

Sound Sampling Basics

- Common Sampling Rates
 - 8KHz (Phone) or 8.012820513kHz (Phone, NeXT)
 - 11.025kHz (1/4 CD std)
 - 16kHz (G.722 std)
 - 22.05kHz (1/2 CD std)
 - 44.1kHz (CD, DAT)
 - 48kHz (DAT)
- Bits per Sample
 - 8 or 16
- Number of Channels
 - mono/stereo/quad/ etc.

wang_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

第十一章

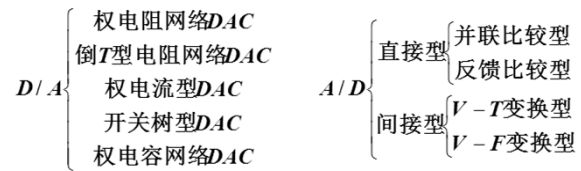
数-模 (D/A) 和模-数 (A/D) 转换

wang_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

11.1 概述

一、用途及要求

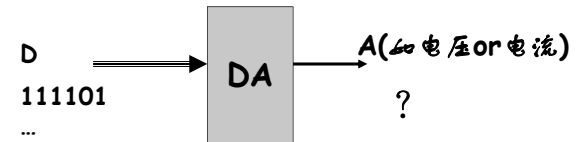
二、分类



wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

11.2 D/A转换器



wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

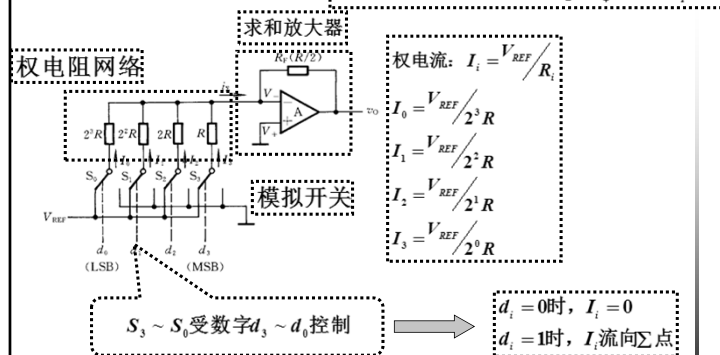
11.2.1 权电阻网络DAC

一、电路结构和工作原理

负反馈放大器:

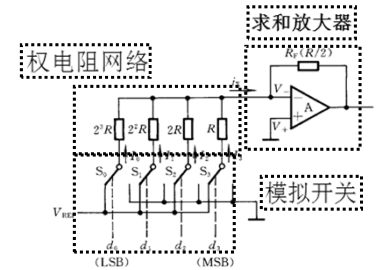
设A为理想放大器, 即 $A_v = \infty, i_i = 0, R_o = 0$

当接成深度负反馈时, 必有 $V_- \approx V_+ = 0$, 且 $i_i = 0$



wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学



$$\begin{aligned}
 \text{输出电压: } V_o &= -R_f i_\Sigma \\
 &= -R_f (I_3 + I_2 + I_1 + I_0) \\
 &= -R_f \left(\frac{V_{REF}}{R} d_3 + \frac{V_{REF}}{2R} d_2 + \frac{V_{REF}}{2^2 R} d_1 + \frac{V_{REF}}{2^3 R} d_0 \right) \\
 &= -\frac{V_{REF}}{2} (2^3 d_3 + 2^2 d_2 + 2^1 d_1 + 2^0 d_0)
 \end{aligned}$$

$$R_f = R/2$$

· 优缺点:

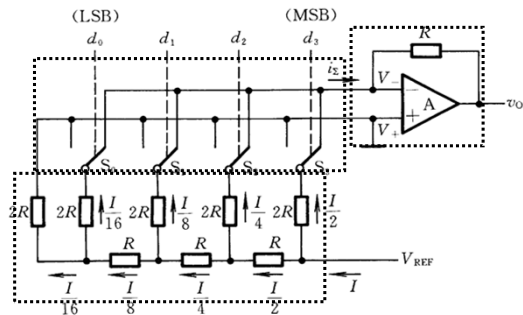
- 1、优点: 简单
- 2、缺点: 电阻值相差大, 难于保证精度, 且大电阻不宜于集成在IC内部

wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

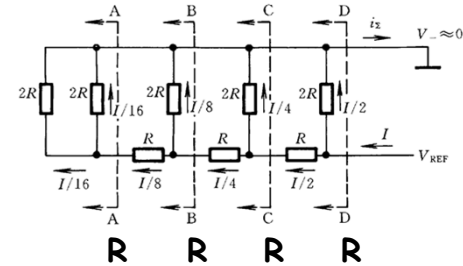
11.2.2 倒T型电阻网络DAC

希望用较少类型的电阻，仍然能得到一系列权电流



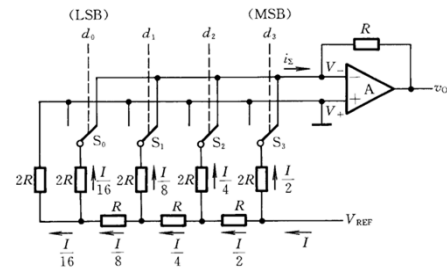
wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学



wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学



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

$$V_o = -R i_z = -R \frac{V_{REF}}{R} \frac{1}{2^4} (d_3 2^3 + d_2 2^2 + d_1 2^1 + d_0 2^0)$$

$$= -\frac{V_{REF}}{2^4} D$$

wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

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

对 n 位输入时，应有

$$V_o = -R i_z = -R \frac{V_{REF}}{R} \frac{1}{2^n} (d_{n-1} 2^{n-1} + d_{n-2} 2^{n-2} + \dots + d_1 2^1 + d_0 2^0)$$

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

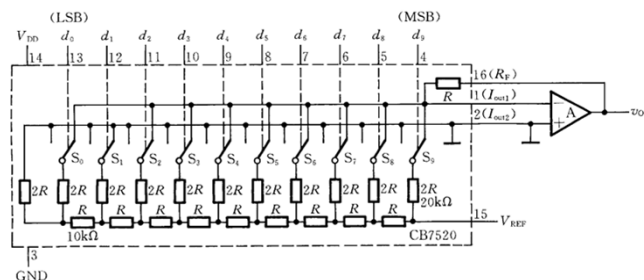
$$D_n \text{ 范围为 } 0 \sim 2^n - 1, V_o = 0 \sim -\frac{2^n - 1}{2^n} V_{REF}$$

V_{REF} 取“负”则得 V_o 为“正”

wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

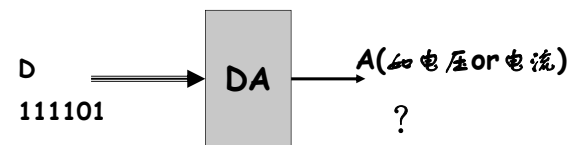
实例: CB7520



wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

11.2 D/A转换器



对 n 位输入时, 应有

$$V_o = -Ri_z = -R \frac{V_{REF}}{R} \frac{1}{2^n} (d_{n-1} 2^{n-1} + d_{n-2} 2^{n-2} + \dots + d_1 2^1 + d_0 2^0)$$

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

D_n 范围为 $0 \sim 2^n - 1$, $V_o = 0 \sim -\frac{2^n - 1}{2^n} V_{REF}$

V_{REF} 取“负”则得 V_o 为“正”

wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

11.2.6 具有双极性输出的DAC

当输入数字量有±极性时, 希望输出的模拟电压也对应为±。

一、原理

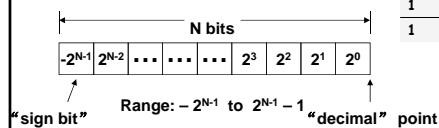
例: 输入为三位二进制补码。最高位为符号位, 正数为0, 负数为1

+3: 0 11

-3: 1 11

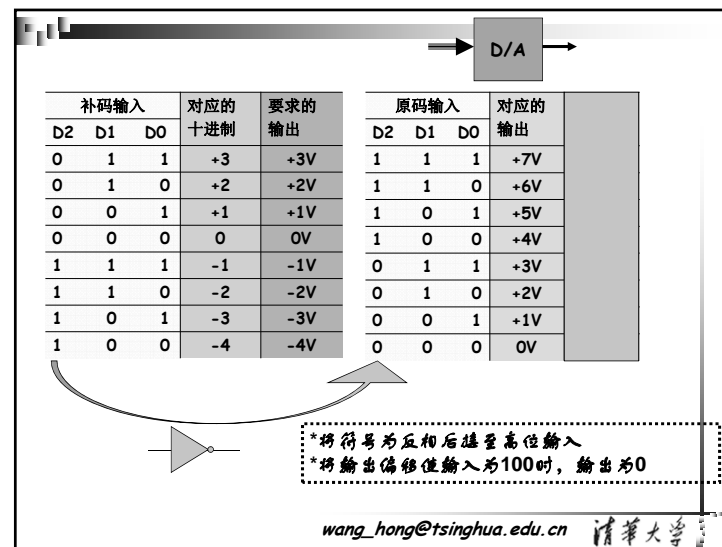
-4: 1 00

补码输入			对应的十进制	要求的输出
D2	D1	D0		
0	1	1	+3	+3V
0	1	0	+2	+2V
0	0	1	+1	+1V
0	0	0	0	0V
1	1	1	-1	-1V
1	1	0	-2	-2V
1	0	1	-3	-3V
1	0	0	-4	-4V



wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学



wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

二、电路实现

1. $V_{REF} = -8V$

则 $V_o = \frac{8}{2^n} (d_n 2^n + d_{n-1} 2^{n-1} + \dots + d_1 2^1 + d_0 2^0)$

000 $\rightarrow V_o = 0V$

001 $\rightarrow V_o = 1V$

则 d_n, d_{n-1}, \dots, d_0

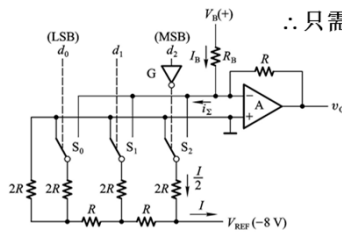
111 $\rightarrow V_o = 7V$

100 $\rightarrow V_o = 4V$

2. 偏移 $-4V$, 使输入 000 时, $V_o = 0$

\therefore 输入 000 时, $i_\Sigma = \frac{I}{2} = \frac{|V_{REF}|}{2R}$

\therefore 只需令 $I_B = i_\Sigma \rightarrow \frac{V_B}{R_B} = \frac{I}{2} = \frac{|V_{REF}|}{2R}$ 即可



wang_hong@tsinghua.edu.cn

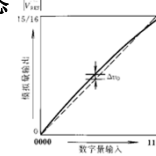
清华大学

11.2.7 DAC的转换精度与速度

一、转换精度

1. 分辨率 (理论精度)

- 用输入数字量的二进制数码位数给出
- n 位 DAC, 应能输出 $0 \sim 2^n - 1$ 个不同的等级电压, 区分出输入的 00~0 到 11~1, 2^n 个不同状态



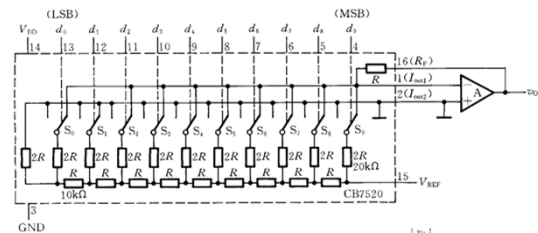
2. 转换误差 (实际精度)

- 用最低有效位的倍数来表示
- 有时也用绝对误差与输出电压满刻度的百分数来表示

wang_hong@tsinghua.edu.cn

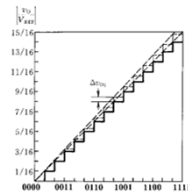
清华大学

二、误差分析



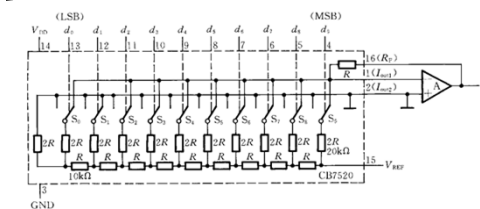
1. ΔV_{REF} 引起的误差

$$V_o = -\frac{V_{REF}}{2^n} D_n \Rightarrow \Delta V_o = -\frac{\Delta V_{REF}}{2^n} D_n$$



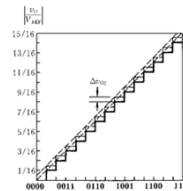
wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学



