

第八章 数-模转换和模-数转换

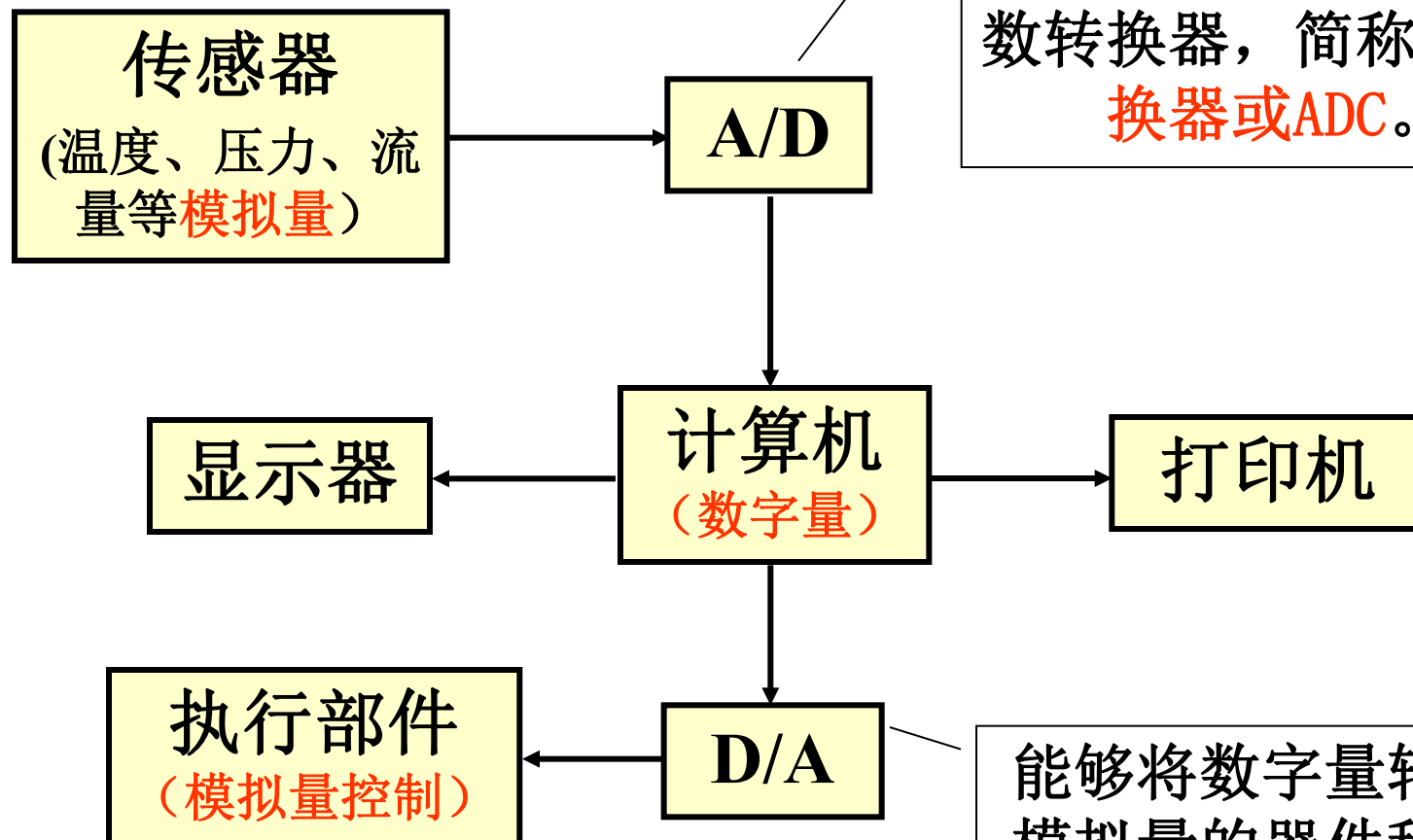
8.1 概述

8.2 D/A转换器(DAC, Digital to Analog Converter)

8.3 A/D转换器(ADC, Analog to Digital Converter)

§ 8-1 概述

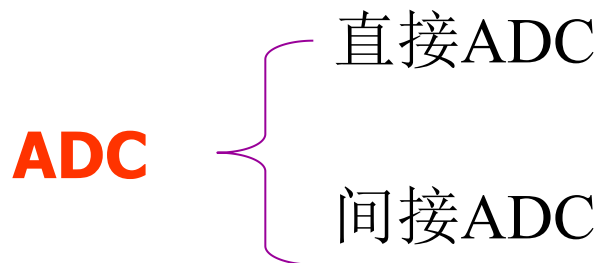
ADC和DAC的应用:



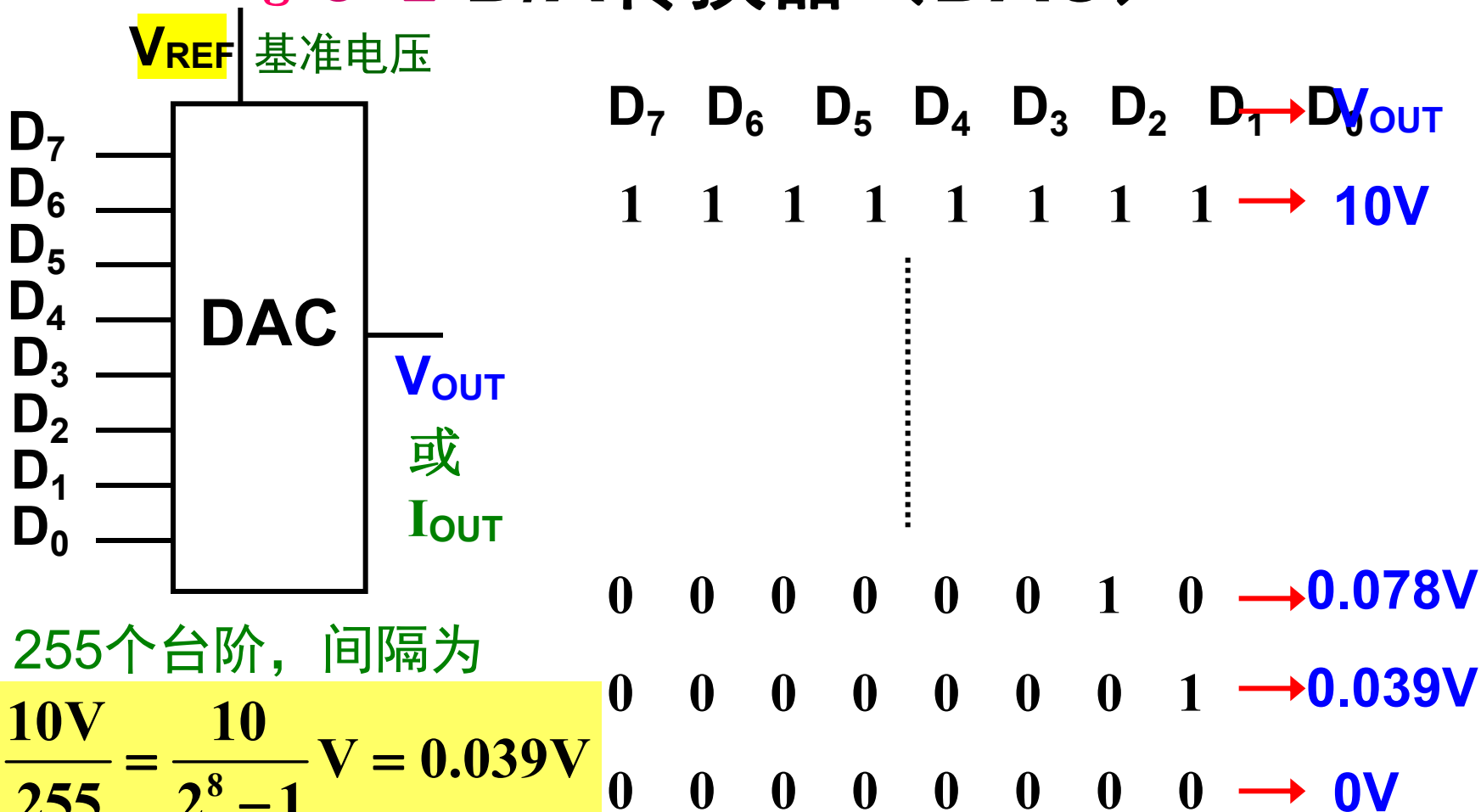
能够将模拟量转换为数字量的器件称为模数转换器，简称A/D转换器或ADC。

能够将数字量转换为模拟量的器件称为数模转换器，简称D/A转换器或DAC。

ADC和DAC是沟通模拟电路和数字电路的桥梁，也可称之为两者之间的接口。



§ 8-2 D/A转换器 (DAC)

