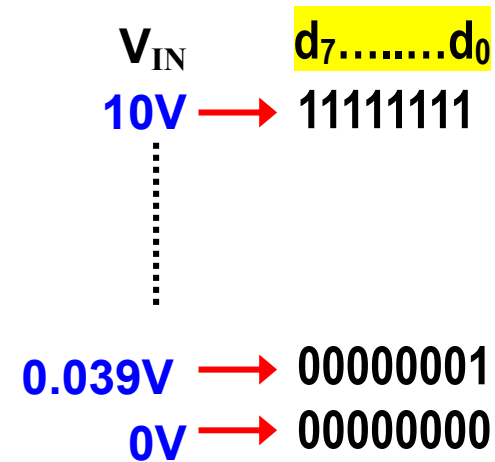
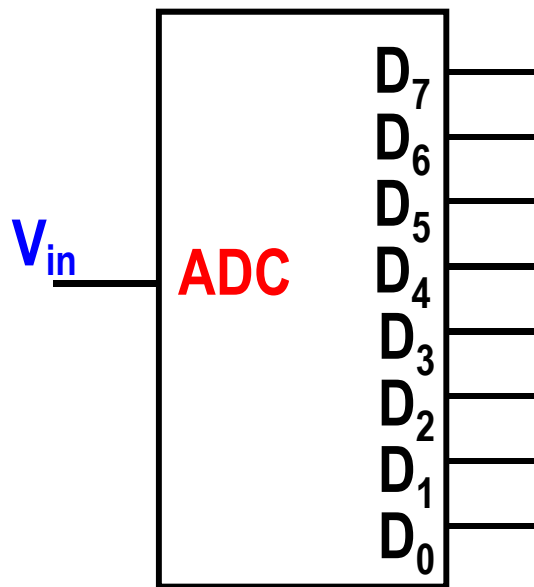
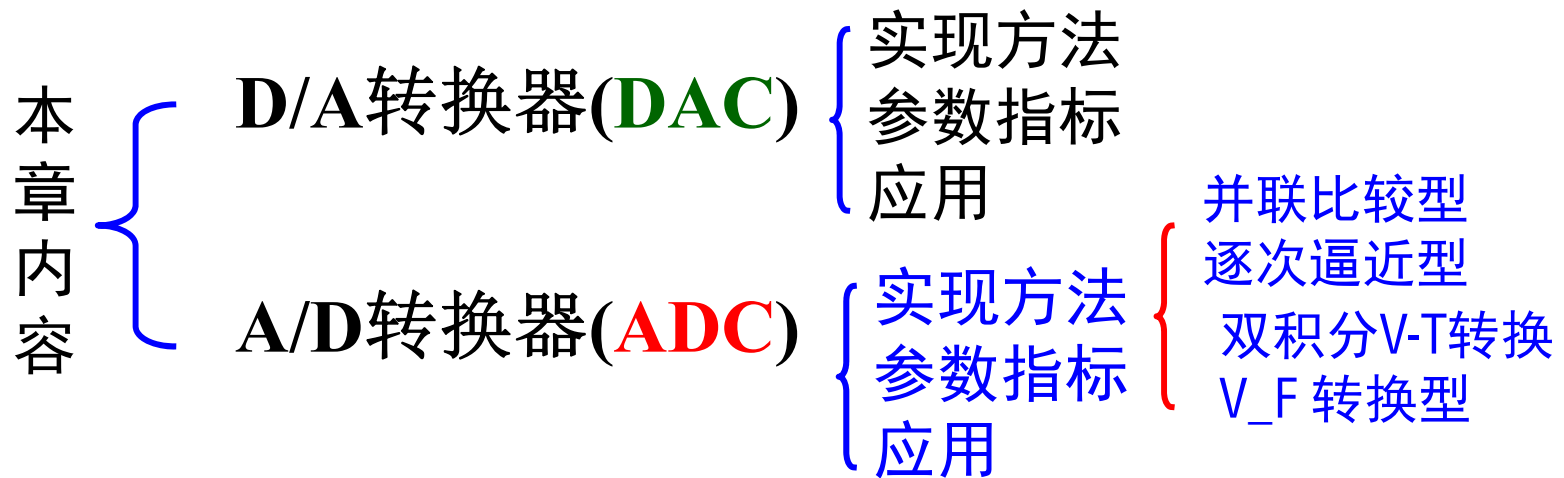


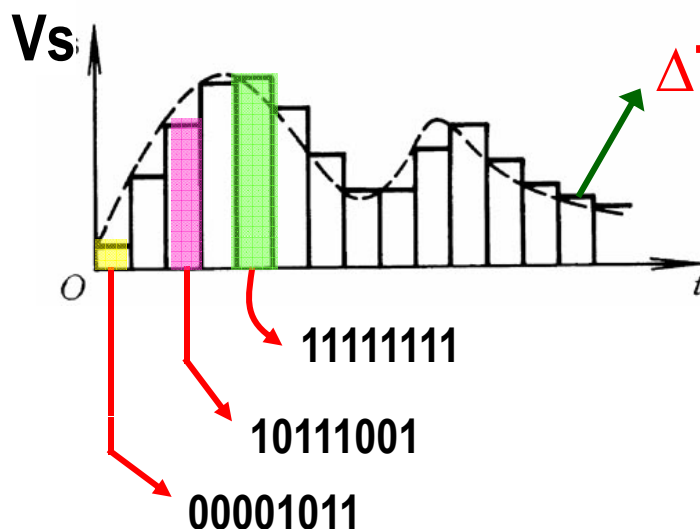
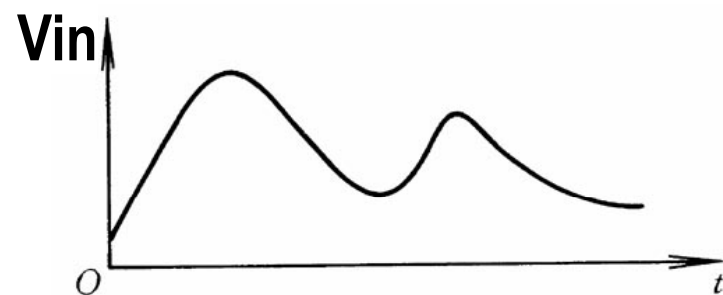
第八章 数-模和模-数转换



一、A/D转换器的基本原理

将时间和幅度连续的模拟量转换成时间和幅度离散的数字量，一般步骤为：

取样---保持 → 量化 → 编码

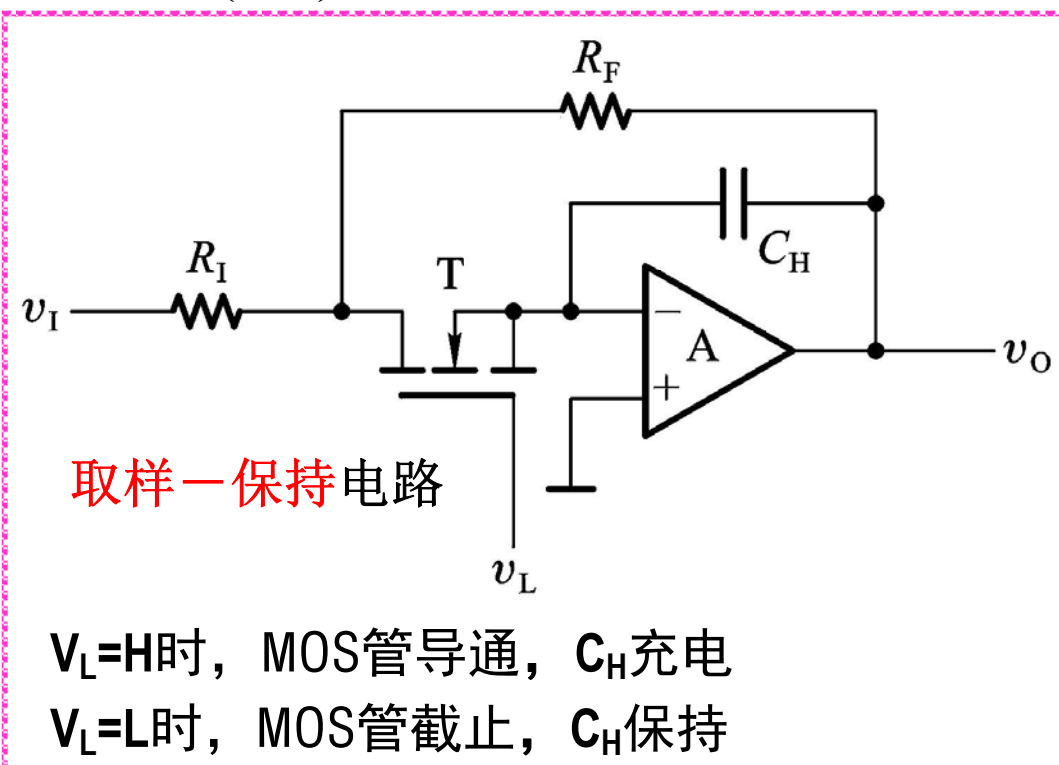
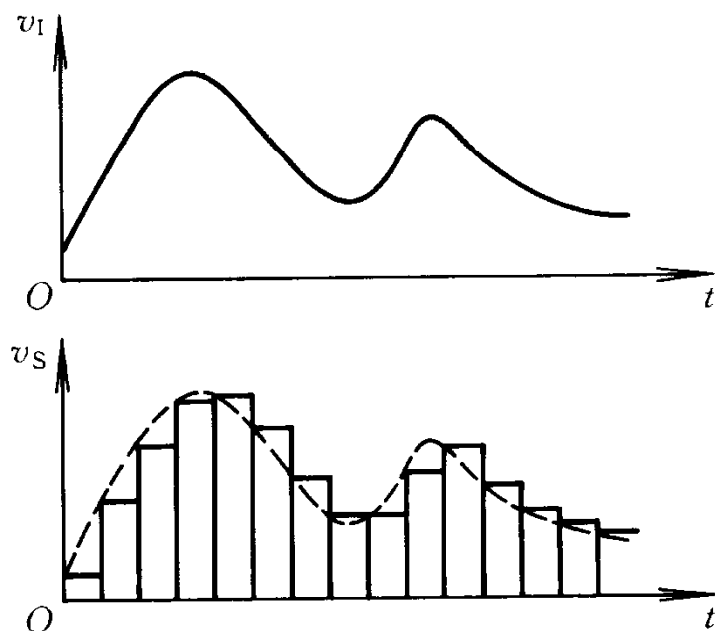