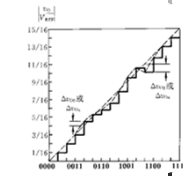
2. 漂移误差

由 OpA 零点漂移导致的曲线漂移



3. 非线性误差

模拟开关的压降内阻不为 0, 电阻网络的偏差引起



* 总误差: 几种误差的绝对值相加

wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

例: 5G7520 (10 位倒 T 型 DAC) 中, 若保证由 V_{REF} 偏差引起的误差 $< \frac{1}{2} LSB$

试求 V_{REF} 的相对稳定度 ($\frac{\Delta V_{REF}}{V_{REF}}$)

* $\frac{1}{2} LSB$ 在输出产生的电压为

($\because V_O = -\frac{V_{REF}}{2^n} D_n, \therefore D_n = 1$ 时, $V_O = -\frac{V_{REF}}{2^{10}}$)

$\frac{1}{2} LSB$ 产生的输出电压为 $\frac{V_{REF}}{2^{11}}$

要求 $|\Delta V_O| \leq \frac{|V_{REF}|}{2^{11}}$

即 $\frac{2^{10}-1}{2^{10}} |\Delta V_{REF}| \leq \frac{|V_{REF}|}{2^{11}}$

$\therefore \frac{|\Delta V_{REF}|}{|V_{REF}|} \leq \frac{1}{2^{11}} \frac{2^{10}}{2^{10}-1} \approx \frac{1}{2^{11}} = 0.05\%$

* 由 ΔV_{REF} 产生的 ΔV_O 为

$\Delta V_O = -\frac{\Delta V_{REF}}{2^n} D_n$, 最大误差时对应 $D_n = 2^n - 1$

$|\Delta V_O| = \frac{(2^{10}-1)}{2^{10}} |\Delta V_{REF}|$

wang_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

11.2 A/D 转换器

11.3.1 A/D 转换的基本原理

输入连续变化电压, 输出为不连续的数字量

A(电压或电流) \rightarrow AD \rightarrow D
? \rightarrow 111101 ...

采样定理
 $f_s \geq 2 f_i(max)$, 一般取 $f_s = (3 \sim 5) f_i(max)$

wang_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

二、量化和编码

1. 量化: 将取样电压表示为最小数量单位 (Δ) 的整数倍
2. 编码: 将量化的结果用代码表示出来 (二进制, 二-十进制)
3. 量化误差: 当采样电压不能被 Δ 整除时, 将引入量化误差