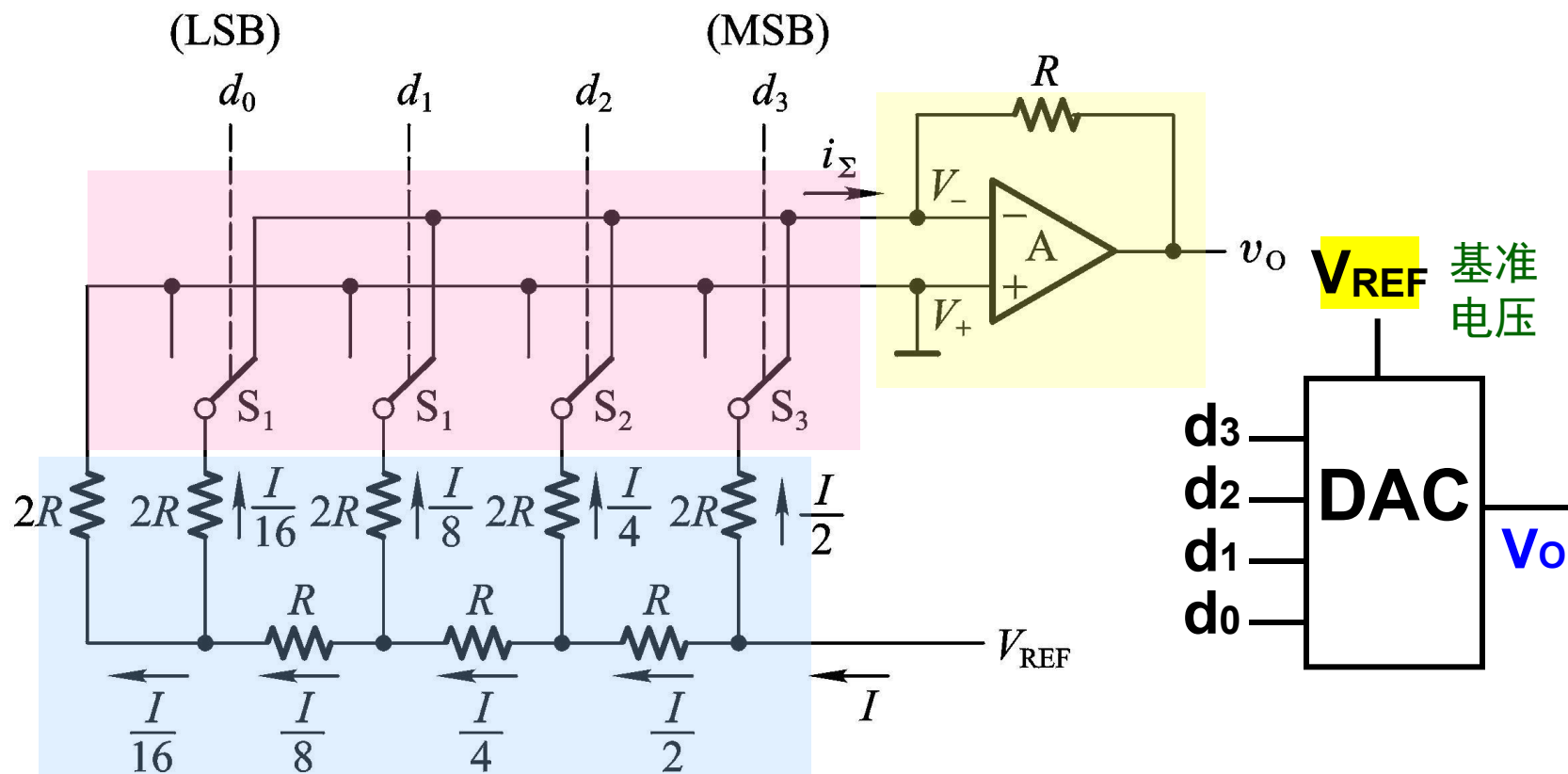


255个台阶，间隔为

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

位数越多，分得越细，越精细

1. 1倒T形电阻网络D/A转换器



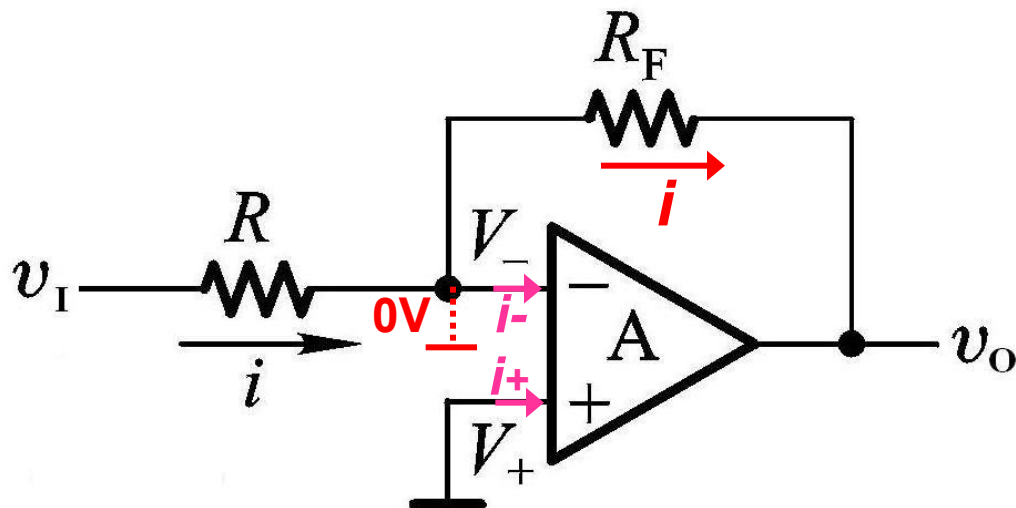
DAC器件的组成：电阻网络，模拟开关，求和放大器

$D_i=1$ ， S_i 将电阻接到运放反向输入端

$D_i=0$ ， S_i 将电阻接到运放同向输入端

1) 基础知识： 运算放大器的特性

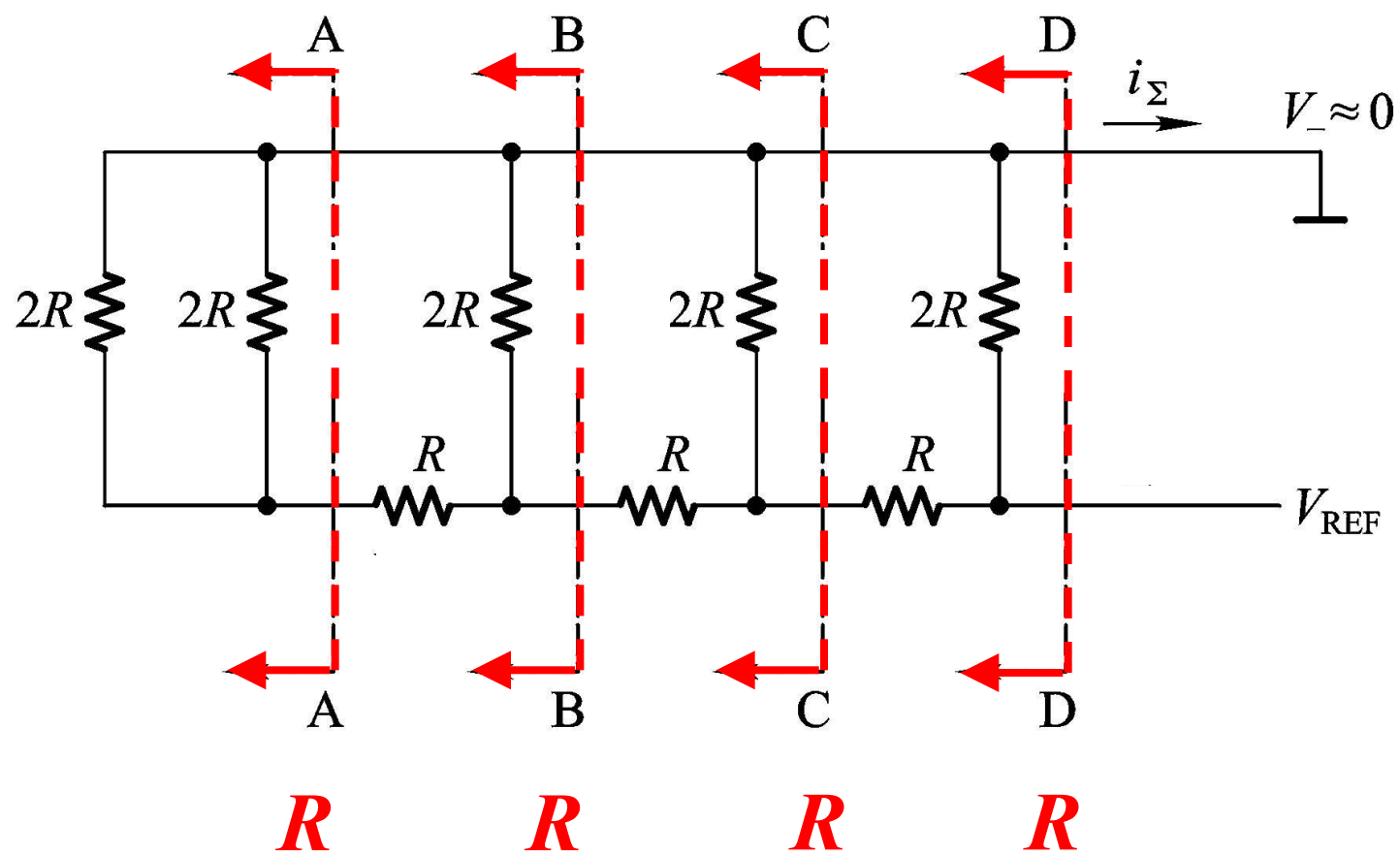
运算放大器特性

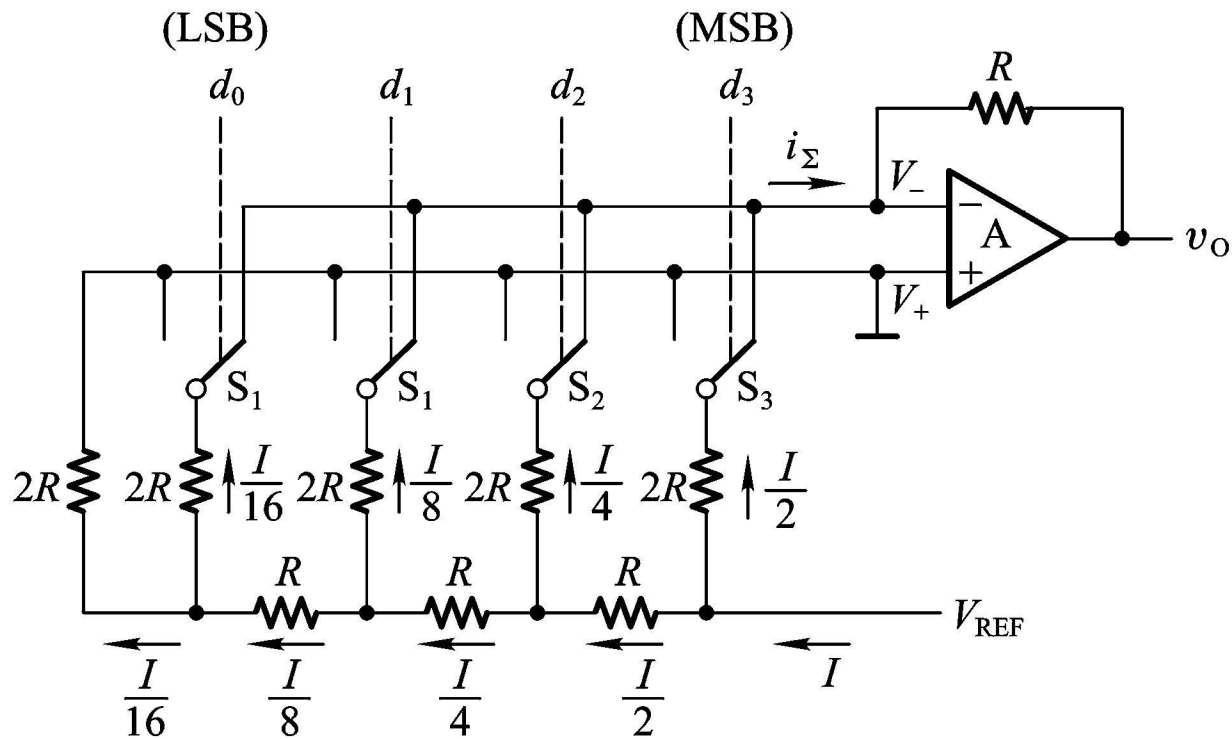