取样 → 量化 → 编码

1. 取样定理 (sample)

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

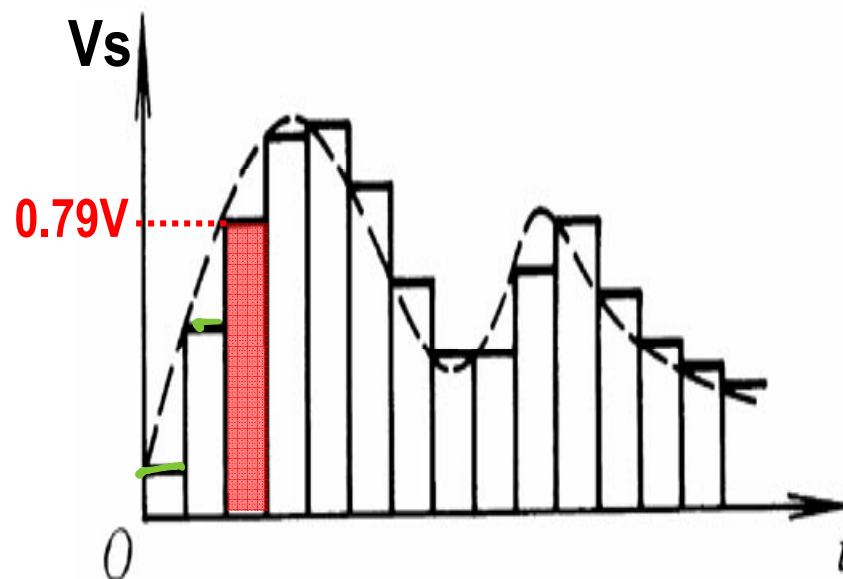
$f_{i\max}$ 的两倍，即： $f_s \geq 2f_{i(\max)}$



2. 量化和编码

- 将取样电压表示为最小数量单位 (Δ) 的整数倍——**量化**
- 将量化结果用代码表示出来——**编码** (包含多少个量化台阶 Δ)
- 当采样电压不能被 Δ 整除时——**量化误差**

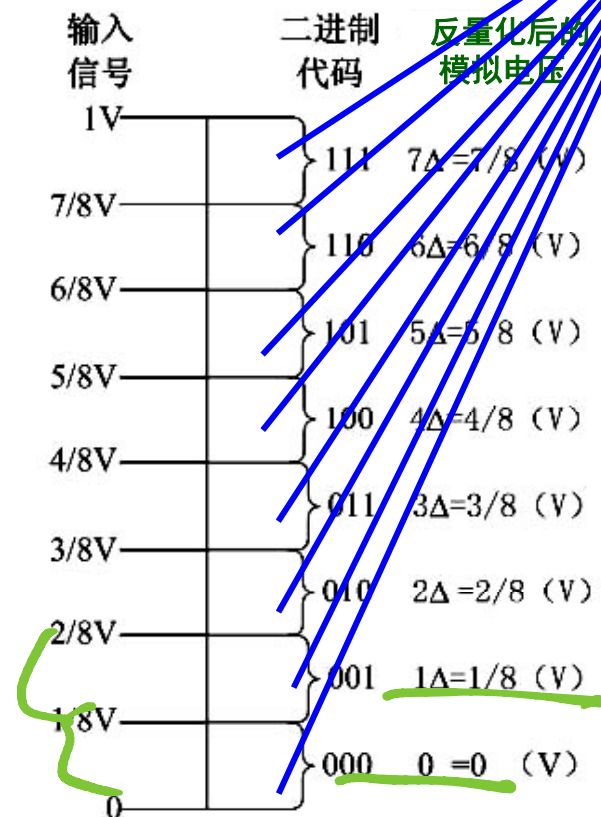
输入信号	二进制代码	代表的模拟电压
1V		
7/8V	111	$7\Delta = 7/8 \text{ (V)}$
6/8V	110	$6\Delta = 6/8 \text{ (V)}$
5/8V	101	$5\Delta = 5/8 \text{ (V)}$
4/8V	100	$4\Delta = 4/8 \text{ (V)}$
3/8V	011	$3\Delta = 3/8 \text{ (V)}$
2/8V	010	$2\Delta = 2/8 \text{ (V)}$
1/8V	001	$1\Delta = 1/8 \text{ (V)}$
0V	000	$0 = 0 \text{ (V)}$



量化误差 = $\Delta = 1/8 \text{ V}$,

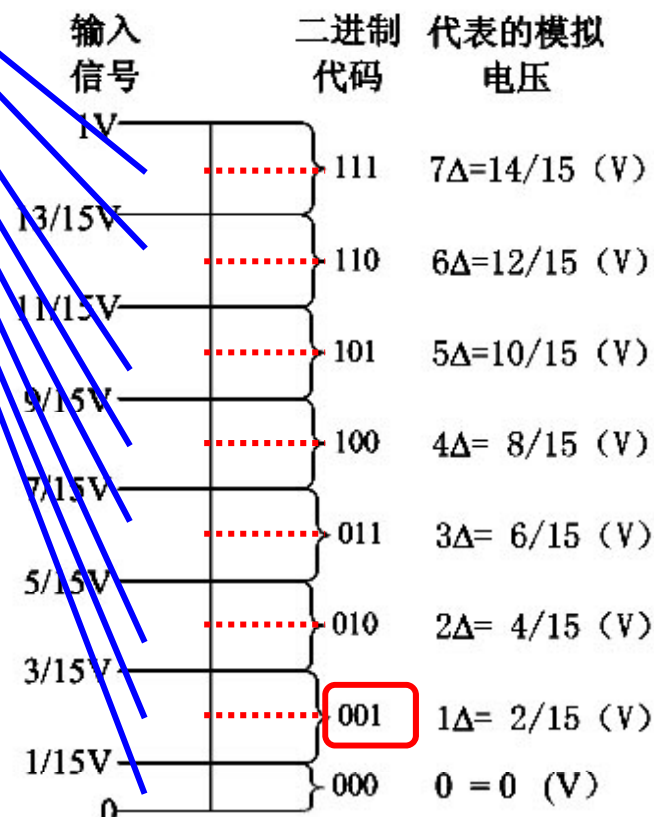
量化和编码

分成8份



量化误差 = $\Delta = 1/8$ V,

改进
量化
方法



量化误差 = $(1/2) \Delta = 1/15$ V,

不均匀怎么办?

