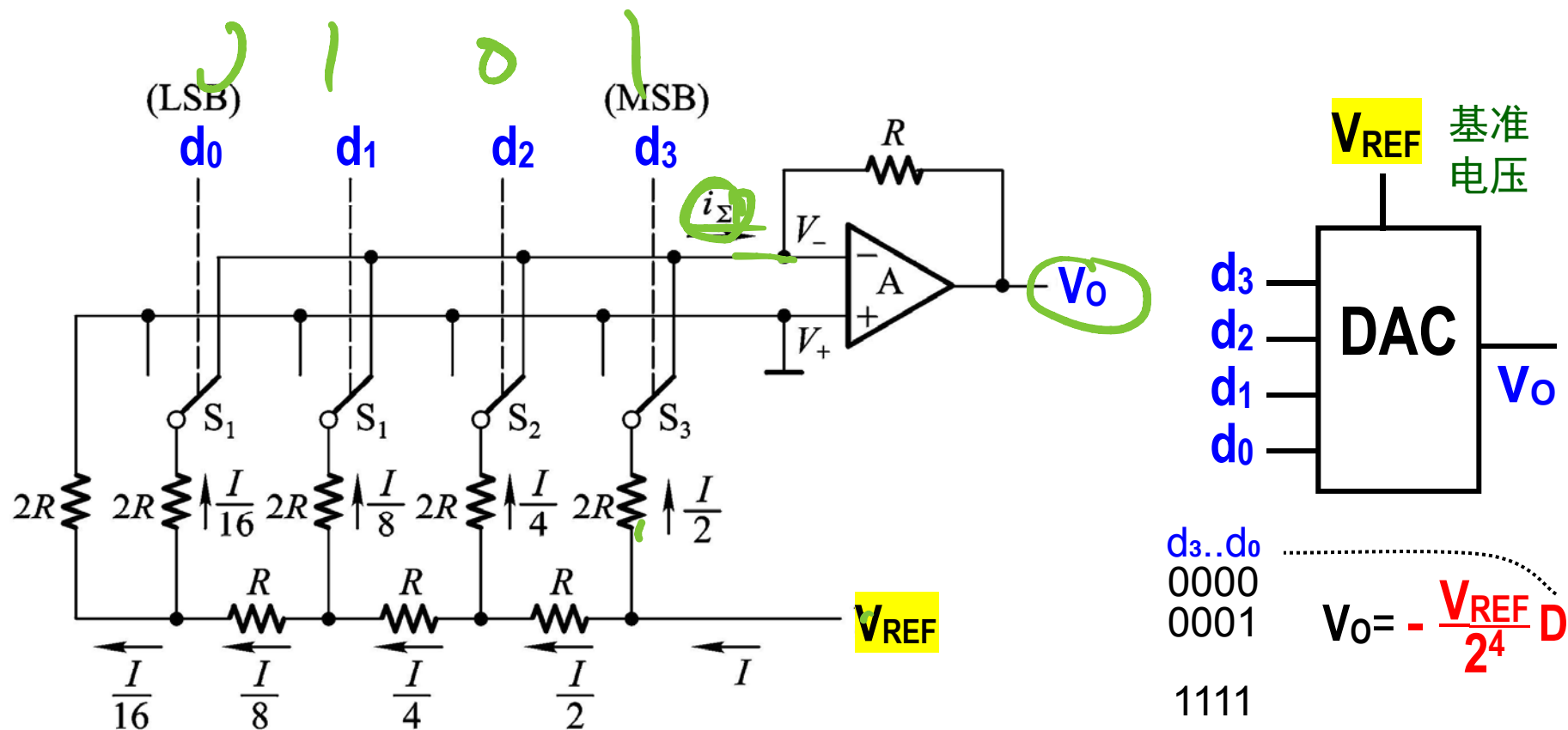
权电容网络DAC



$d_i=1$, S_i 将电阻接到运放反相输入端

$d_i=0$, S_i 将电阻接到运放同相输入端

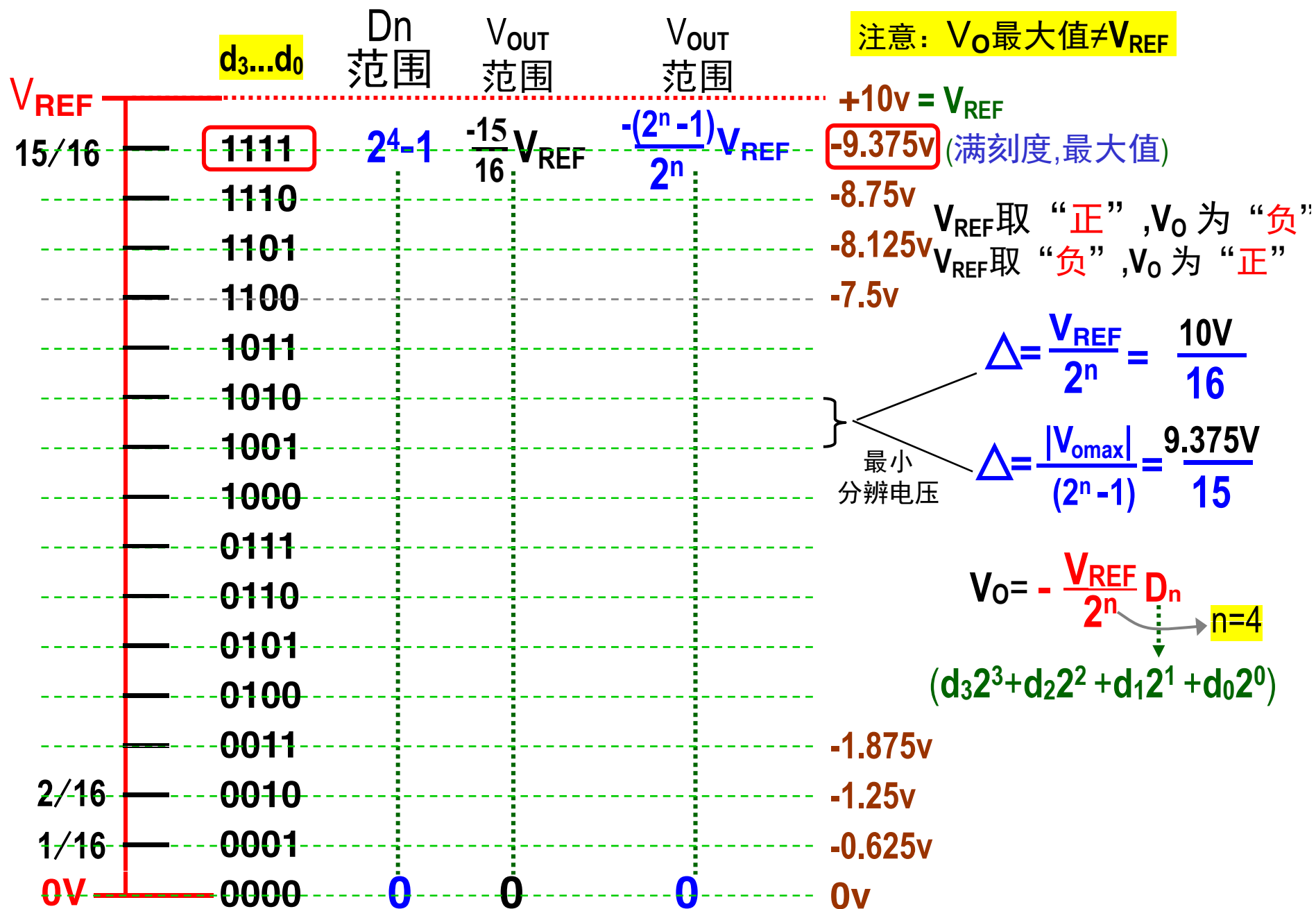




$$\left. \begin{array}{l} d_i = 1 \text{ 时, } I_i \text{ 流入 } i_{\Sigma} \\ d_i = 0 \text{ 时, } I_i \text{ 流入地端} \end{array} \right\} \Rightarrow i_{\Sigma} = d_3 \left(\frac{I}{2} \right) + d_2 \left(\frac{I}{4} \right) + d_1 \left(\frac{I}{8} \right) + d_0 \left(\frac{I}{16} \right)$$