$$\begin{cases} V_+ = V_- \\ \mathbf{i_+ = i_- = 0} \end{cases}$$

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

$$\frac{V_O}{V_I} = -\frac{R_F}{R} \quad \text{放大功能}$$





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

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

可见，输出模拟电压正比于数字量的输入。

实用芯片CB7520 倒T形电阻网络D/A转换器

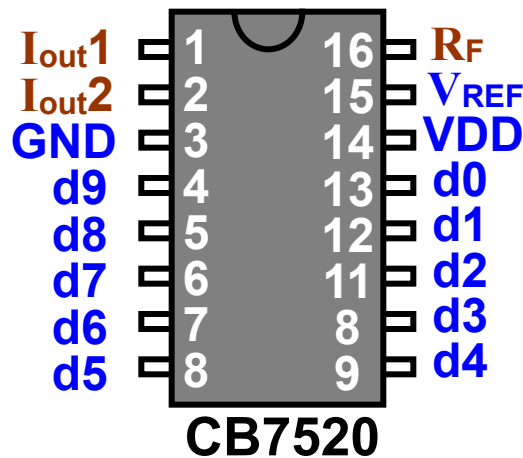
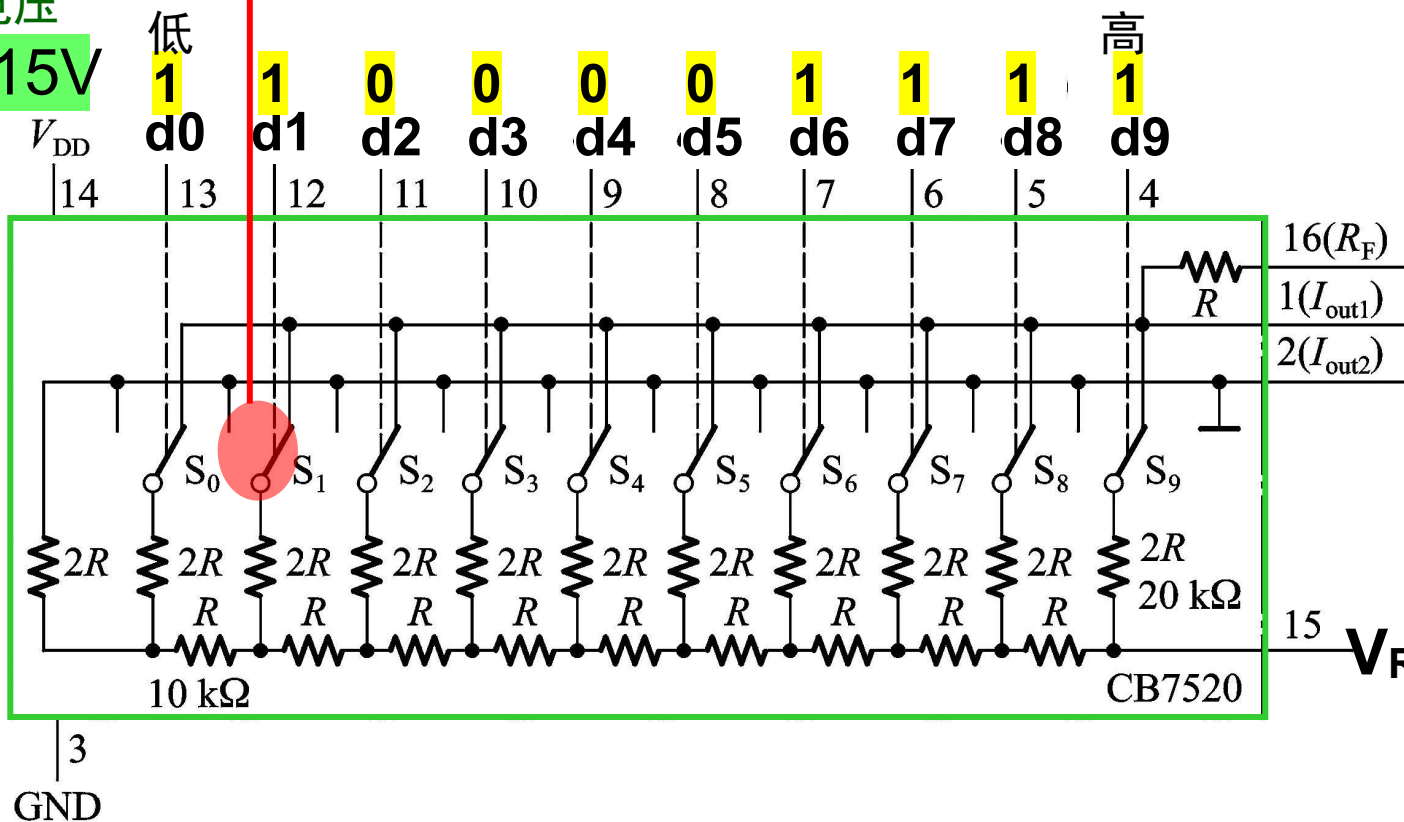
CMOS电路：电源电压范围宽：3V~18V