减小量化误差

A/D转换器电路实现

2. 并联比较型A/D

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。

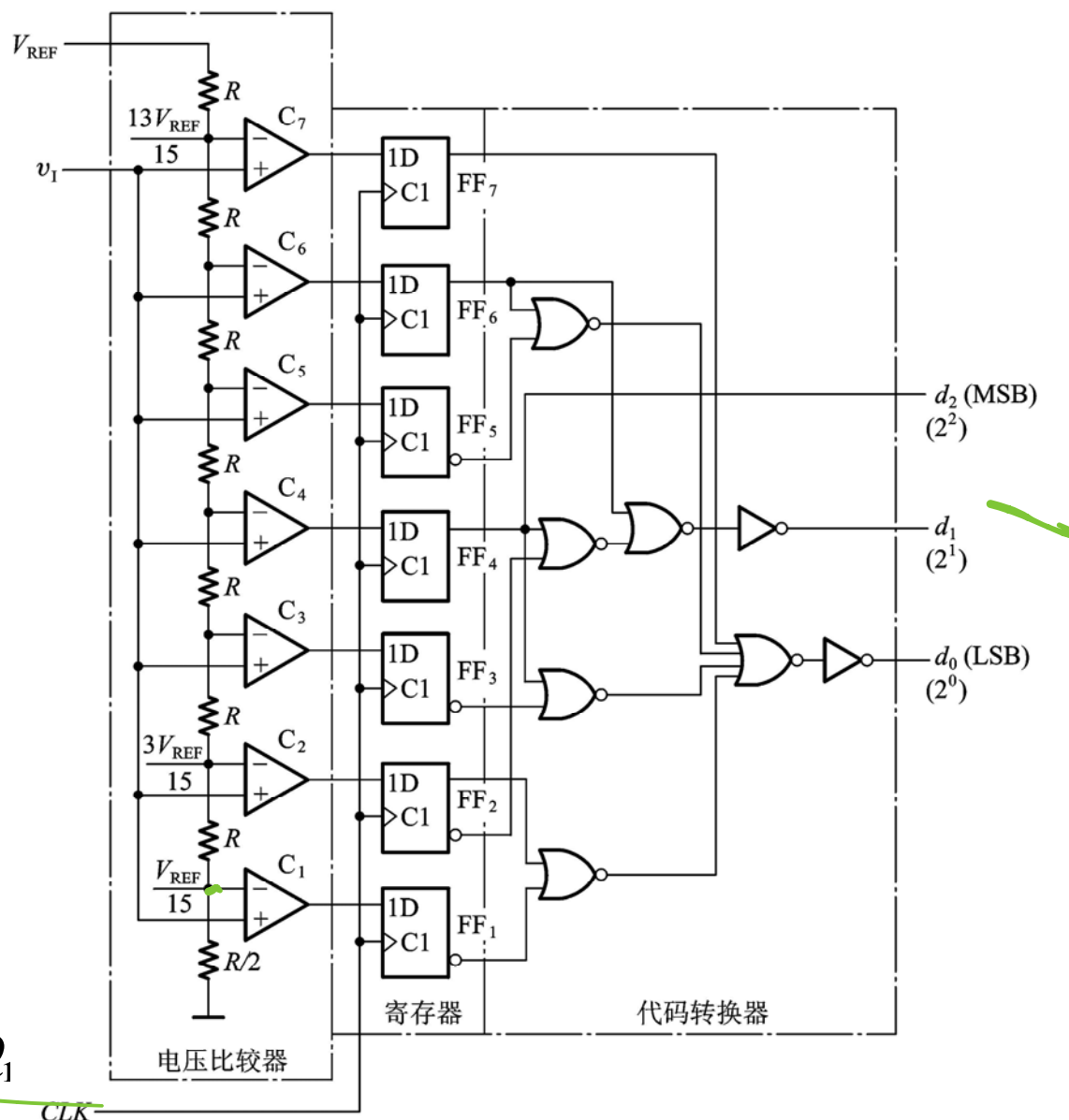
编码器：将比较器送来的七位二进制码转换成三位二进制代码 d_2 、 d_1 、 d_0 。