$$v_O = -R i_{\Sigma} = -R \frac{V_{REF}}{R} \frac{1}{2^4} (d_3 2^3 + d_2 2^2 + d_1 2^1 + d_0 2^0) = -\frac{V_{REF}}{2^4} D$$

可见，输出模拟电压正比于数字量的输入。



	$d_3 \dots d_0$	D_n 范围	V_{OUT} 范围	V_0 最大值 V_{omax} 不是 V_{REF}
V_{REF}			$-16v = V_{REF}$	$+10v = V_{REF}$
15/16	1111	$2^4 - 1$	$\frac{15}{16} V_{REF}$	15v (满刻度)
	1110		14v	-8.75v
	1101		13v	-8.125v
	1100		12v	-7.5v
	1011		11v	
	1010		10v	
	1001		9v	
	1000		8v	
	0111		7v	
	0110		6v	
	0101		5v	
	0100		4v	
	0011		3v	-1.875v
2/16	0010		2v	-1.25v
1/16	0001		1v	-0.625v
0V	0000	0	0	0v

$$\Delta = \frac{V_{REF}}{2^n} = \frac{10V}{16}$$

$$\Delta = \frac{V_{omax}}{(2^n - 1)} = \frac{9.375V}{15}$$

V_{REF} 取 “负”，
则 V_0 为 “正”

实用芯片CB7520 倒T形电阻网络D/A转换器

CMOS电路：电源电压范围宽：3V~18V (page105)

