

数电部分

不要落题！

正数原码前补0

逻辑表达式及真值表

$A + \bar{A}B = A + B$   
 $A(\bar{A} + B) = AB$   
 $AB + \bar{A}C + BC = AB + \bar{A}C$   
 $AB + \bar{A}C + BCD = AB + \bar{A}C$   
 $A + BC = (A + C)(A + B)$   
 $\bar{A}B + \bar{A}\bar{C}$  (与或式, 最小项)  
 $= (A + B)(A + C)$  (或与式, 最大项)  
 $= \bar{A}\bar{B} \cdot \bar{A}\bar{C}$  与非-与非  
 $= \bar{A} + B + \bar{A} + C$  或非-或非  
 $= \bar{A}B + \bar{A}C$  与或非

	0	1	3	2
$A + \bar{A}B$	4	5	7	6
$AB + \bar{A}C + BC$	12	13	15	14
$A + BC$	8	9	11	10

优先编码器 74X148

对8个输入信号按优先级编码, 输出3位代码

通过多片级联, 对多于8个输入信号进行编码

74X148 逻辑符号及真值表

输入:  $\bar{I}_0 \sim \bar{I}_7$  (低电平有效),  $\bar{Y}_{en}$  (使能输入, 低电平有效),  $\bar{S}$  (使能输出, 低电平有效)

输出:  $Y_2 \sim Y_0$  (二进制反码输出),  $Y_{ex}$  (扩展输出, 低电平有效),  $\bar{Y}_s$  (使能输出, 低电平有效)

真值表 (部分):

$\bar{S}$	$\bar{I}_0$	$\bar{I}_1$	$\bar{I}_2$	$\bar{I}_3$	$\bar{I}_4$	$\bar{I}_5$	$\bar{I}_6$	$\bar{I}_7$	$Y_2$	$Y_1$	$Y_0$	$Y_{ex}$	$\bar{Y}_s$
1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0	x	x	x	x	x	x	x	0	1	0	1	0	1
0	x	x	x	x	x	x	0	1	1	0	0	1	1
0	x	x	x	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1
0	x	x	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
0	x	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1

16线-4线优先编码器 74X138

16个输入信号  $\bar{I}_{15} \sim \bar{I}_0$  (低电平有效),  $\bar{I}_{15}$  为最高输出4位二进制正码  $A_3 \sim A_0$ ,  $A_3$  为最高位

3-8译码器 74X138

74X138 逻辑符号及真值表

输入:  $A_2, A_1, A_0$  (译码器输入信号),  $\bar{Y}_0 \sim \bar{Y}_7$  (译码器输出信号, 低电平有效),  $E_3, E_2, E_1$  (使能输入信号, 同时有效时才译码),  $\bar{E}_3, \bar{E}_2$  (低电平有效)

真值表 (部分):

$E_3$	$E_2$	$E_1$	$A_2$	$A_1$	$A_0$	$\bar{Y}_0$	$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$	$\bar{Y}_3$	$\bar{Y}_4$	$\bar{Y}_5$	$\bar{Y}_6$	$\bar{Y}_7$
0	x	x	x	x	x	1	1	1	1	1	1	1	1
x	1	x	x	x	x	1	1	1	1	1	1	1	1
x	x	1	x	x	x	1	1	1	1	1	1	1	1
x	x	x	1	x	x	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1

74X138 扩展应用

应用: 实现任意逻辑函数 ( $Y = m_2 + m_3 + m_4 + m_6$ )

应用: 实现数据分配器

应用: 显示译码器: 74X48, 74X248, 74X4511...

双四选一数据选择器 74X153/八选一 74X151

逻辑表达式:  $Y = S_1S_0D_0 + S_1S_0D_1 + S_1\bar{S}_0D_2 + S_1\bar{S}_0D_3$

字扩展: 用1位2选1 MUX进行扩展设计

利用一片 74X153 构成八选一: E1 接 A2 非, E2 接 A2, Y 或一下即可。

数值比较器

扩展应用: I 为辅助输入端, 把高位的 F 依次接到低位的 I 上即可。

加法器

一位半加器: 输入只有 AB, 输出进位 Co, 半加和 S

一位全加器:  $\{Co, S\} = A + B + Ci$

串行拓展: 高位 Co 接低位 Ci

4位超前进位加法器: 74X283(C1是 Ci)