编码网络的逻辑关系为

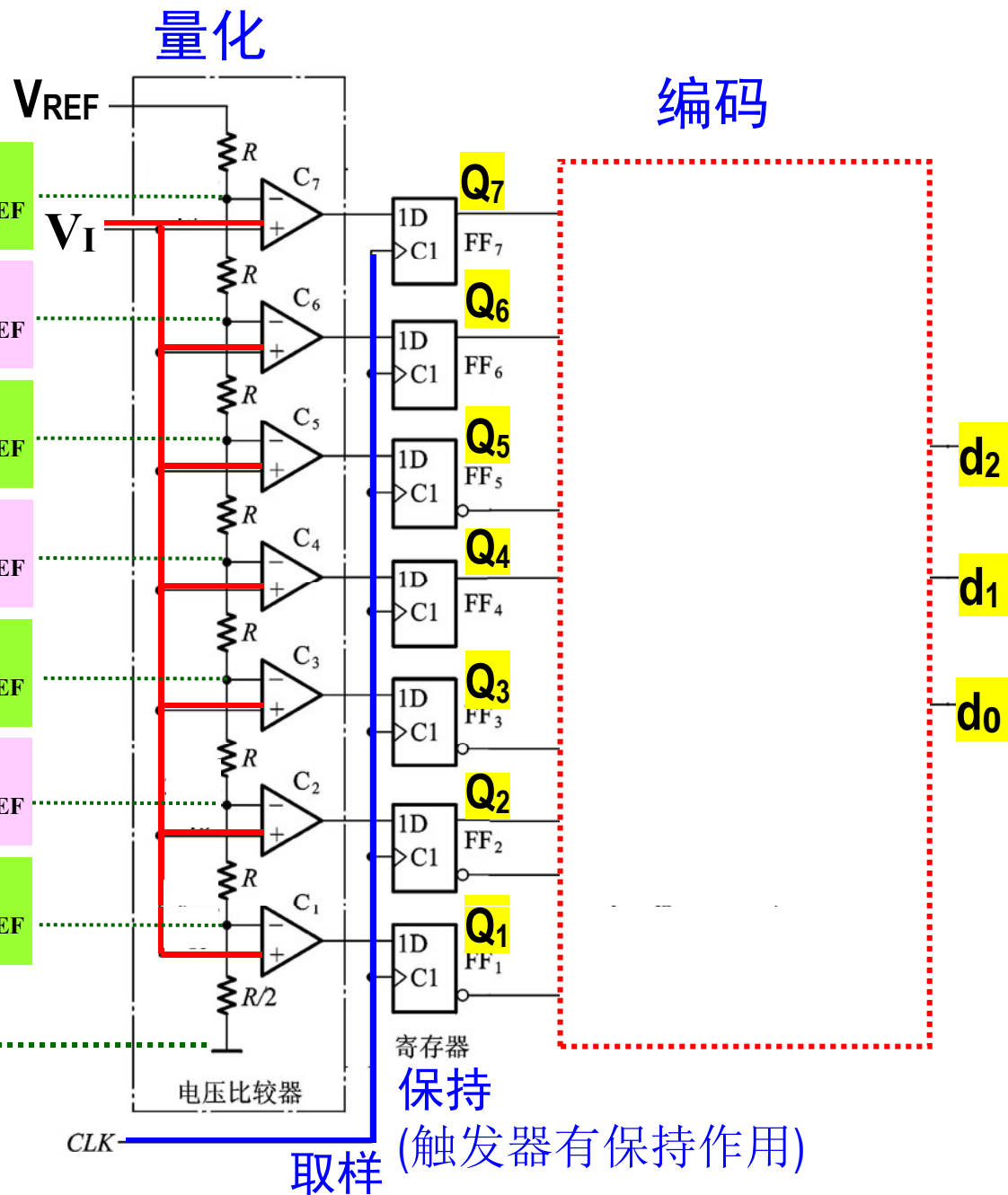
$$d_2 = Q_4$$

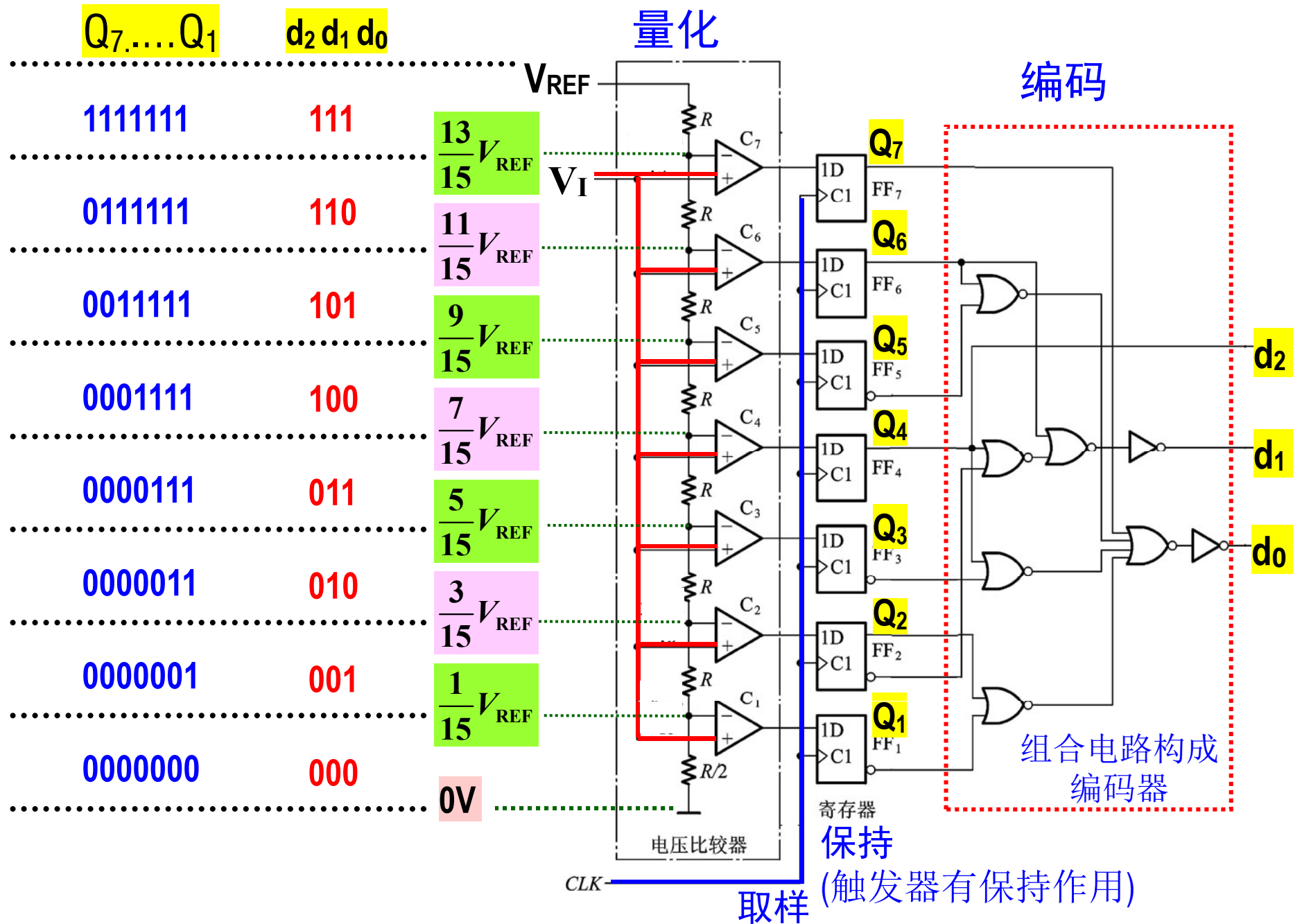
$$d_1 = Q_6 + Q_4'Q_2$$

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



.....	$Q_7 \dots Q_1$
$\frac{13}{15}V_{REF} \sim \frac{15}{15}V_{REF} \rightarrow 1111111$	
.....	
$\frac{11}{15}V_{REF} \sim \frac{13}{15}V_{REF} \rightarrow 0111111$	
.....	
$\frac{9}{15}V_{REF} \sim \frac{11}{15}V_{REF} \rightarrow 0011111$	
.....	
$\frac{7}{15}V_{REF} \sim \frac{9}{15}V_{REF} \rightarrow 0001111$	
.....	
$\frac{5}{15}V_{REF} \sim \frac{7}{15}V_{REF} \rightarrow 0000111$	
.....	
$\frac{3}{15}V_{REF} \sim \frac{5}{15}V_{REF} \rightarrow 0000011$	
.....	
$\frac{1}{15}V_{REF} \sim \frac{3}{15}V_{REF} \rightarrow 0000001$	
.....	
$0 \sim \frac{1}{15}V_{REF} \rightarrow 0000000$	
.....	
$0V$	





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

$$d_2 = Q_4$$

$$d_1 = Q_6 + Q'_4 Q_2$$

$$d_0 = Q_7 + Q'_6 Q_5 + Q'_4 Q_3 + Q'_2 Q_1$$

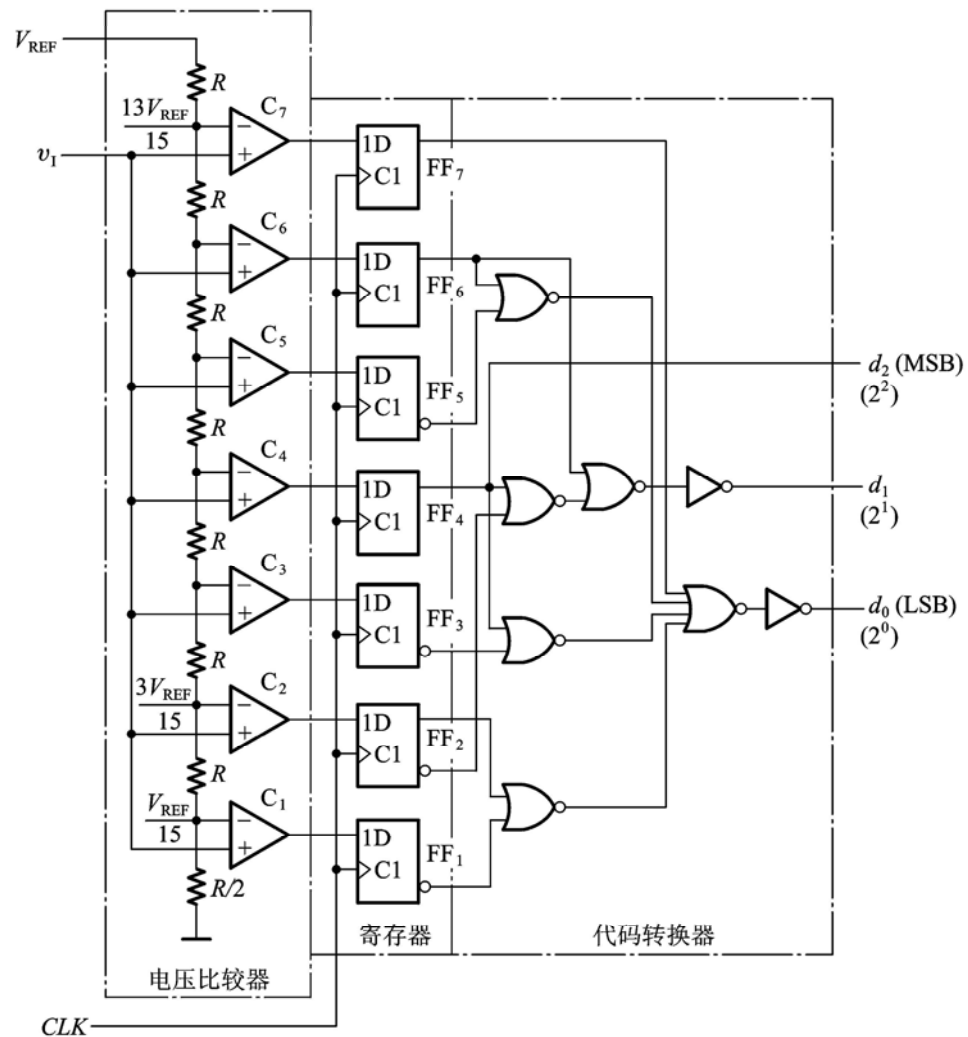
例，假设模拟输入 $v_I = 3.8V$ ， $V_{REF} = 8V$ 。当模拟输入 $v_I = 3.8V$ 加到各级比较器时，由于

$$\frac{7}{15} V_{REF} = 3.7V$$

$$\frac{9}{15} V_{REF} = 4.8V$$

$$v_I = 3.8V$$

因此，比较器的输出 $C_7 \sim C_1$ 为 0001111。在时钟脉冲作用下，比较器的输出存入寄存器，经编码网络输出 A/D 转换结果： $d_2 d_1 d_0 = 100$ 。