page511

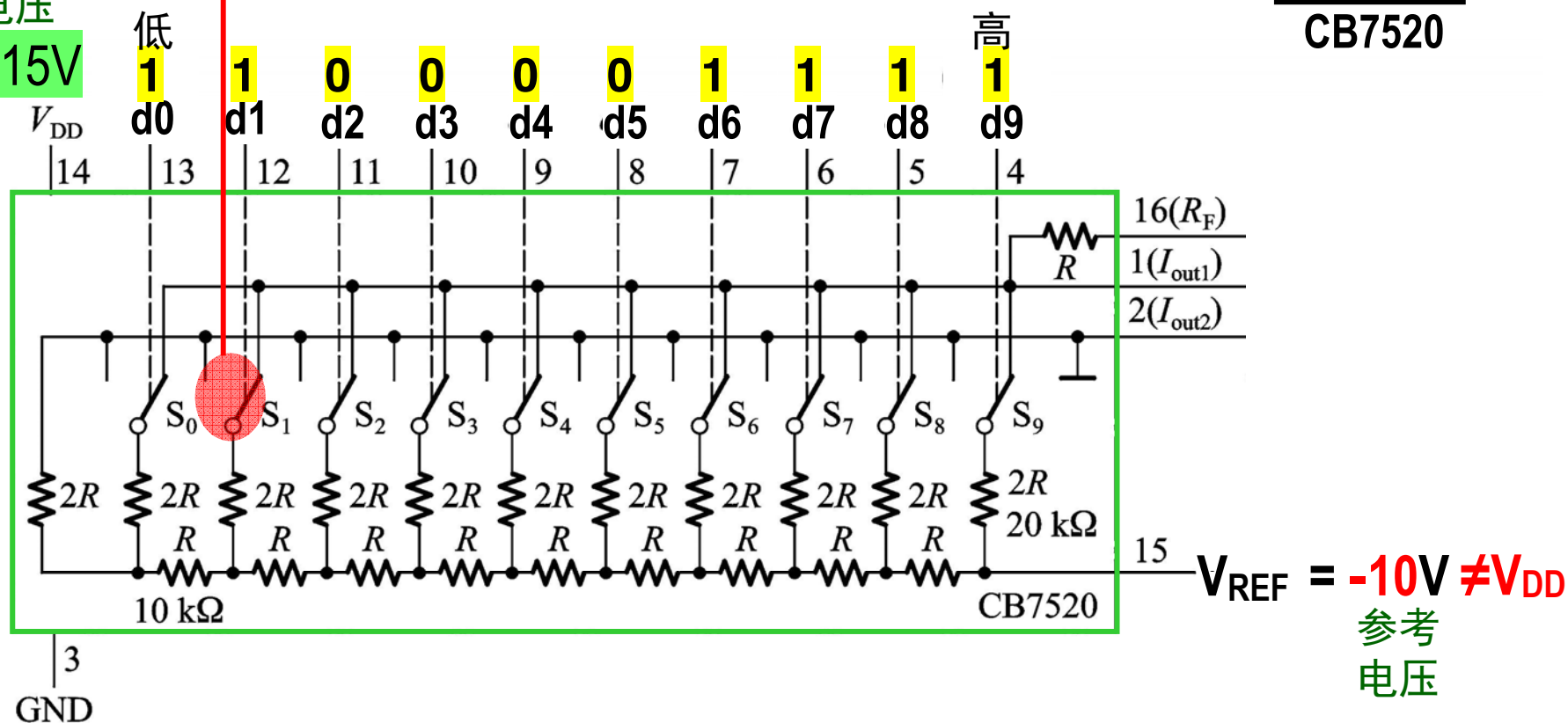
电源
电压

+15V

CMOS开关

电源VDD大：开关速度快，功耗大