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

电源
电压
+15V

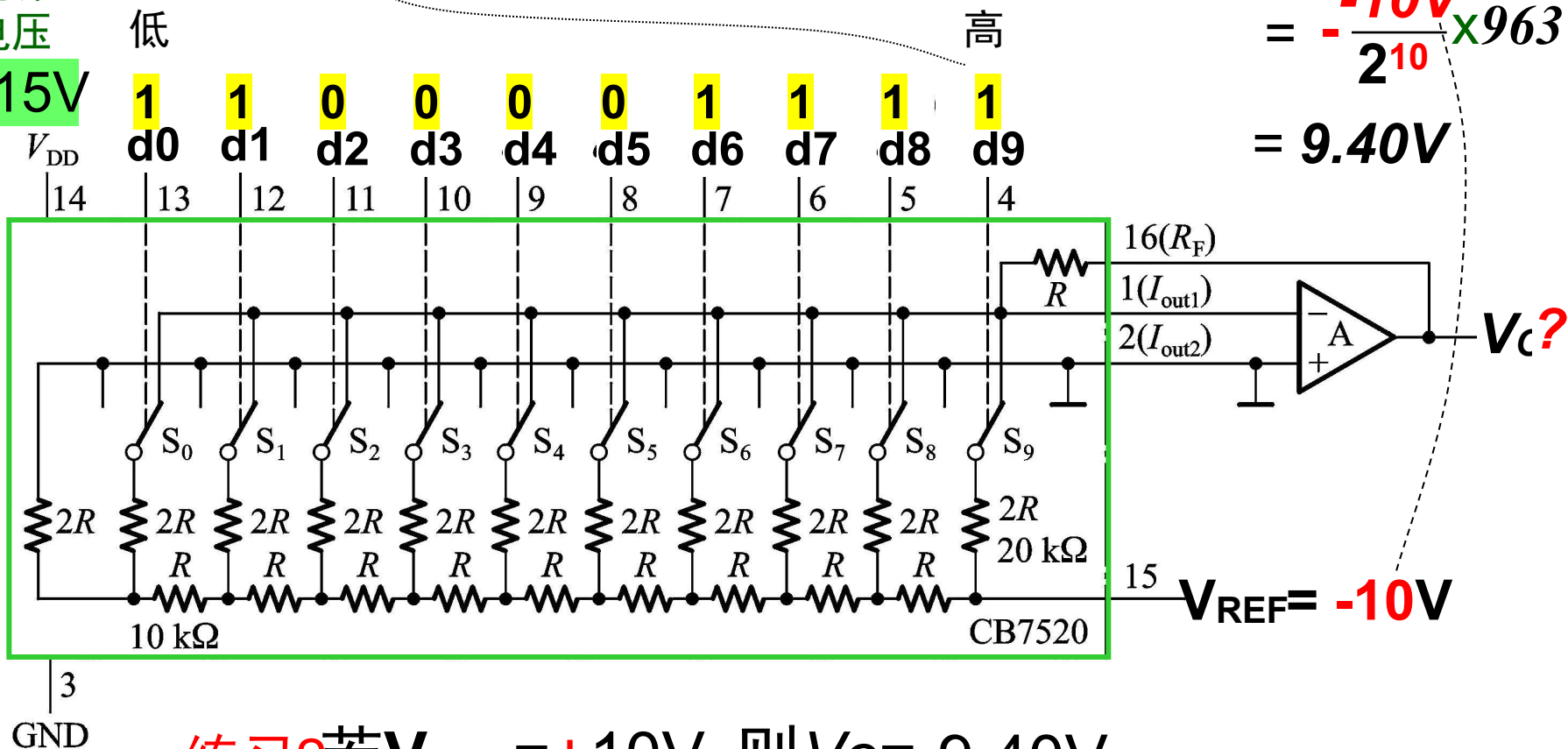


$V_{REF} = -10V \neq V_{DD}$
参考
电压

实例：CB7520(AD7520) 倒T形电阻网络D/A转换器

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

电源
电压
+15V



$$V_o = -\frac{V_{REF}}{2^n} D$$

$$= -\frac{-10V}{2^{10}} \times 963$$

$$= 9.40V$$

练习2 若 V_{REF} = +10V, 则 V_o = 9.40V

若 D9...D0 = 1111111111, 则 V_o = -(1023/1024) × 10V

D/A转换器的主要参数

分辨率：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。

$$\text{位数}n=10 \quad \text{分辨率} = \frac{1}{2^{10}-1} = 0.001$$

$$\text{位数}n=12 \quad \text{分辨率} = \frac{1}{2^{12}-1} = 0.00024$$

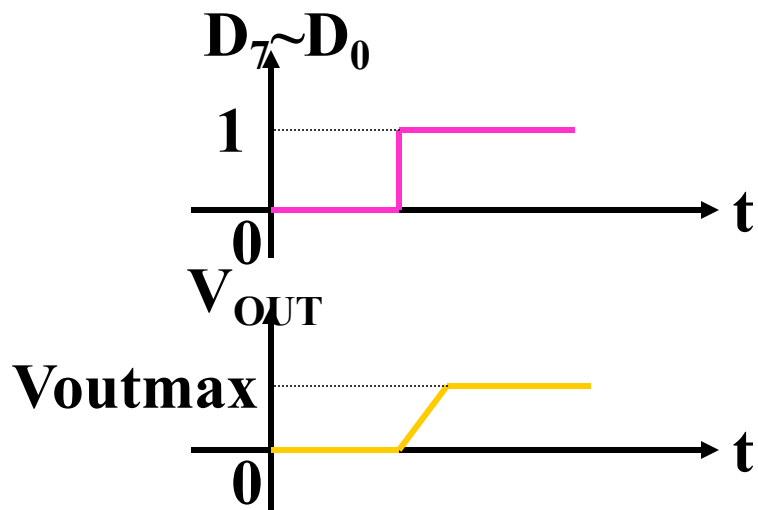
$$\text{分辨率百分比} = \frac{1}{2^{12}-1} \times 100\% = 0.0244\%$$

分辨率百分比是指输入数字量的最低有效位变化将导致输出变化相当于满量程的**0.0244%**。

位数越多，分辨率越小，分辨能力越高。

D/A转换器的主要参数

建立时间：指输入 $D_7 \sim D_0$ 从00000000变到11111111满量程时，输出模值从0变到最大满度值所需时间。

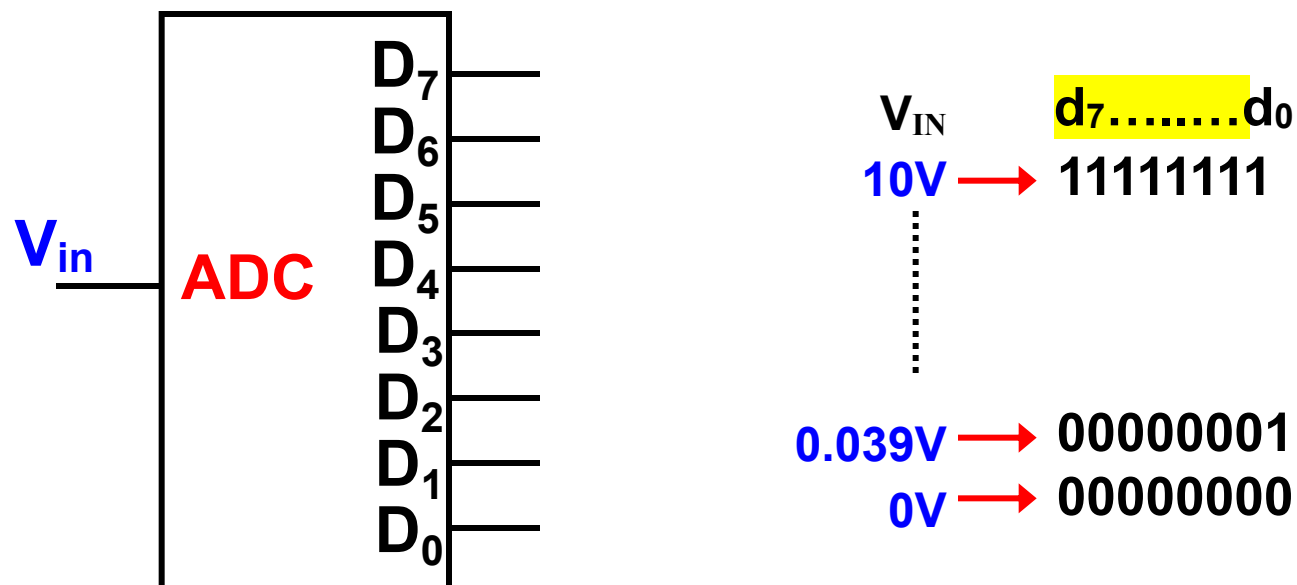


目前在不包含运算放大器的单片集成 D/A 转换器中，建立时间最短可达 $0.1\mu s$ 以内。

在包含运算放大器的单片集成 D/A 转换器中，建立时间最短可达 $1.5\mu s$ 以内。

§ 8-3 A/D转换器 (ADC)