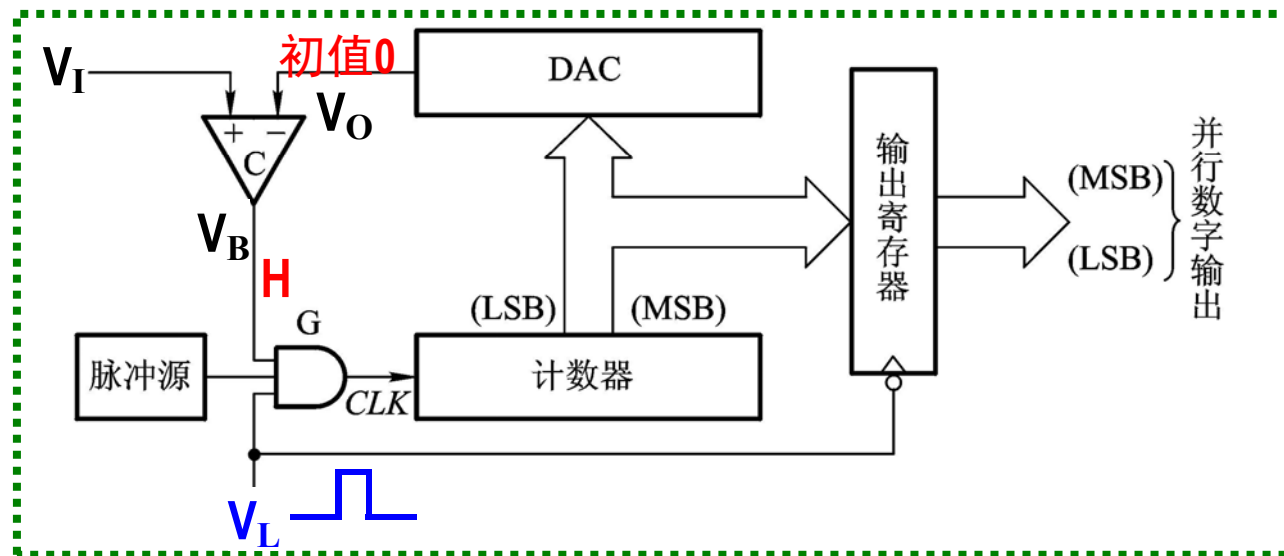


电路特点:

- 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

3. 反馈比较型A/D——计数型

基本原理：取一个“D”加到DAC上，得到模拟输出电压，将该值与输入电压比较，如两者不等，则调整D的大小，到相等为止，则D为所求值。



！简单
！慢

3 周

1. 起始状态：计数器清零， $v_L = 0$

2. $v_L = 1$, 转换开始

$V_I > 0, V_O = 0, \rightarrow V_B = H$ 计数器开始计数，

直到 $v_O = v_I, V_B = L$ 。此时计数器的值即为所求的输出数字信号

转换时间： $(2^n - 1)T_{CLK}$

4. 反馈比较型A/D——逐次逼近型

全部比较后， V_i 与 V_o 仍然不等，
差值<量化误差，
ADC 位数越多，结果越精确

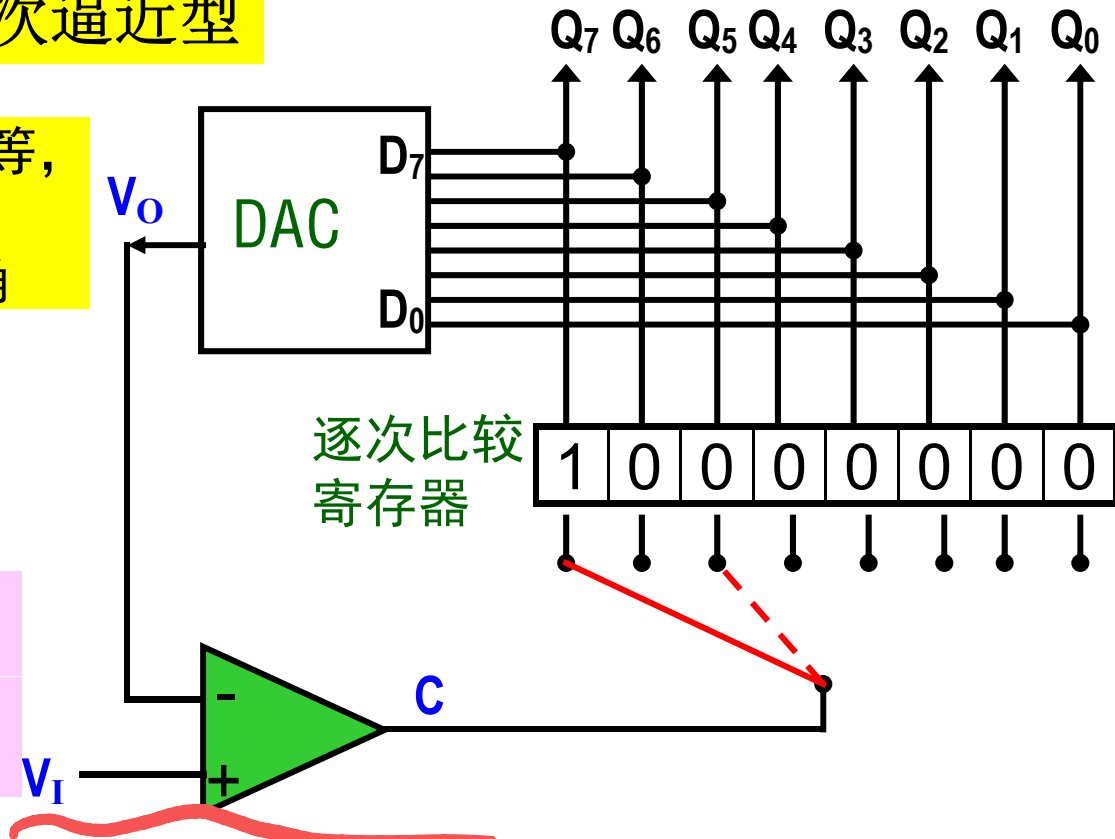
转换时间：

3位：5个CLK

n位：(n+2)个CLK

！ 电路不太复杂

！ 较快



第1次比较：令 $Q_7=1$ ，DAC后若 $V_i > V_o$ ， $\rightarrow C=1$ ，说明把 V_i 量化成10000000太小，保留 $Q_7=1$

第2次比较：令 $Q_6=1$ ，DAC后若 $V_i < V_o$ ， $\rightarrow C=0$ ，说明把 V_i 量化成11000000太大，修改 $Q_6=0$

第3次比较：令 $Q_5=1$ ，DAC后若 $V_i > V_o$ ， $\rightarrow C=1$ ，说明把 V_i 量化成10100000太小，修改 $Q_5=1$