电源VDD小：开关速度慢，功耗小



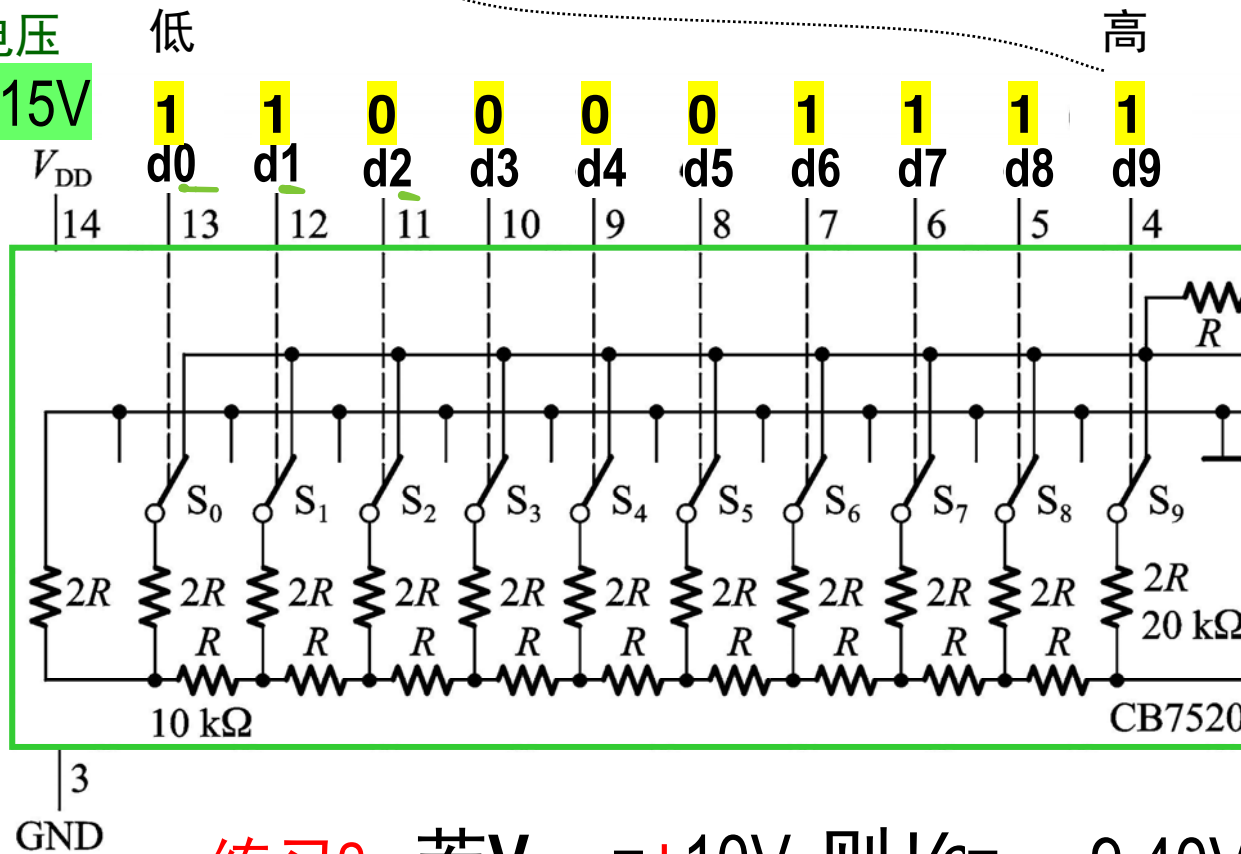
提高电源电压可以提高导通速度(降低了导通内阻)
能否无限制增大电源电压呢?