74X283(0) 按补码执行  $D' = A - B$  运算

74X283(1) 算

锁存器

锁存器对时钟的电平敏感, 在有效电平期间更新状态

SR 锁存器要保证  $SR=0!$

特性表

逻辑符号

电路结构

门控 SR 锁存器 (依然有  $SR=0$ )

74X283(1) 算

锁存器

锁存器对时钟的电平敏感, 在有效电平期间更新状态

SR 锁存器要保证  $SR=0!$

特性表

逻辑符号

电路结构

门控 SR 锁存器 (依然有  $SR=0$ )

特性表

D 锁存器

逻辑符号

特性表

传输门实现

当 S1 合上, S2 断开时,  $Q=D$ , 跟随

当 S2 合上, S1 断开时, Q 保持

传输门相当于受控的双向开关

传输门: 当带圈的=0, 不带圈的=1, 导通。

触发器

只在时钟上升沿/下降沿更新状态。其余时刻保持。

D 触发器  $Q^{n+1}=D$

特性表 (a)

特性表 (b)

逻辑符号

T 触发器  $Q^{n+1} = TQ^n + \bar{T}\bar{Q}^n$

JK 触发器:  $Q^{n+1} = JQ^n + \bar{K}\bar{Q}^n$

时序逻辑电路

输入 X 输出 Y 状态 Q 激励 Z

$Z = f_1(X, Q)$

$Q_{n+1} = f_2(Z, Q_n)$

$Y = f_3(X, Q)$  mealy 输出是输入和状态的函数

$Y = f_4(Q)$  moore 输出仅是状态的函数

状态图 (米利型)

状态图 (摩尔型)

注意期中考试的问题 (6/8)

移位寄存器 74X194

输入: 串行输入, 并行输入

输出:  $Q_0^{n+1}, Q_1^{n+1}, Q_2^{n+1}, Q_3^{n+1}$

真值表

拓展: 并行数据输入, 并行数据输出

四位同步二进制计数器 74X161

计数范围: 0000~1111 [74X160 只到 1001]

逻辑符号

功能表

异步清零

同步置数

保持

计数

Q3~Q0: 计数输出, Q0 为最低位

TC: 进位输出 [TC 在  $Q=1111$  时=1]

CEP, CET: 计数使能 (一般接 1/低级计数器的 TC)

CR: 异步清零 (与时钟信号无关, 只要有效立刻清零)

PE: 同步置数 D3~D0: 置数输入, D0 为最低位

举例: 构成 X 进制计数器 (模 X)

异步清零法: 当  $Q=X$  时:  $\bar{C}R = 0$

当  $Q=X-1$  时:  $C = 1$

原理: 一旦计数到 X, Q (X) 立刻被按下去, 清零。

同步置数法: 当  $Q=X-1$  时:  $PE = 0, D = 0000, C = 1$

原理: 在下一个 CP 上升沿时, 进行同步置数,  $Q=0$ 。

同步置数法的其他实现方法: 当  $Q=X-2$  时:  $PE = 0, D = 1111, C = TC$ 。

拓展: 异步清零 100 进制计数器。

同步置数法构成 60 进制

$Q=59$  时  $PE = 0, D$  接 0000, C 有效。

$Q=59$  时: 左边是 5(101), 右边是 1111( $TC=1$ )。

异步清零法构成 60 进制

$Q=60$  时左边的 6 被按下去 (右边已经是 0 了无需处理), 清零。  $Q=59$  时 C 有效。

类似地, 有异步整体清零 (左右都清零)。

计数器

环形计数器: 移位寄存器串行输出与串行输入相连。

EG. 1000-0100-0010-0001-1000...

假设有 n 位 (n 个 D 触发器),  $Q_{n-1}$  与  $D_0$  相连。

有 n-1 个无效循环。

扭环形计数器:  $Q^{n-1}$  与  $D_0$  相连。

有 n/2-1 个无效循环。

为实现自启动: 需要改一下。

只读存储器 ROM

正常工作状态只是读出信息, 断电后信息不会丢失, 常用于存放固定信息 (如程序、常数等)

$X$  个字  $\times Y$  位  $X$  个字对应  $\log_2 X$  条地址线 (最高地址  $X-1$ ),  $Y$  位对应  $Y$  条数据线 总共  $XY$  个存储单元

注意: 有的位可能是不必要的。

EG. 8 位二进制数转化为 BCD 码只需要 10 位 (高 2 位全是 0)