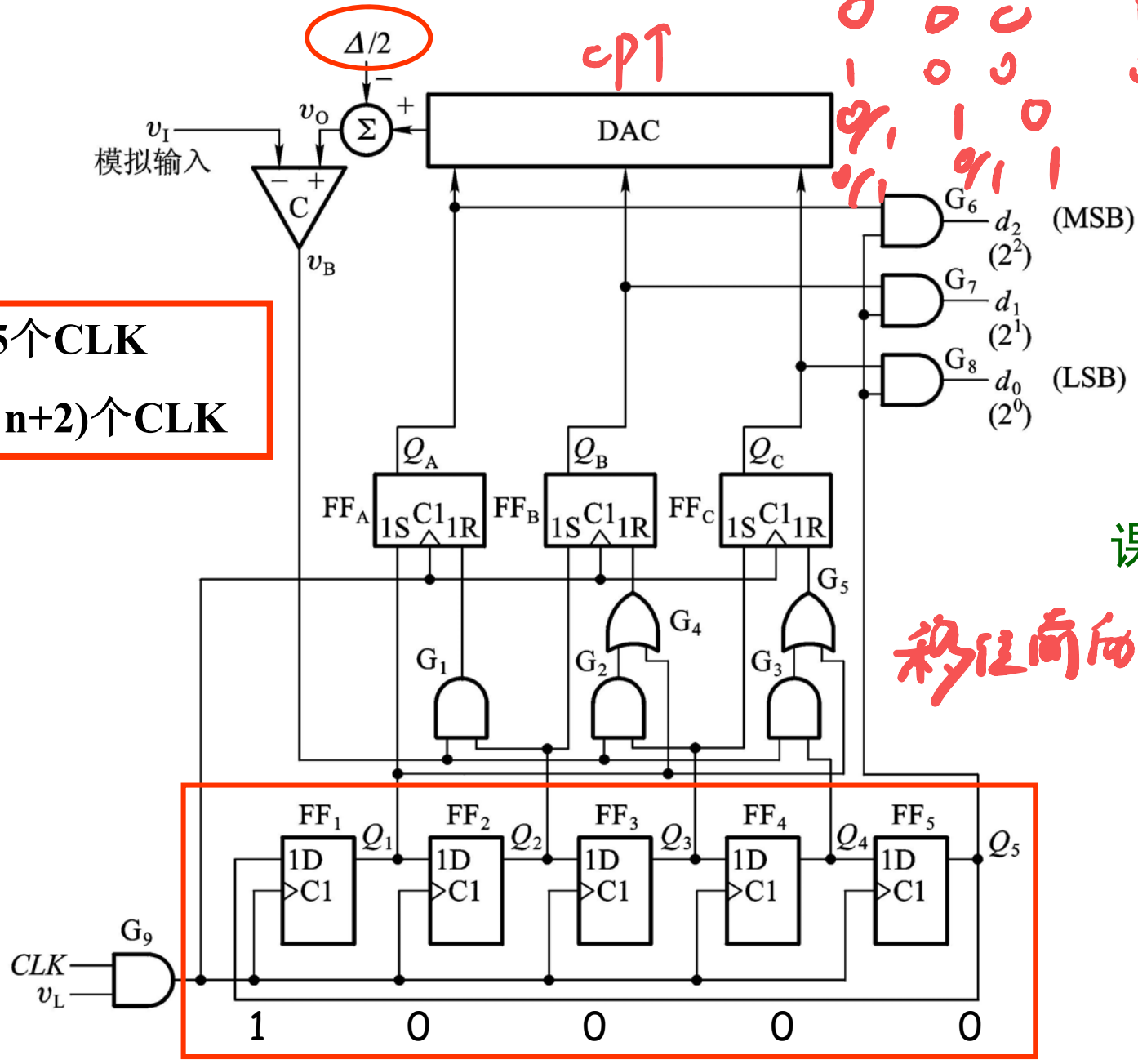
第8次比较：令 $Q_0=1$ ，DAC后若 $V_i > V_o$ ， $\rightarrow C=1$ ，说明把 V_i 量化成10110011太小，修改 $Q_0=1$

$cp \times v_i$
 $cp \uparrow$
 $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, V_0$

0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	1	0

 $V_i < V_0$
 $V_i > V_0$

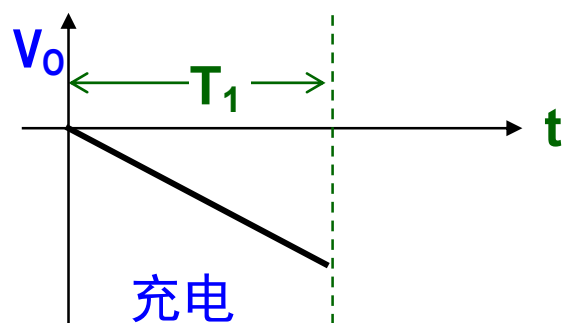
3位: 5个CLK
 N位: (n+2)个CLK



课本P534

移位寄存器状态

5、双积分型A/D转换器(V-T变换型) (间接转换)



1.起始状态：计数器清零

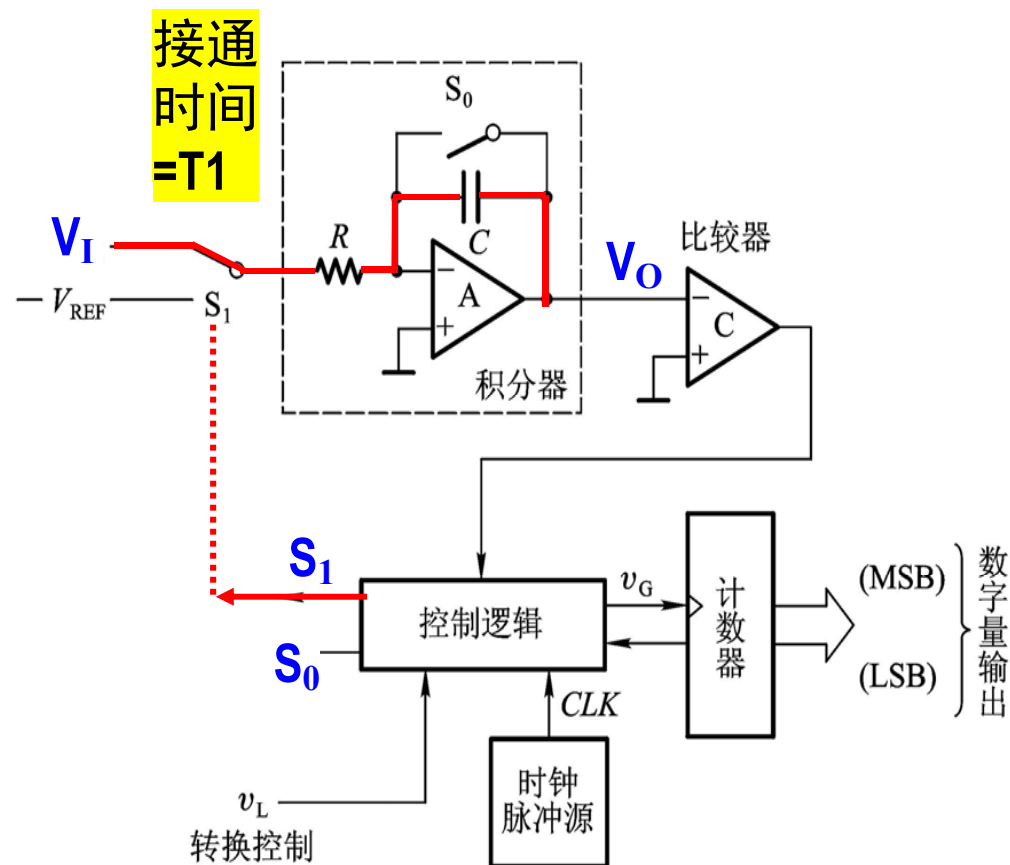
2. $v_L = 1$, 转换开始(S_0 断开)

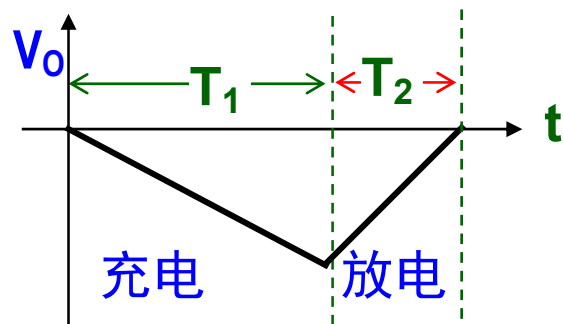
第一步, $S_1 \rightarrow v_I$, 积分器作固定时间 T_1 的积分