实例：CB7520 (AD7520) 倒T形电阻网络D/A转换器

page511

电源
电压

+15V



$$(1111000011)_2 = (963)_{10}$$

$$\begin{aligned} V_O &= -\frac{V_{REF}}{2^n} D \\ &= -\frac{-10V}{2^{10}} \times 963 \\ &= 9.40V \end{aligned}$$

练习2, 若 $V_{REF}=+10V$, 则 $V_O= -9.40V$

若 $D9...D0=111111111$, 则 $V_O= -(1023/1024) \times 10V$

DAC的转换精度与速度

1. 转换精度

➤ 分辨率（理论精度）

D/A转换器能够分辨出来的最小电压与最大输出电压之比。

8bit DAC, 255个台阶

11111111	—	10V
00000001	—	$\frac{10V}{2^8-1}$
00000000		

分辨率 = $\frac{1}{2^8-1} = 0.0039 (=0.39\%)$

n=10, 10bit DAC, 1023个台阶, 分辨率 = $\frac{1}{2^{10}-1} = 0.001 (=0.1\%)$

n=12, 12bit DAC, 4095个台阶, 分辨率 = $\frac{1}{2^{12}-1} = 0.00024 (=0.024\%)$

➤ 转换误差（实际精度）

DAC的转换精度与速度

1. 转换精度

➤ 分辨率（理论精度）

D/A转换器能够分辨出来的最小电压与最大输出电压之比。

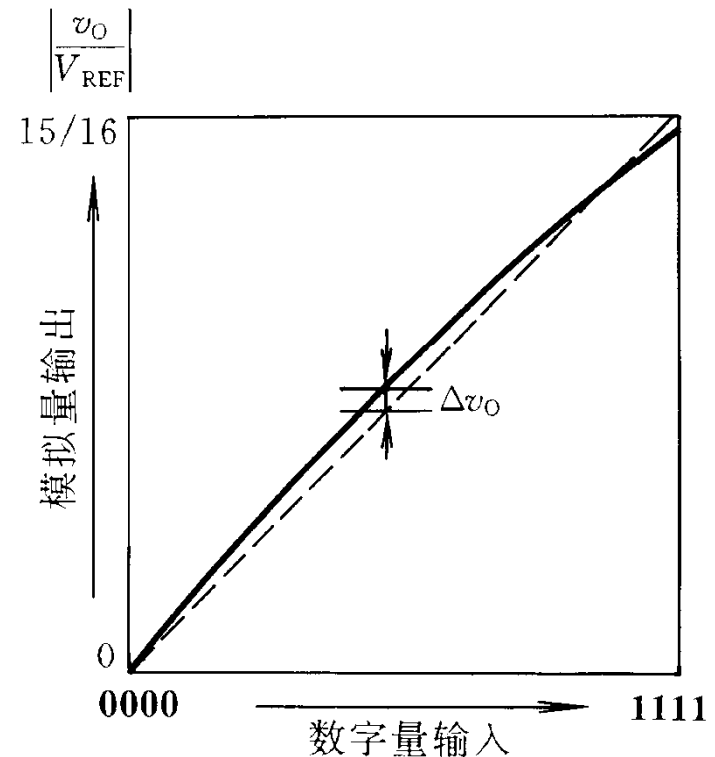
$n=10$, 10bit DAC, 1023个台阶, 分辨率 = $\frac{1}{2^{10}-1} = 0.001$ (=0.1%)