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

wang_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

11.3.3 直接 ADC

并联比较型

量化

电压比较器

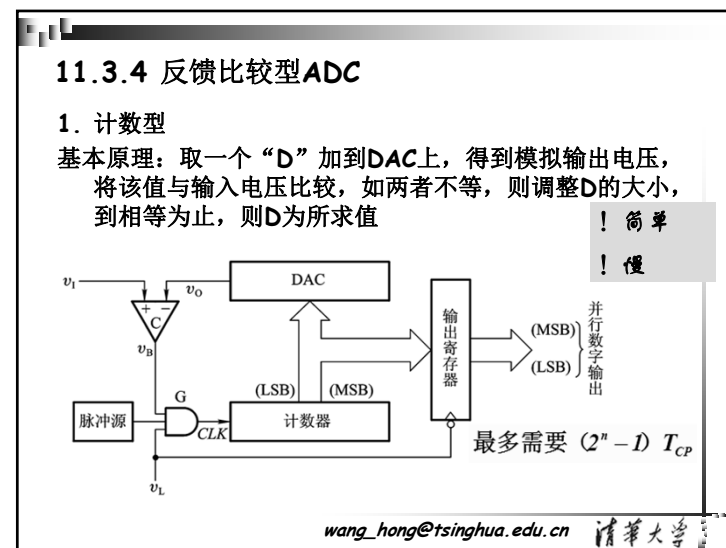
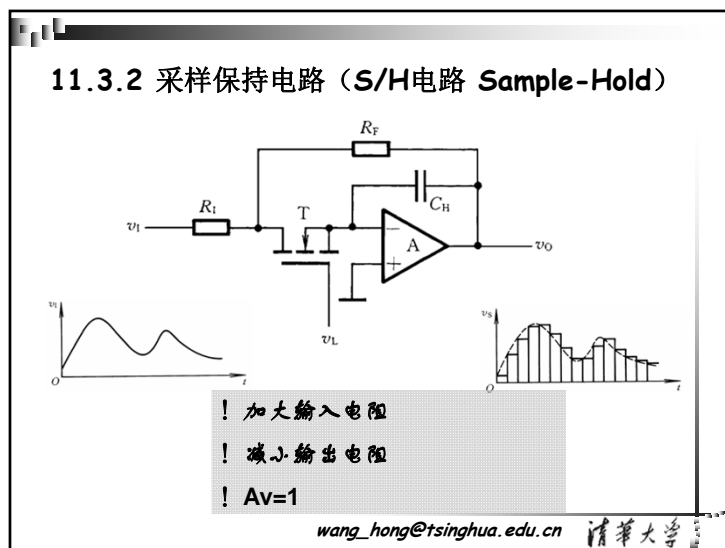
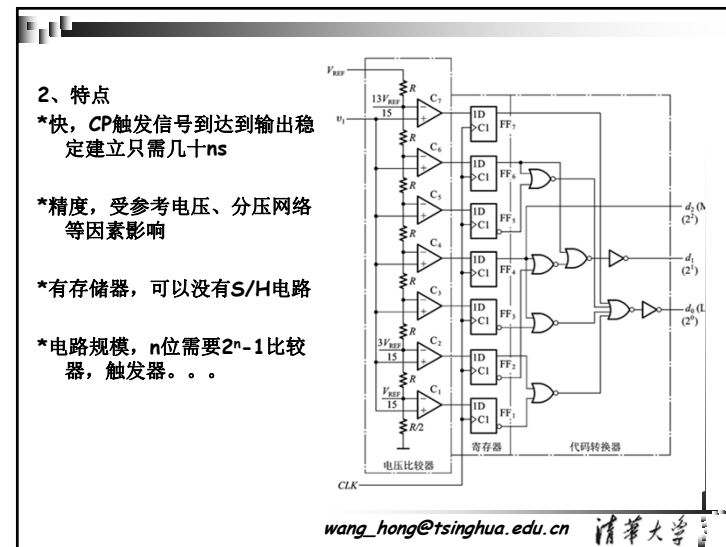
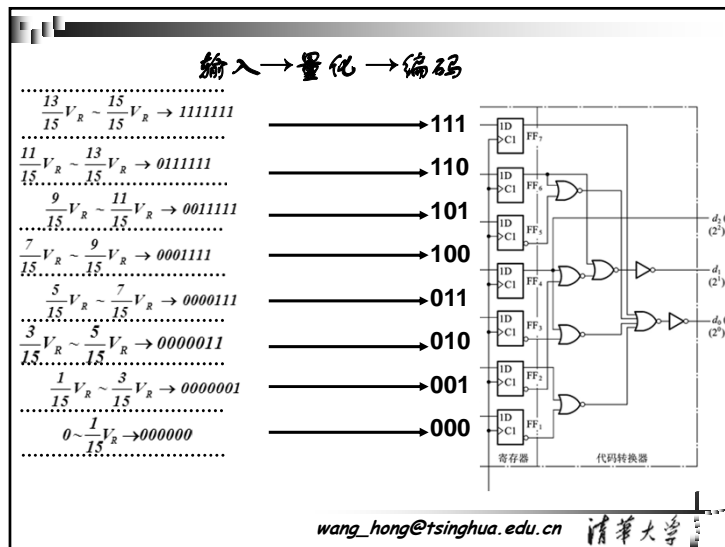
寄存器

代码转换器

输出: $d_3(8), d_2(4), d_1(2), d_0(1)$

CLK

wang_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学



2、逐次渐近型

1. 高位先置“1”

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

2. 再将次高位置“1”

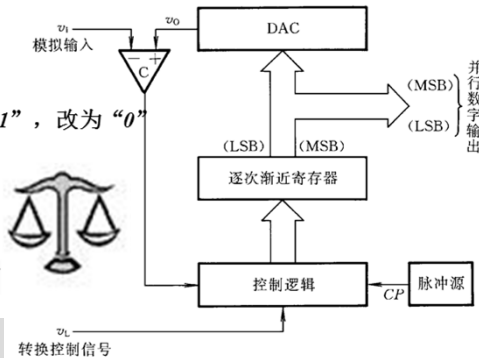
...

n...