T_1 期间 v_I 不变

$$v_O = \frac{1}{C} \int_0^{T_1} -\frac{v_I}{R} dt = -\frac{T_1}{RC} v_I$$

$$\therefore v_O \propto v_I$$





第二步: $S_1 \rightarrow -V_{\text{REF}}$

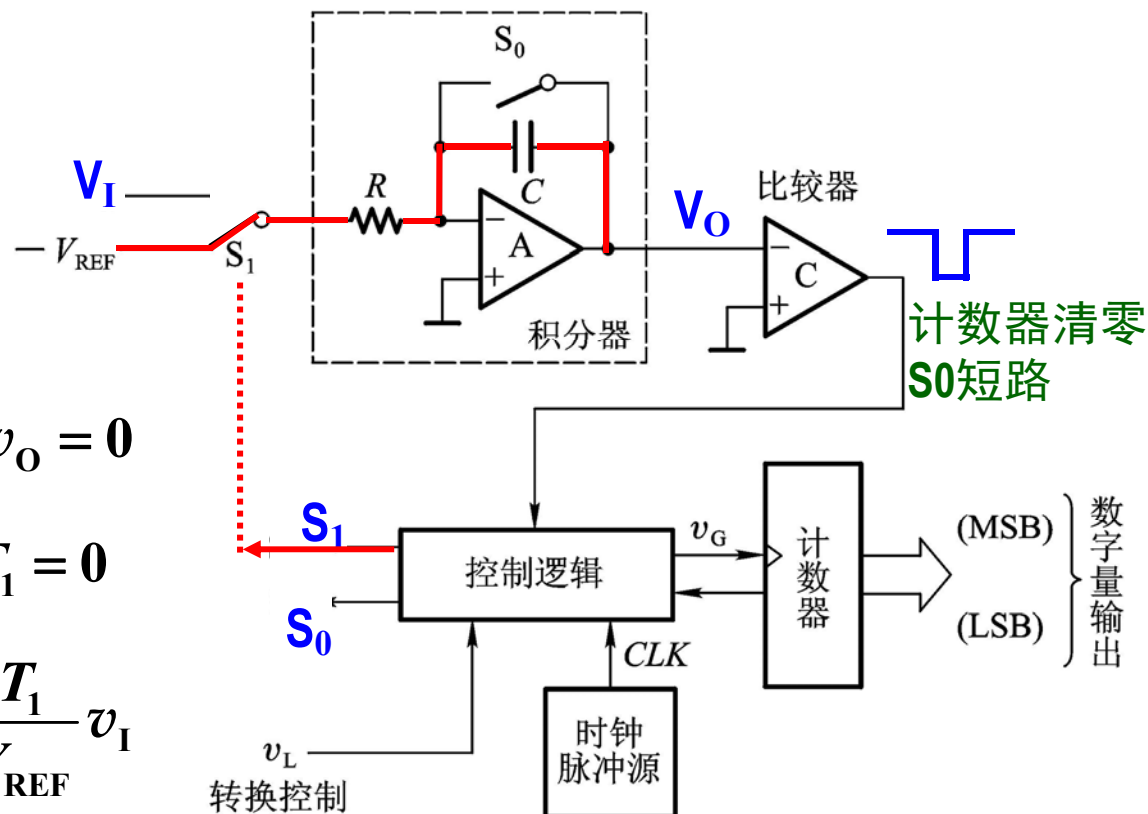
积分器作反相积分, 至 $v_o = 0$

$$v_o = \frac{1}{C} \int_0^{T_2} \frac{V_{\text{REF}}}{R} dt - \frac{v_i}{RC} T_1 = 0$$

$$\frac{V_{\text{REF}}}{RC} T_2 = \frac{v_i}{RC} T_1 \Rightarrow T_2 = \frac{T_1}{V_{\text{REF}}} v_i$$

$$T_2 = \frac{V_i}{V_{\text{REF}}} T_1$$

由于 T_1, V_{REF} 为定值, 所以
 V_i 越大, T_2 越大, 计数值越大



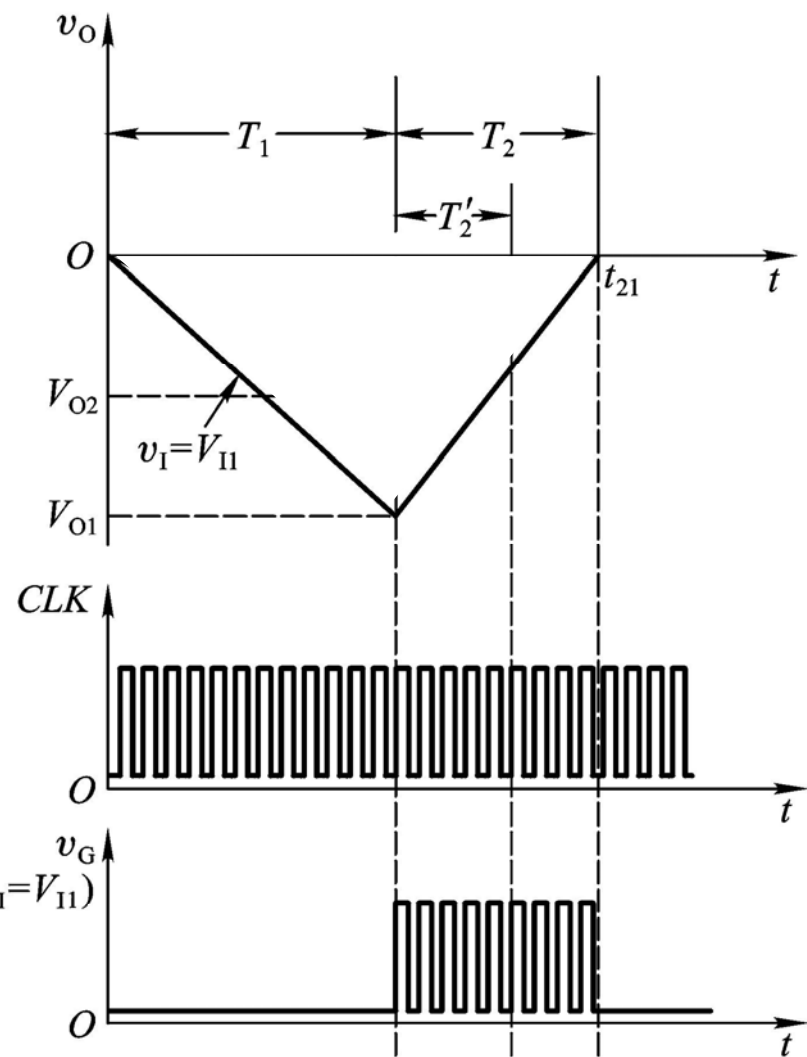
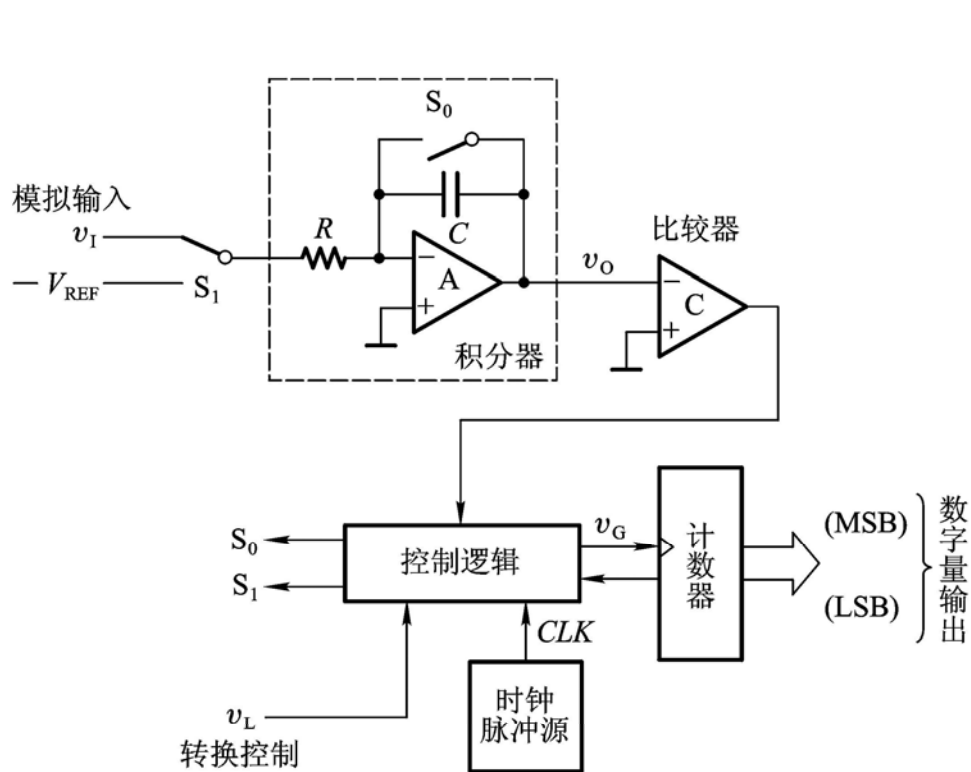
若 T_1 时间段内计数器能数 2^n 个时钟