➤ 转换误差（实际精度）

D/A实际转换特性和理想转换特性之间的最大偏差,可用百分比表示,或最低有效位(最小台阶)的倍数来表示,如 1/2LSB, 1LSB。

Least Significant Bit

Most Significant Bit



DAC的转换精度与速度

1. 转换精度

➤ 分辨率（理论精度）

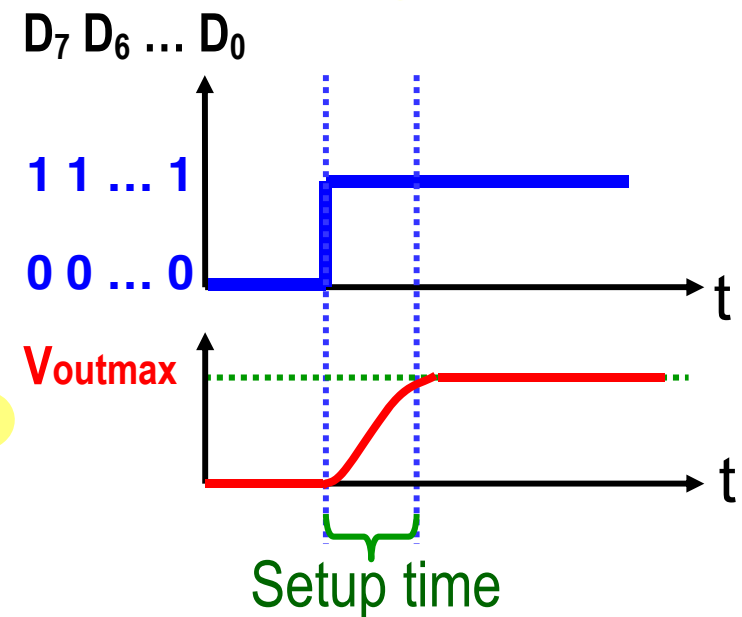
D/A转换器能够分辨出来的最小电压与最大输出电压之比。

➤ 转换误差（实际精度）

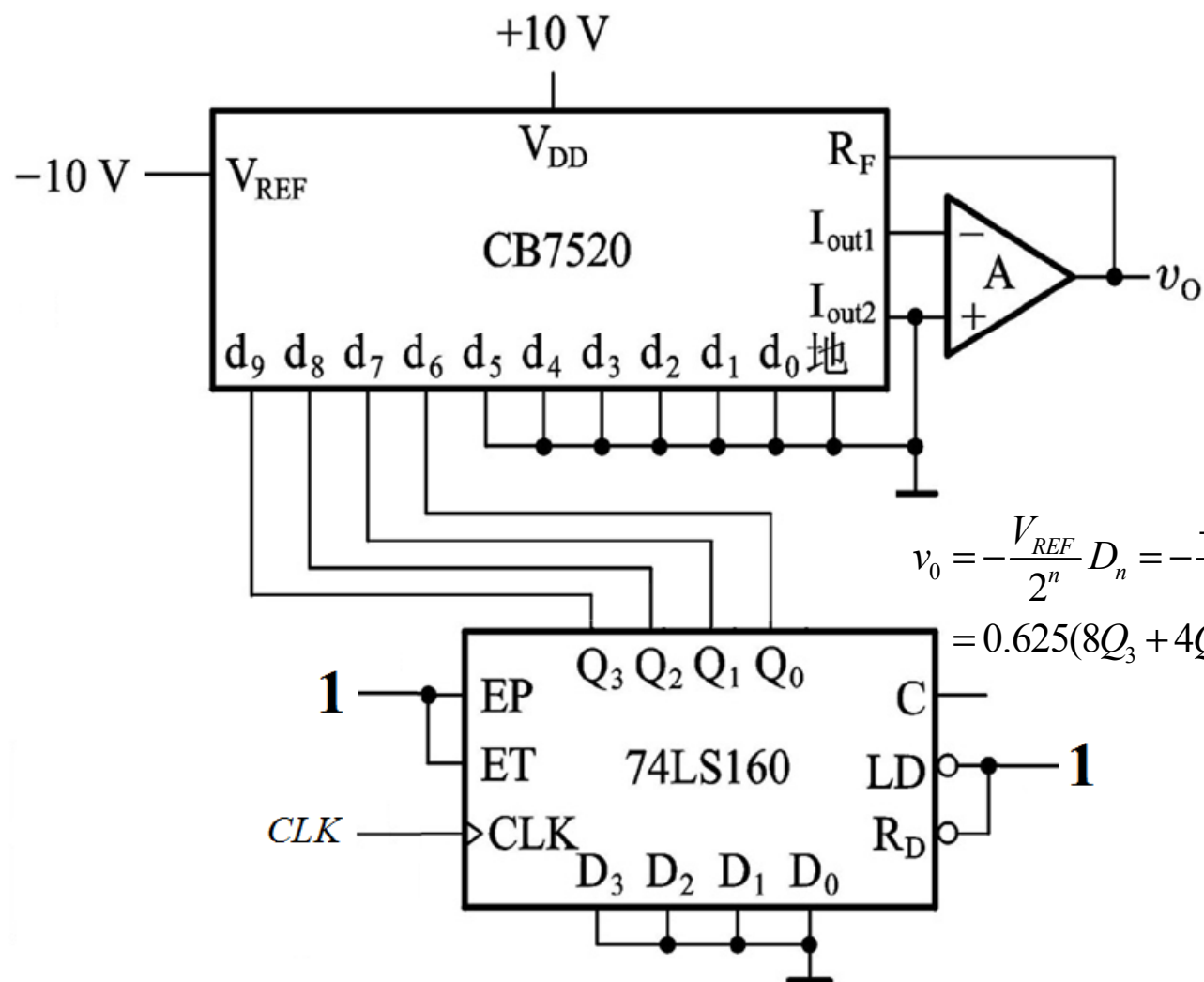
D/A实际转换特性和理想转换特性的最大偏差,用百分比表示,或最低有效位的倍数来表示,如 $1/2\text{LSB}$, 1LSB

2. 转换速度

常用建立时间表示,即指输入全0跳变到全1, 输出模值从0变到最大满度值所需时间。



例：分析图示电路工作原理，画出输出电压的波形图。



$$v_0 = -\frac{V_{REF}}{2^n} D_n = -\frac{-10}{2^{10}} (d_9 \times 2^9 + d_8 \times 2^8 + d_7 \times 2^7 + d_6 \times 2^6)$$