一、ADC



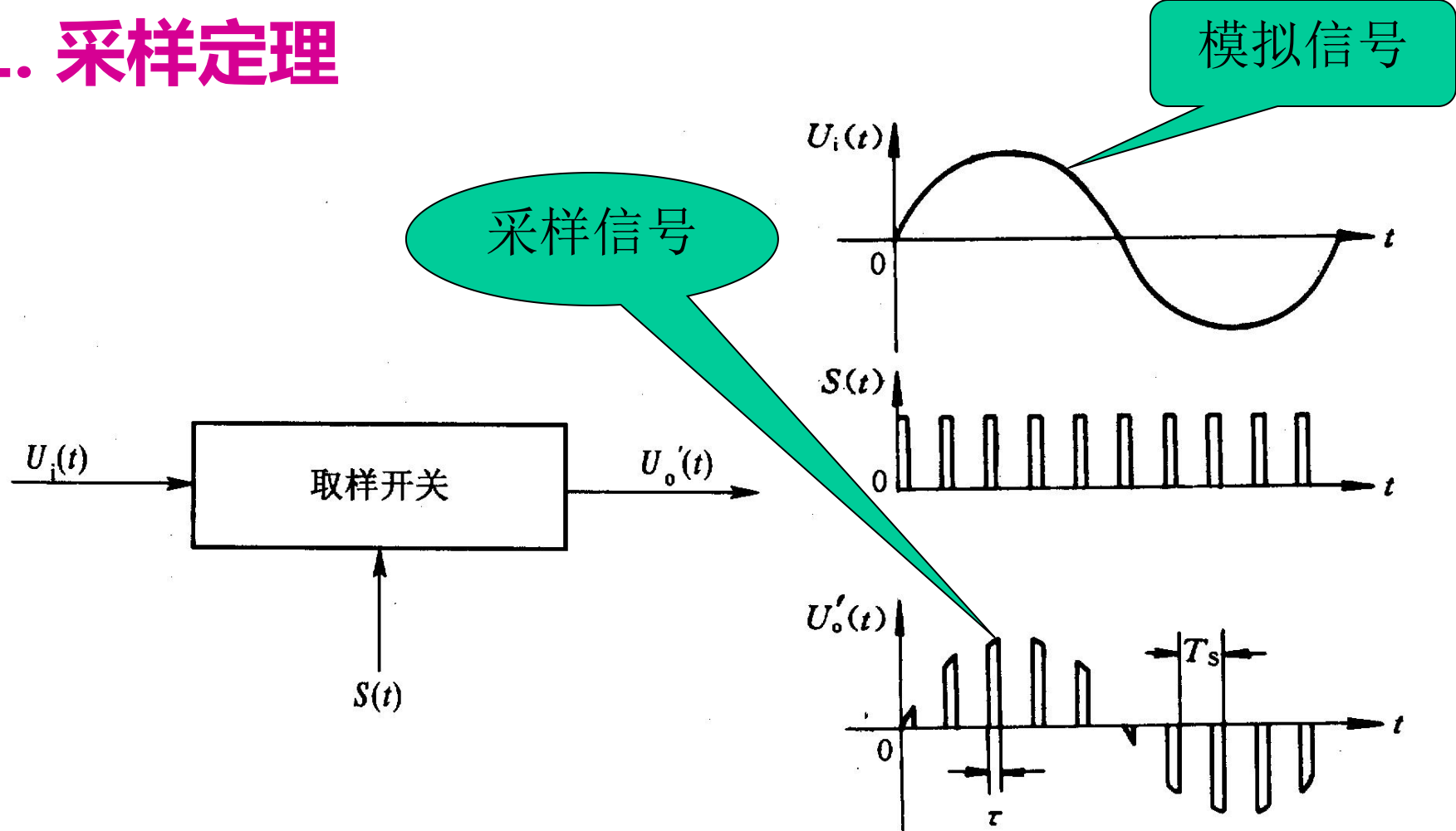
§ 8-3 A/D转换器（ADC）

§ 8-3-1 A/D转换器的基本原理

由于模拟量时间上连续，数字量离散，所以转换时在时轴上的规定点对模拟信号采样，一般步骤为：

采样 \longrightarrow 保持 \longrightarrow 量化 \longrightarrow 编码

1. 采样定理

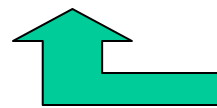


取样频率 f_s 必须大于等于输入模拟信号包含的最高频率 f_{\max} 的两倍，即：

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

2. 量化和编码 音

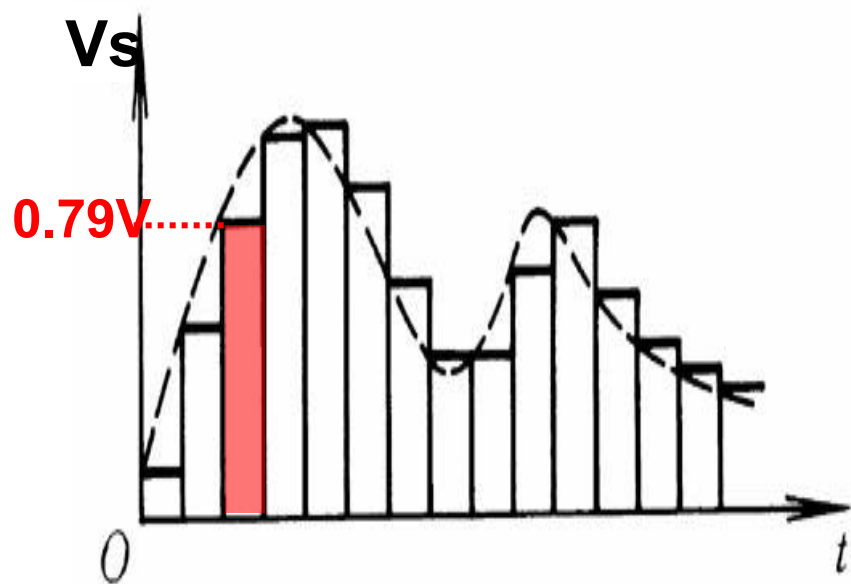
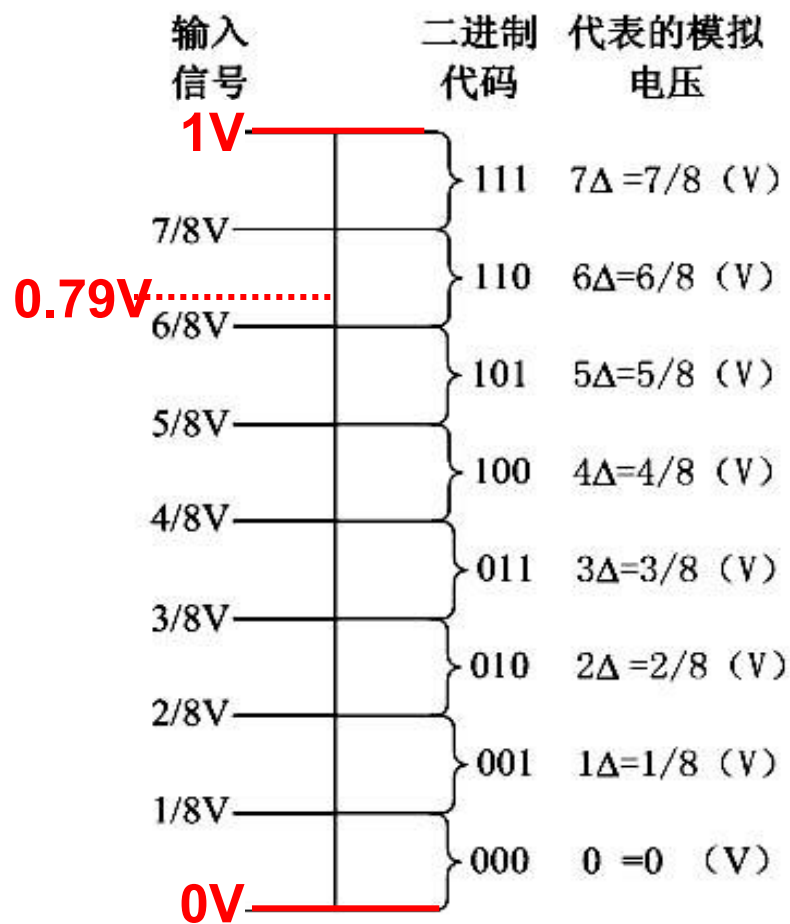
将采样电压转化为数字量最小数量单位的
整数倍的过程——量化