只要比较n次就够了

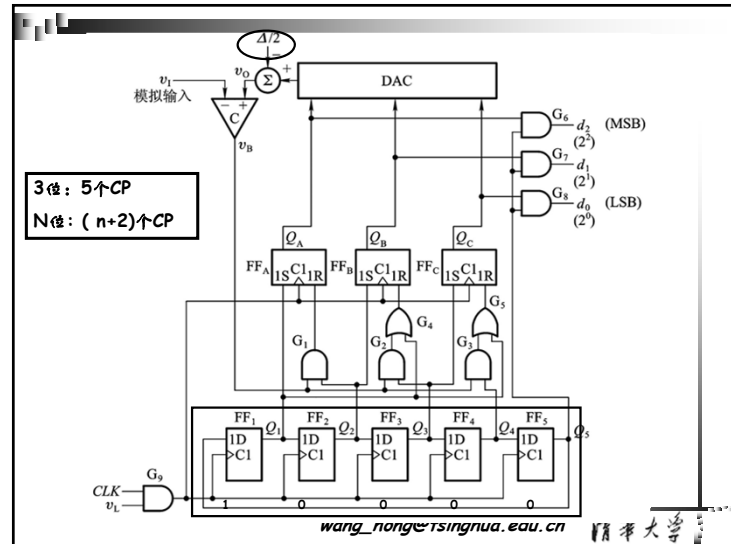
! 电路不太复杂

! 较快



wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学



3位: 5个CP
N位: (n+2)个CP

wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

11.3.5 间接ADC

一、双积分型 (V-T变换型)

先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

1. 起始状态: 计数器清零

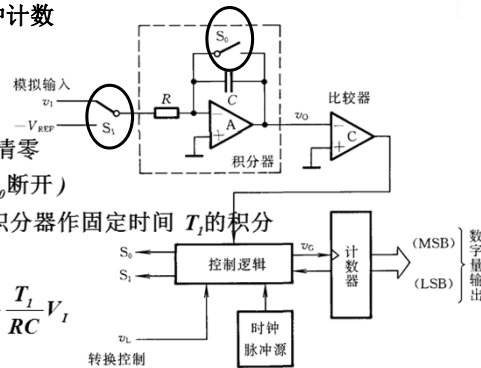
2. $V_L = 1$, 转换开始 (S_0 断开)

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

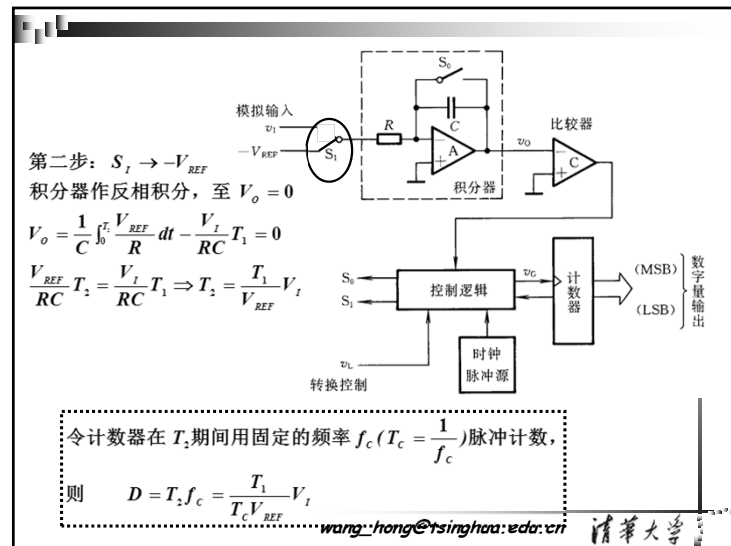
$$V_o = \frac{1}{C} \int_0^{T_1} -\frac{V_i}{R} dt = -\frac{T_1}{RC} V_i$$

$$\therefore V_o \propto V_i$$



wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学



第二步: $S_1 \rightarrow -V_{REF}$

积分器作反相积分, 至 $V_o = 0$

$$V_o = \frac{1}{C} \int_0^{T_1} \frac{V_{REF}}{R} dt - \frac{V_i}{RC} T_1 = 0$$

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

令计数器在 T_2 期间用固定的频率 f_c ($T_c = \frac{1}{f_c}$) 脉冲计数,

$$\text{则 } D = T_2 f_c = \frac{T_1}{T_c V_{REF}} V_i$$

wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