$$= 0.625(8Q_3 + 4Q_2 + 2Q_1 + Q_0)$$

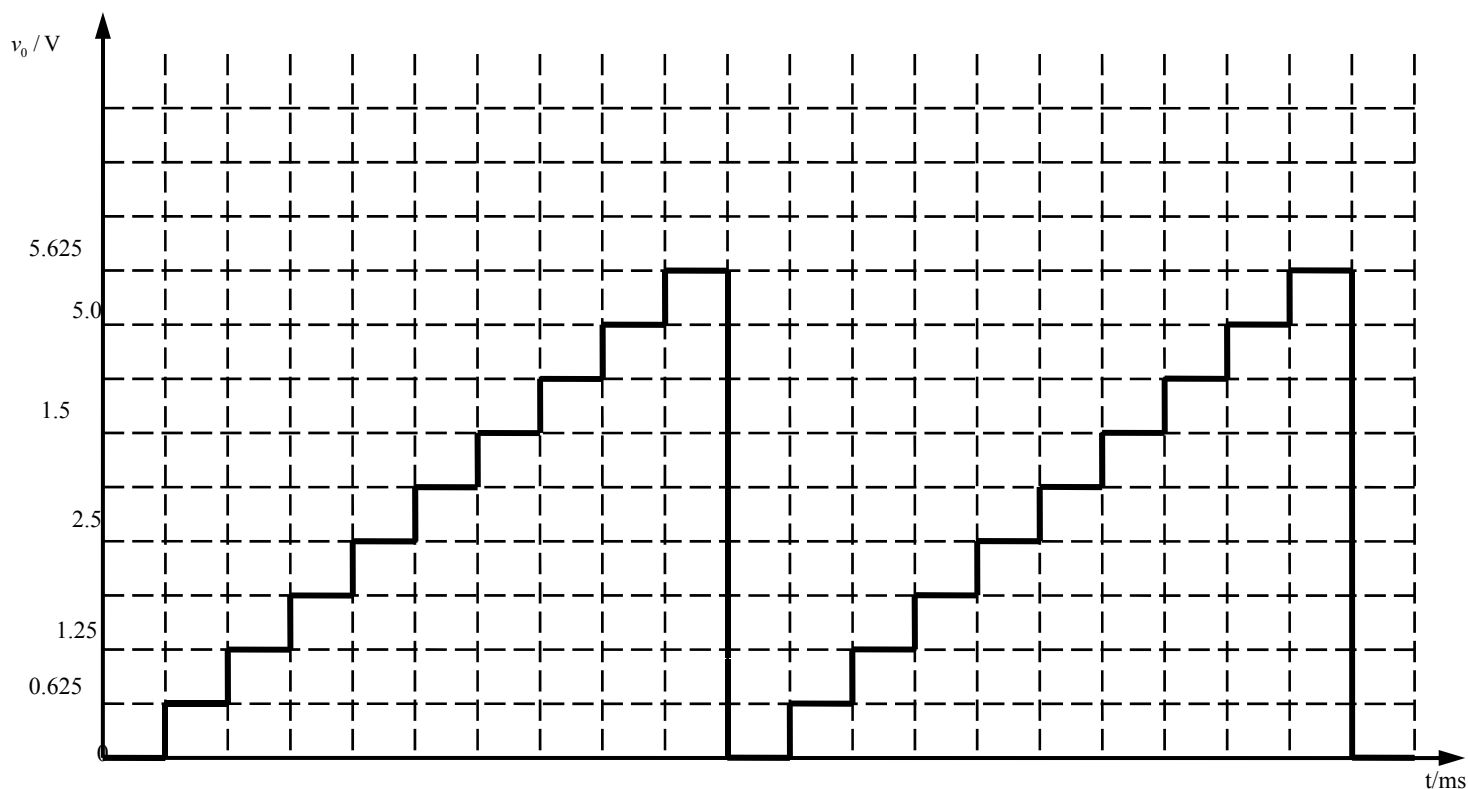
同步十进制计数器74LS160工作在计数状态，在时钟 CLK 的作用下， $Q_3Q_2Q_1Q_0$ 从0000~1001循环，因此CB7520的 $d_9d_8d_7d_6$ 也从0000~1001循环。

电路输出电压为：

$$v_0 = -\frac{V_{REF}}{2^n} D_n = -\frac{-10}{2^{10}} (d_9 \times 2^9 + d_8 \times 2^8 + d_7 \times 2^7 + d_6 \times 2^6)$$

$$= 0.625(8Q_3 + 4Q_2 + 2Q_1 + Q_0)$$

画出波形图



作业

8.5