用 Δ 表示

将量化结果用代码表示出来——编码

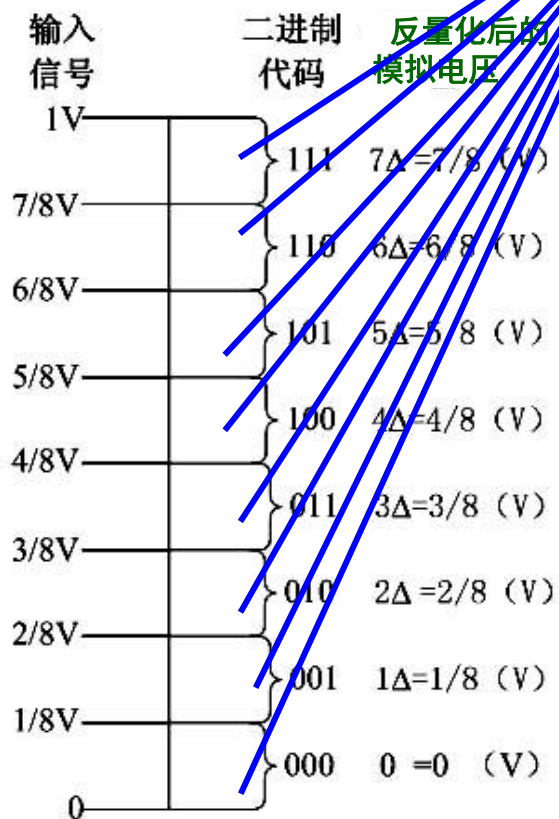
由于模拟量不一定能被 Δ 整除——量化误差



量化误差 = $\Delta = 1/8 \text{ V}$,

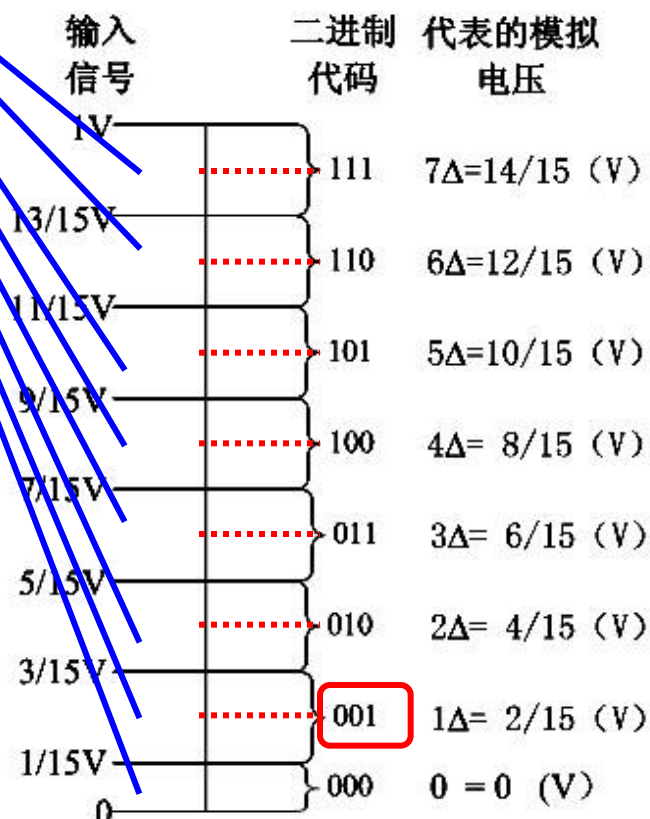
量化和编码

分成8份



量化误差 = $\Delta = 1/8 \text{ V}$,

改进
量化
方法



量化误差 = $(1/2) \Delta = 1/15 \text{ V}$,

并联比较型

1、并联比较型A/D转换器

寄存器：由七个D触发器构成。在时钟脉冲 CLK 的作用下，将比较结果暂时寄存，以供编码用。

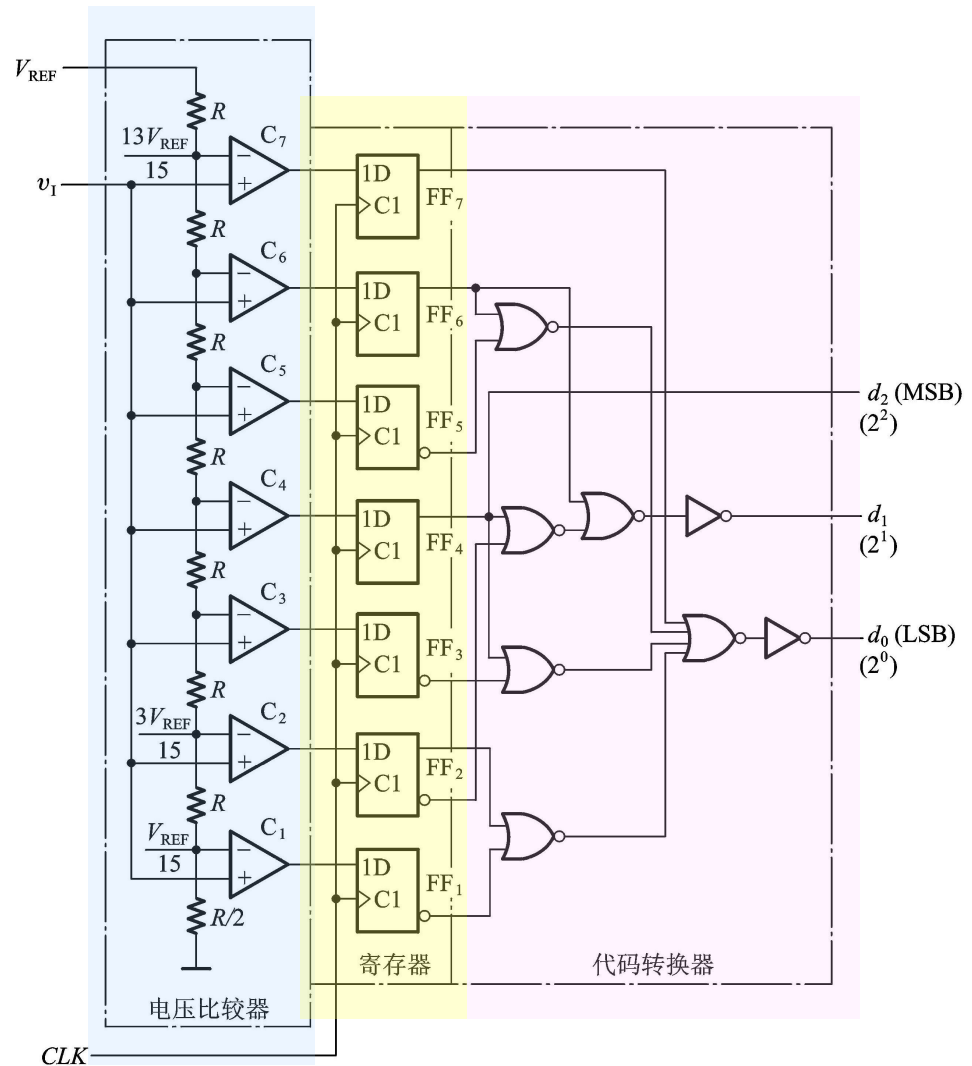
编码器：将比较器送来的七位二进制码转换成三位二进制代码 d_2 、 d_1 、 d_0 。

编码网络的逻辑关系为

$$d_2 = Q_4$$

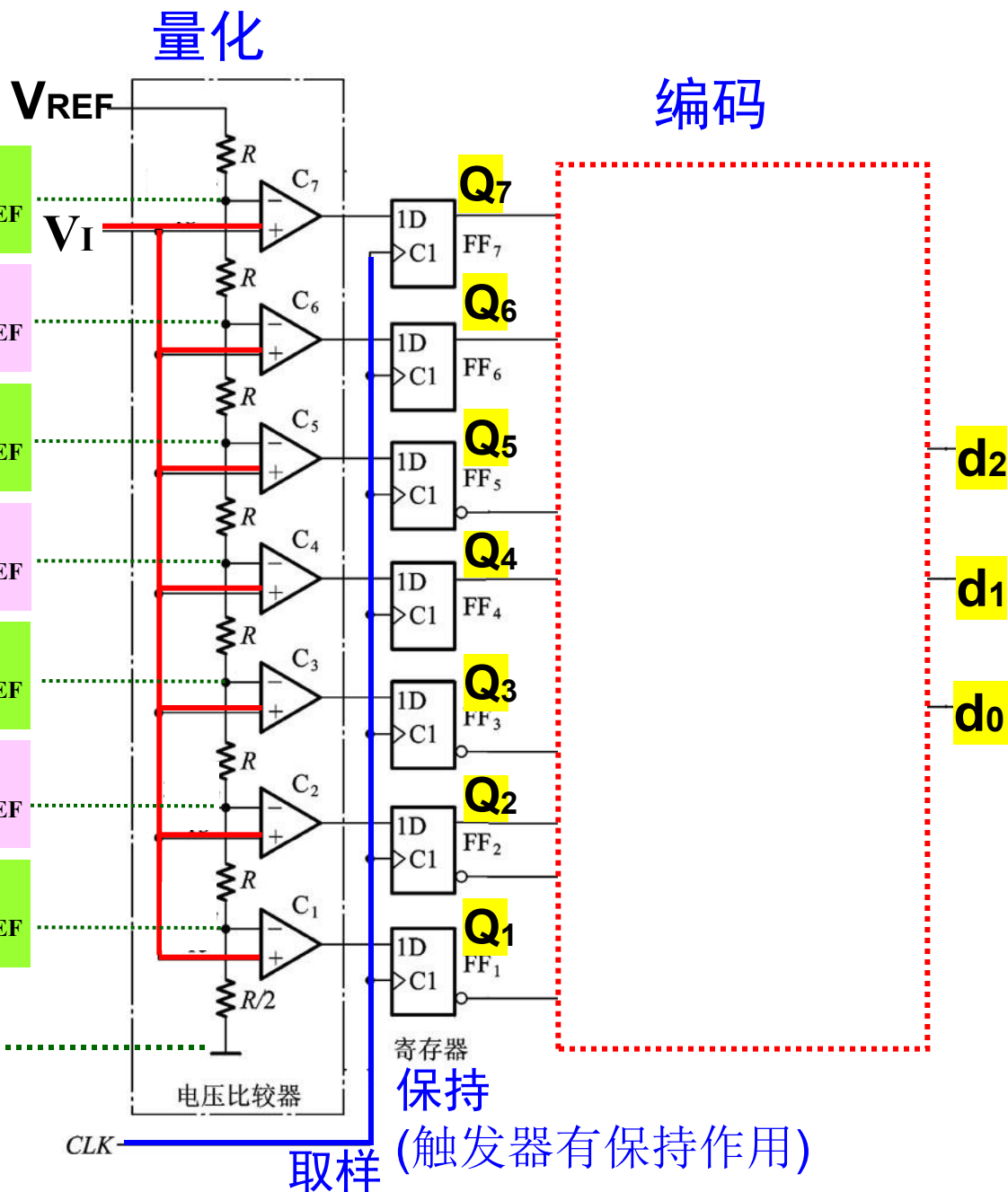
$$d_1 = Q_6 + Q_4'Q_2$$

$$d_0 = Q_7 + Q_6'Q_5 + Q_4'Q_3 + Q_2'Q_1$$



.....	Q₇.....Q₁
$\frac{13}{15}V_{REF} \sim \frac{15}{15}V_{REF} \rightarrow 1111111$	
.....	
$\frac{11}{15}V_{REF} \sim \frac{13}{15}V_{REF} \rightarrow 0111111$	
.....	
$\frac{9}{15}V_{REF} \sim \frac{11}{15}V_{REF} \rightarrow 0011111$	
.....	
$\frac{7}{15}V_{REF} \sim \frac{9}{15}V_{REF} \rightarrow 0001111$	
.....	
$\frac{5}{15}V_{REF} \sim \frac{7}{15}V_{REF} \rightarrow 0000111$	
.....	
$\frac{3}{15}V_{REF} \sim \frac{5}{15}V_{REF} \rightarrow 0000011$	
.....	
$\frac{1}{15}V_{REF} \sim \frac{3}{15}V_{REF} \rightarrow 0000001$	
.....	
$0 \sim \frac{1}{15}V_{REF} \rightarrow 0000000$	
.....	

$\frac{13}{15}V_{REF}$
$\frac{11}{15}V_{REF}$
$\frac{9}{15}V_{REF}$
$\frac{7}{15}V_{REF}$
$\frac{5}{15}V_{REF}$
$\frac{3}{15}V_{REF}$
$\frac{1}{15}V_{REF}$
0V

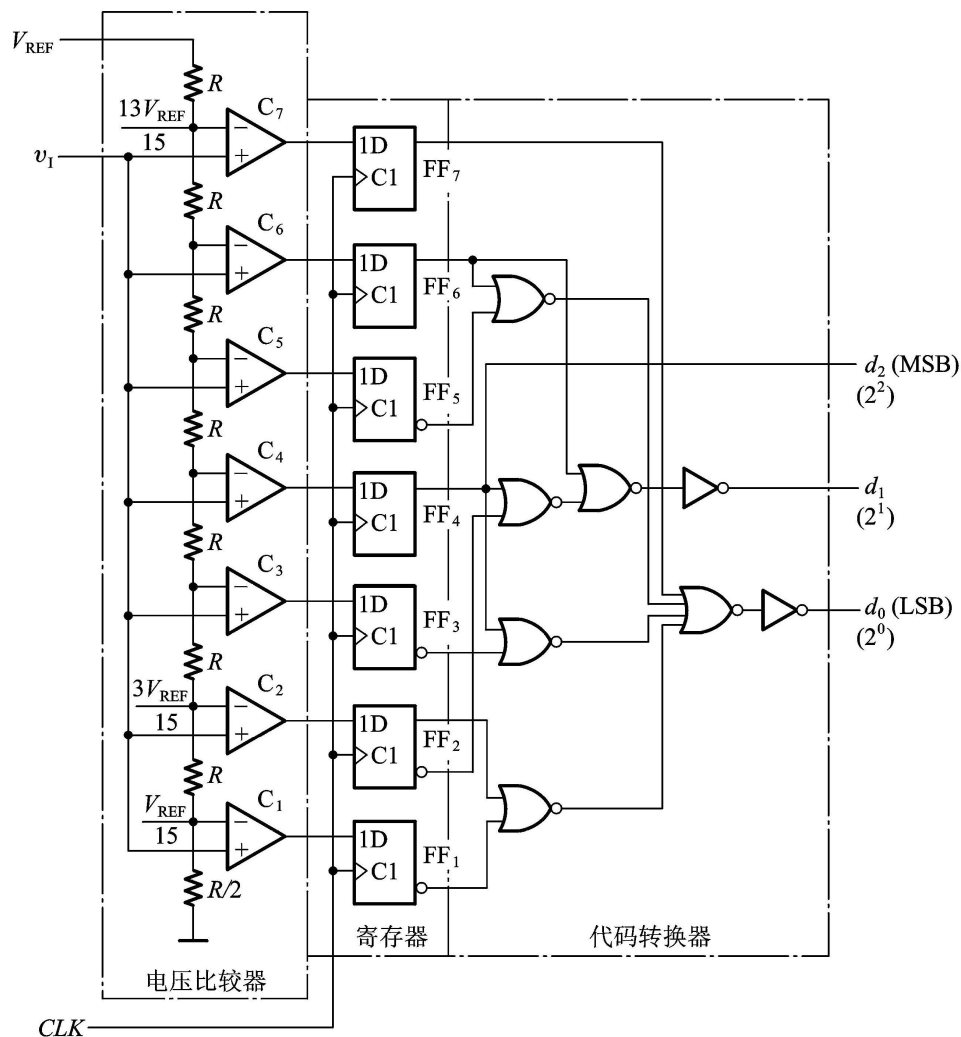


编码表

v_I 输入范围	Q_7	Q_6	Q_5	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1	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
$(\frac{13}{15} \sim 1)V_{REF}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