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

则 T_2 时间段内计数值为

$$\text{计数值 } D = \frac{V_i}{V_{\text{REF}}} 2^n \quad (11.3.7)$$

要求 $V_i < V_{\text{REF}}$ page537



$$V_0 = \frac{V_I}{RC} T_1$$

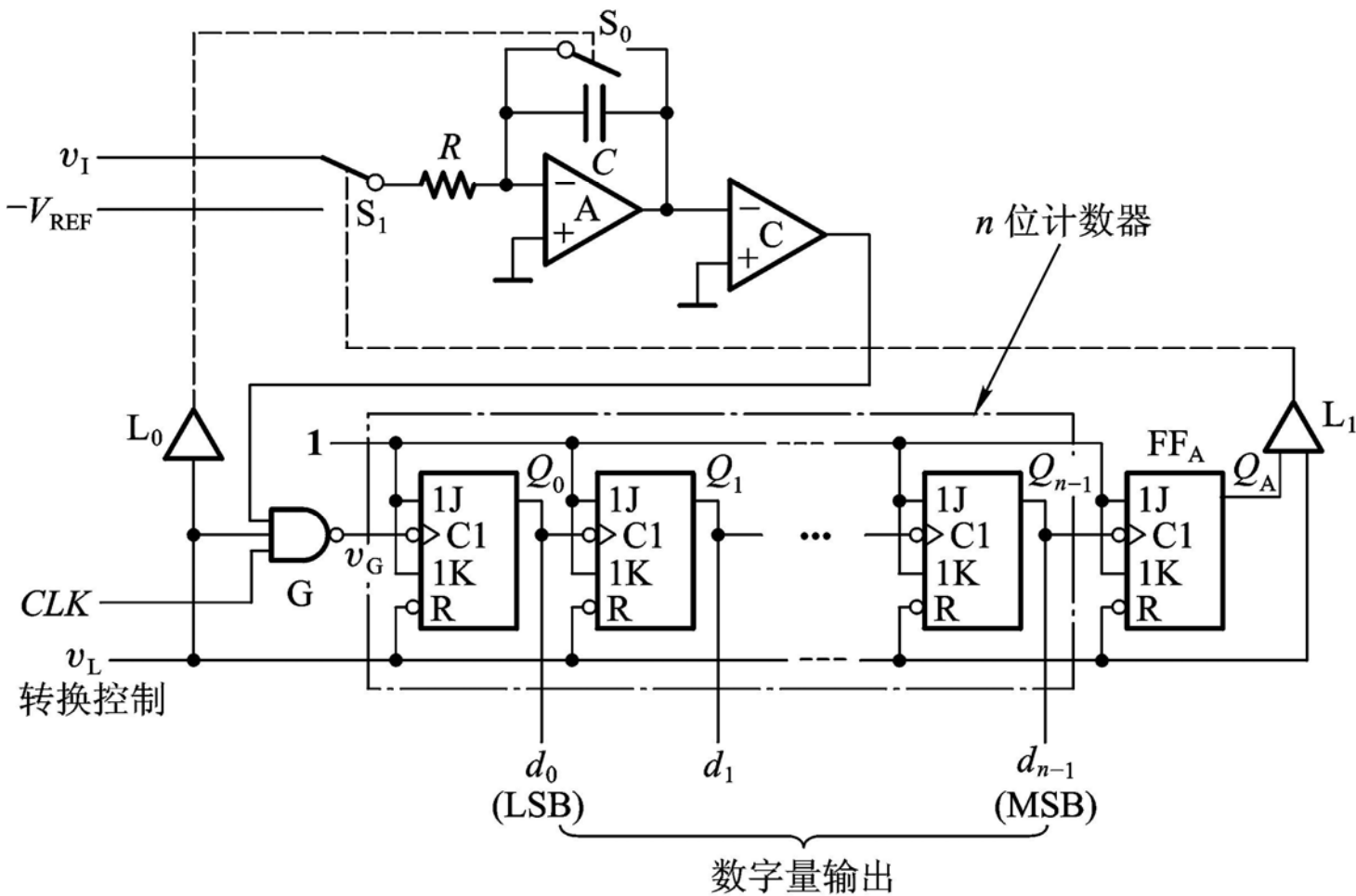
计数器输出

$$D = N_2 = \frac{V_I}{V_{REF}} 2^n$$

填空

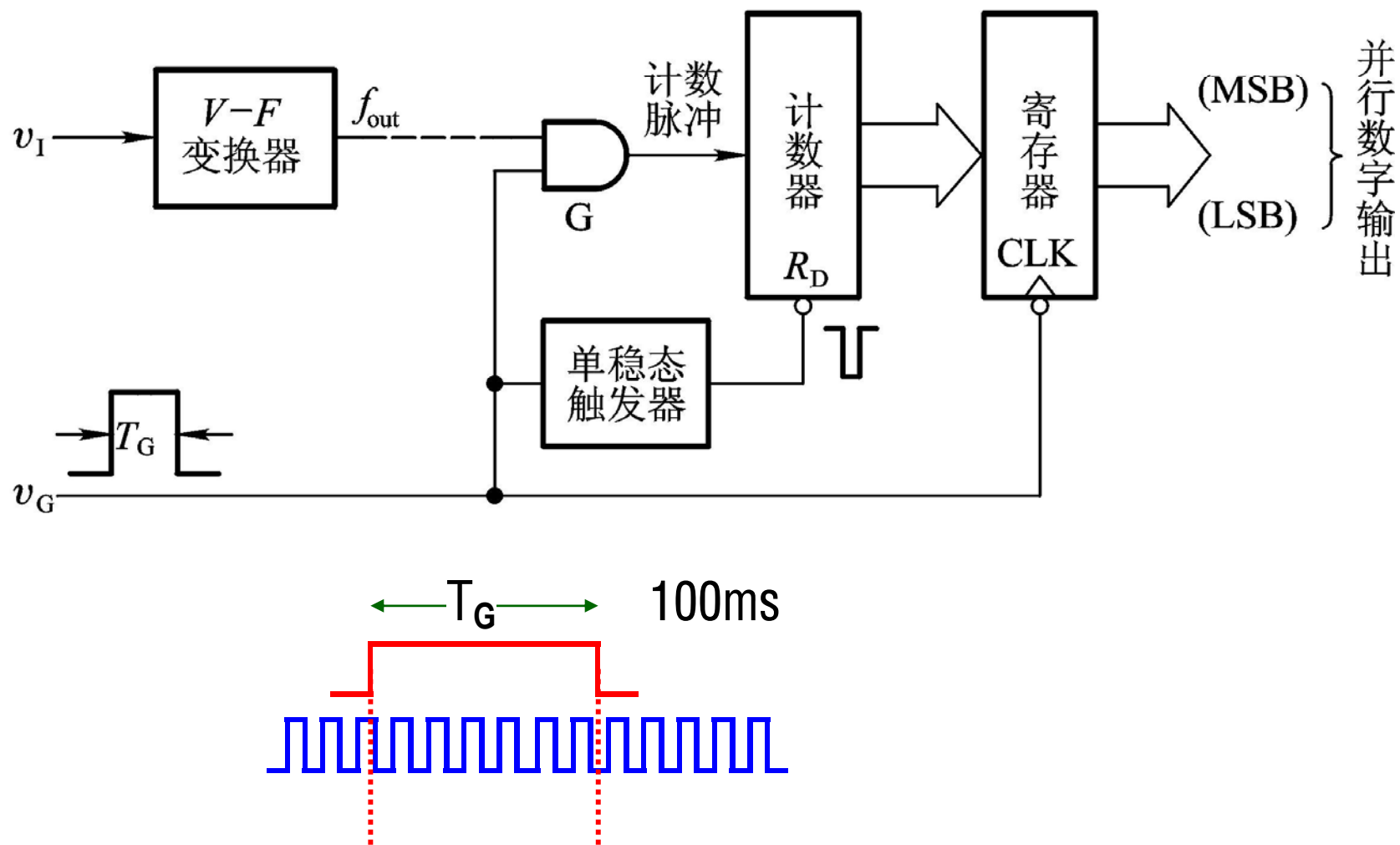
模拟电压 / ~ 数字量

电路实现



$$\text{若 } T_1 = 2^n T_C, \quad D = \frac{2^n}{V_{\text{REF}}} v_I$$

4、V-F变换型A/D转换器（间接转换）



2.2 ADC的转换精度与转换速度

1) 转换精度

转换精度一般用分辨率和转换误差来描述。

分辨率以输出二进制数的位数来描述（**满量程输入的 $1/2^n$** ）

例，A/D转换器的输出为10位二进制数，最大输入信号为5V，
那么这个A/D转换器的**分辨率**为 $5V/2^{10}=4.88\text{ mV}$ 。

2) 转换速度：取决于电路结构类型

ADC常用实现方法 { **并联比较型**：转换速度快，精度差
逐次渐近型：转换速度较快，精度一般
双积分型：转换速度慢，精度高



练习

- 1 模数转换的步骤是 **抽**)、(**保**)、(**量**)、(**修**)。
- 2 一双积分型A/D转换器，计数位长为8位，
若 $V_{REF}=12V$ ，当输入信号 $V_I=8.44V$ 时，则输出的二进制数为 (**10110100**)。
3. 当输入模拟电压最大值为+5V时，若采用8位ADC，
则其分辨率为 (**19.53mV**)。
 V_{REF} $\frac{5}{2^n}$
4. 有一个8位D/A转换器，满刻度输出为10V， $\rightarrow V_{REF}$
输入数字量为10001100，输出模拟量是 (**5.49v**)。

作业

8.16、 8.17