K图化简，或直接观察

$$\left\{ \begin{array}{l} d_2 = Q_4 \\ d_1 = Q_6 + Q'_4 Q_2 \\ d_0 = Q_7 + Q'_6 Q_5 + Q'_4 Q_3 + Q'_2 Q_1 \end{array} \right.$$



电路特点：

- 1) 快，CLK触发信号到达到输出
稳定建立只需几十纳秒
- 2) 电路规模大， n 位需要 2^n-1 个
比较器，触发器
- 3) 精度受参考电压、分压网络
等因素影响

因此，这种转换器适用于**高速**，**精度较低**的场合。

2、逐次渐近型

(1)高位先置“1”

若 $\begin{cases} V_o > V_i, \text{则去掉“1”，改为“0”} \\ V_o < V_i, \text{则保留1} \end{cases}$

(2)再将次高位置“1”

⋮

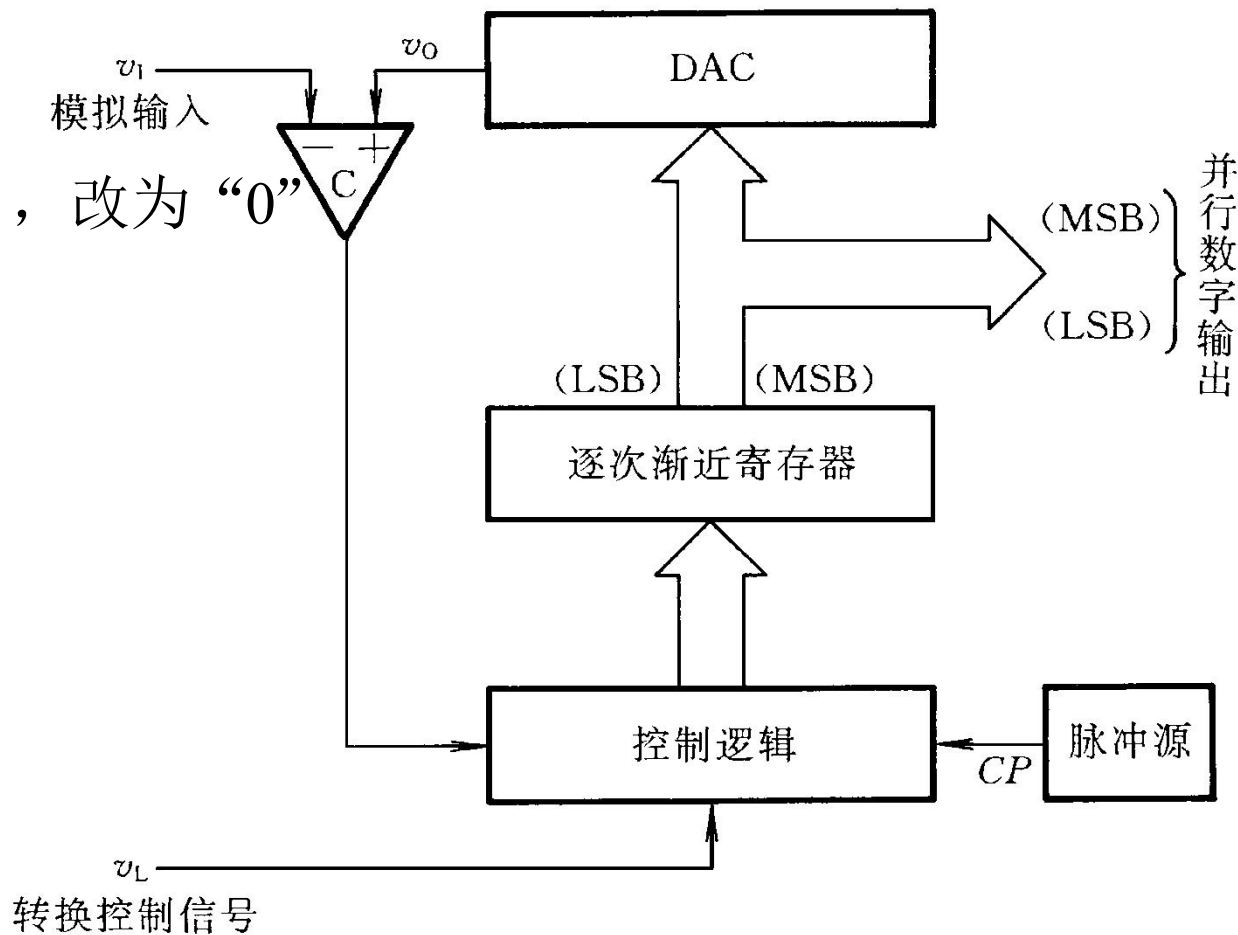
$n \dots$



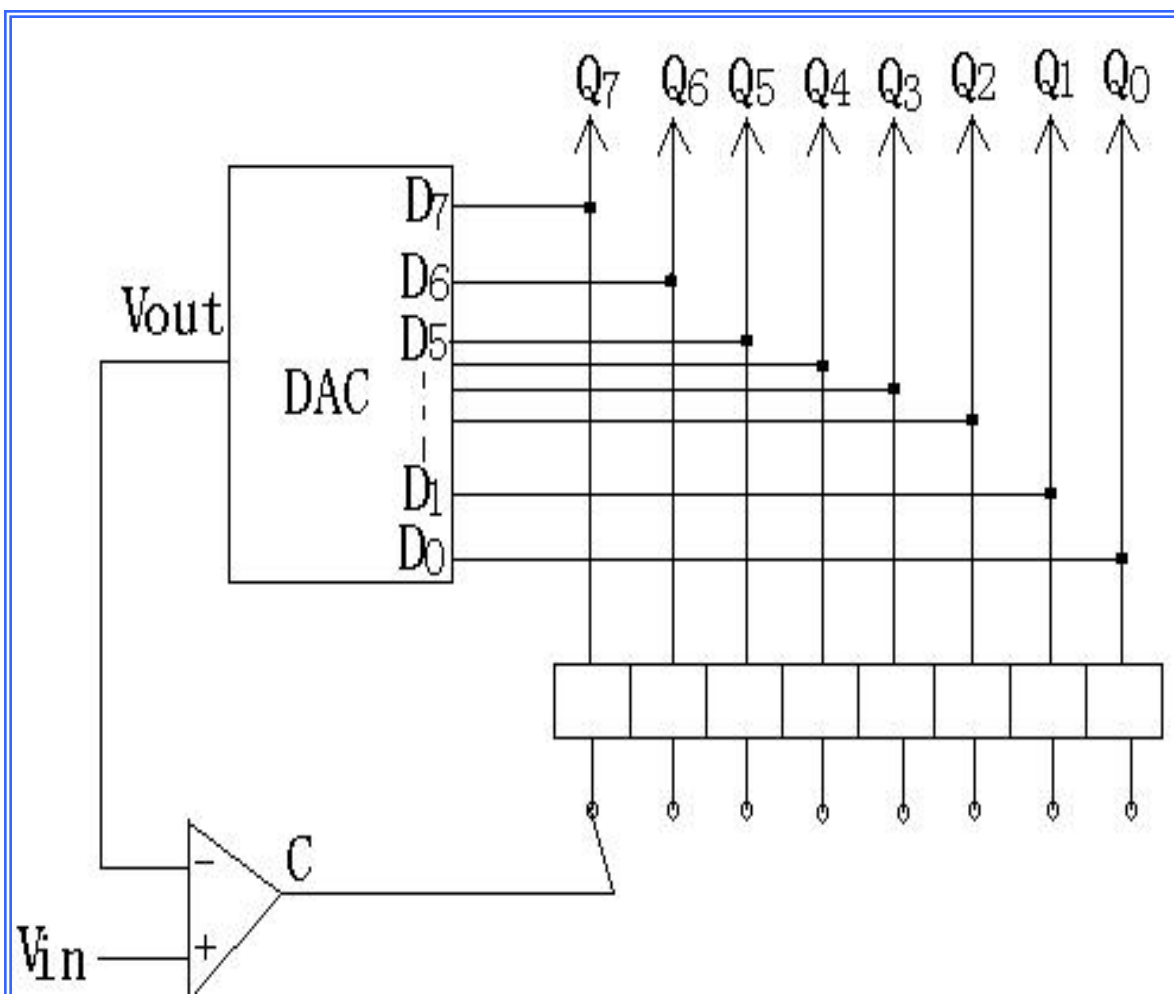
只要比较 n 次就够了

！ 电路不太复杂

！ 较快



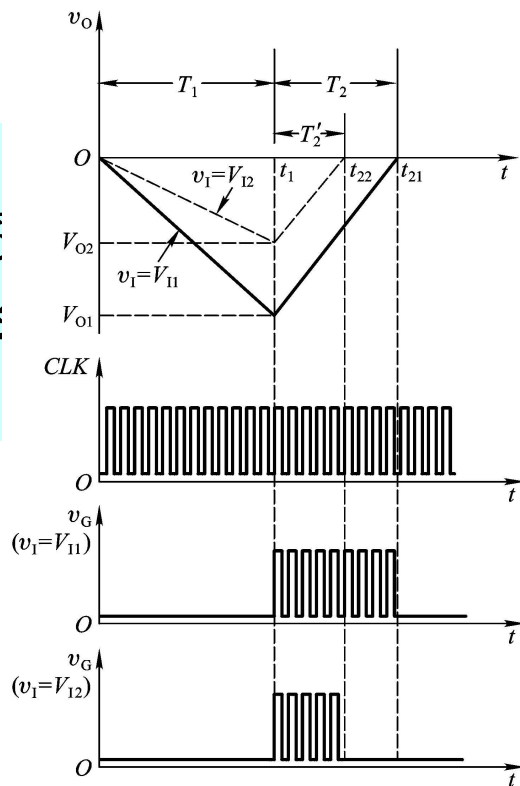
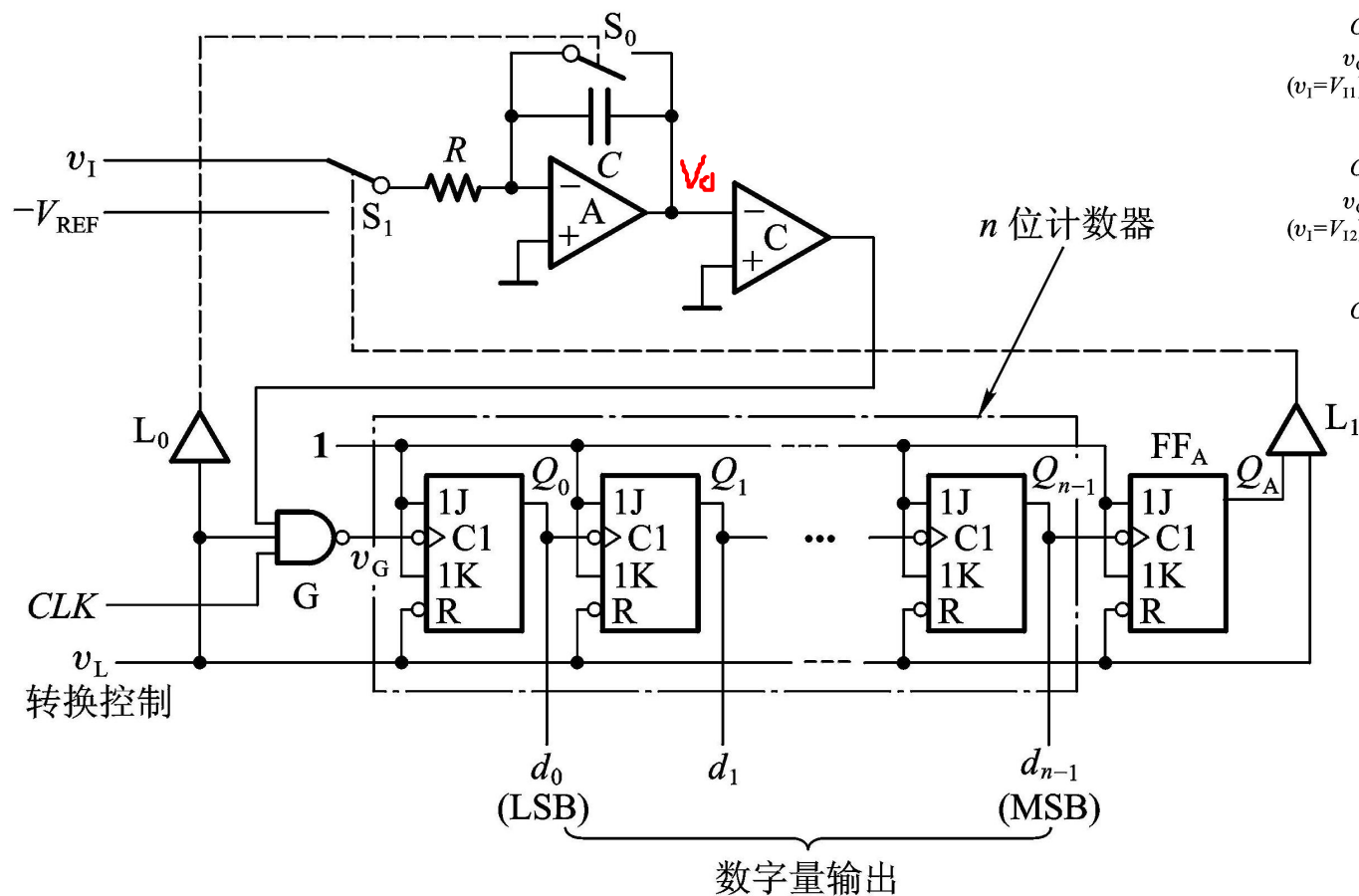
逐次逼近式



3、间接A/D转换器

一、双积分型（V-T变换型）

先将模拟电压 V 转换成与之成正比的时间 T ，在时间 T 内用固定频率脉冲计数，计数结果就是的数字量。



双积分型A/D转换器

双积分型（V-T变换型）

先将V转换成与之成正比的时间宽度信号，然后在这个时间内用固定频率脉冲计数

$$T_2 = \frac{V_I}{V_{REF}} T_1$$

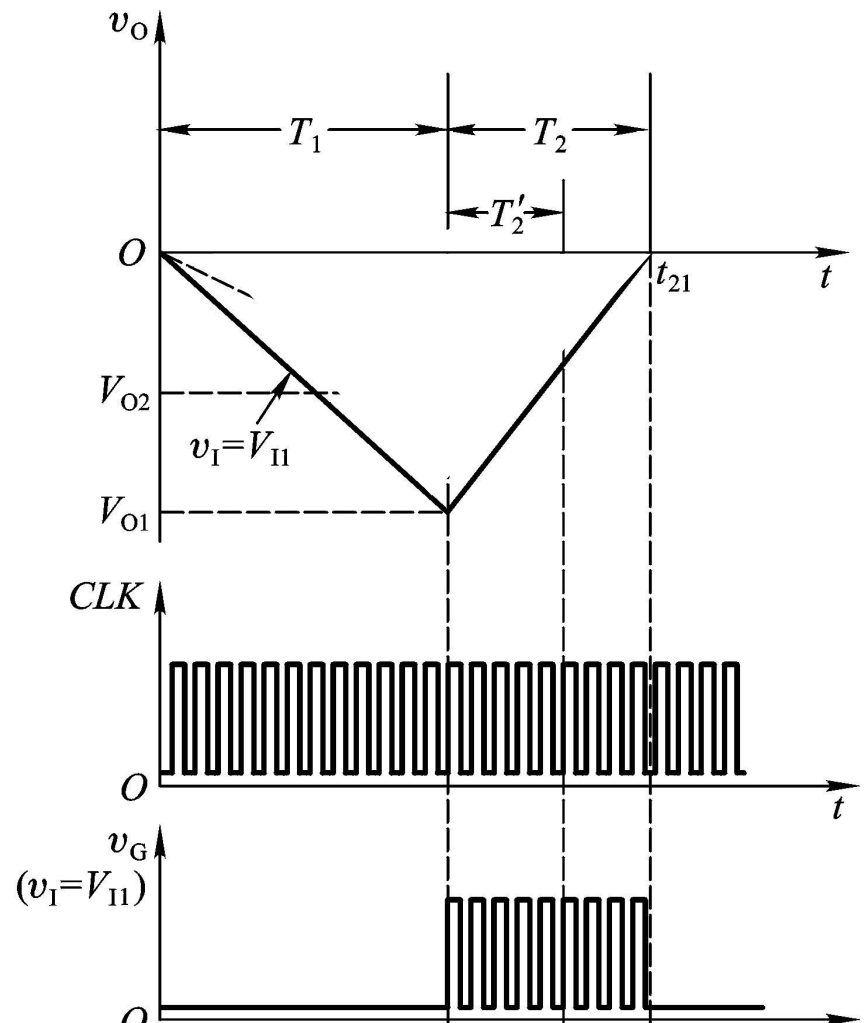
若 T_1 时间段内计数器能数 2^n 个时钟

$$T_1 = 2^n T_{CLK}$$

则 T_2 时间段内计数值为

$$\text{计数值 } D = \frac{V_I}{V_{REF}} 2^n$$

要求 $V_I < V_{REF}$



双积分型A/D转换器

双积分型ADC的转换原理是先将模拟电压 U_I 转换成与其大小成正比的时间间隔 T ，再利用基准时钟脉冲通过计数器将 T 变换成数字量。

这种转换器被广泛应用于要求精度较高而转换速度要求不高的仪器中。

几种A/D转换器的性能比较

A/D类型:

直接 A/D	{	并联比较型
		反馈比较型: <u>逐次比较型</u> , 计数型。
间接 A/D	{	电压-时间变换型 ($V-T$): <u>双积分型</u>
		电压-频率变换型 ($V-F$)

二、性能比较:

优点

缺点

并联比较型

转换速度高

转换精度差

逐次比较型

分辨率高、误差低

转换速度较快

双积分型

性能稳定

转换速度低

转换精度高

抗干扰能力强

转换时间

转换时间是指A/D转换器从接到转换启动信号开始，到输出端获得稳定的数字信号所经过的时间。

A/D转换器的转换速度主要取决于转换电路的类型，不同类型A/D转换器的转换速度相差很大。

- ①双积分型A/D转换器的转换速度**最慢**，需**几百毫秒**左右；
- ②逐次逼近式A/D转换器的转换速度**较快**，需**几十微秒**；
- ③并行比较型A/D转换器的转换速度**最快**，仅需**几十纳秒**时间。