DRAM (动态 RAM): 内容不刷新 (与 SRAM 相比) 地址分两次输入

RAS: 行地址选通 CAS: 列地址选通

因此  $X$  个字对应  $(\log_2 X)/2$  条地址线。

字扩展

除数据引脚外, 芯片的其他引脚 (地址和控制) 并联

真值表

真值表

字扩展

芯片选引脚外, 芯片的其他引脚 (地址、数据、写允许) 并联; 高位地址经译码选择芯片。

真值表

真值表

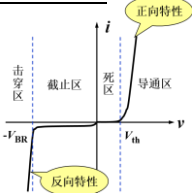
注: 图中是用 8 个 2114 扩展的。后面六个没画。

不要落题！

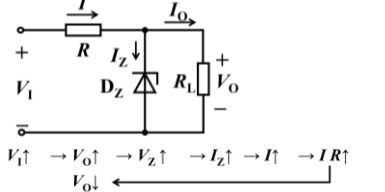
半导体

N 型:掺入五价元素, 自由电子是多数载流子, 空穴是少数载流子, 带负电, 为 N 型  
P 型:掺入三价元素, 自由电子是少数载流子, 空穴是多数载流子, 带正电, 为 P 型  
PN 结: 加正向电压 (P 正 N 负) 导通  
加反向电压 (P 负 N 正) 截止  
以此构成二极管。

二极管



理想模型: 忽略死区和导通压降  
恒压降模型: 导通压降=死区电压 ≠ 0  
 $i > 0, v = 0$   
 $v < 0, i = 0$   
硅二极管 0.7V  
锗二极管 0.2V  
稳压二极管: 反向击穿特性很陡, 主要工作在反向击穿状态。



BJT 三极管

内部结构特点  
发射区掺杂浓度很高  
基区很薄且掺杂浓度很低  
集电区面积很大  
e: 发射极 b: 基极  
c: 集电极  
对 NPN, 当  $V_{be} > 0.7/0.2$ , 且  $V_{ce} > V_{be}$  时, 放大。  
对 NPN, 当  $V_{be} > 0.7/0.2$ , 但  $V_{ce} < V_{be}$  时, 饱和。  
对 NPN, 当  $V_{be} < 0.7/0.2$ , 截止。  
对 PNP, 当  $V_{be} < -0.7/0.2$ , 且  $|V_{ce}| > |V_{be}|$  时, 放大。  
对 PNP, 当  $V_{be} < -0.7/0.2$ , 但  $|V_{ce}| < |V_{be}|$  时, 饱和。  
对 PNP, 当  $V_{be} > -0.7/0.2$ , 截止。  
截止区:  $i_b \approx 0, i_c \approx 0$   
饱和区:  $i_c$  随  $V_{ce}$  增大而增大, 且  $\beta i_b$   
放大时:  $i_c = \beta i_b (\beta \gg 1)$ ,  $i_e = (1 + \beta) i_b$

原理:  
发射区多子电子向基区扩散形成电流  $I_{EN}$   
- 在基区被复合的电子形成电流  $I_{BN}$   
- 余下电子向集电区漂移形成电流  $I_{CN}$   
基区多子空穴向发射区扩散形成电流  $I_{EP}$   
集电极两侧少子形成漂移电流  $I_{CBO}$   
 $I_{EN} = I_{CN} + I_{BN}$   
 $I_E = I_{EN} + I_{EP}$   
 $I_C = I_{CN} + I_{CBO}$   
 $I_E = I_C + I_B$   
IEP 忽略,  $I_{CBO}, I_{CEO}$  很小, 忽略。  
所以  $|I_E| = |I_C| + |I_B| = (1 + \beta) |I_B|$   
其他特性:  
集电极最大允许电流  $I_{CM}$   
集电极最大允许功耗  $P_{CM}$   $P_{CM} = V_{CE} \cdot I_C$   
反向击穿电压  
 $V_{(BR)CEO}$ : 基极开路时, 集电极和发射极间的击穿电压  
 $V_{(BR)CBO} > V_{(BR)CEO} > V_{(BR)EB0}$

MOS 管

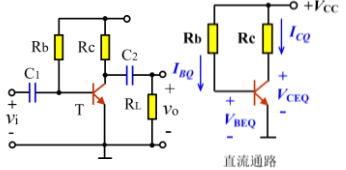
增强型 NMOS:  
当  $V_{gs} > V_T$  (开启电压):  $d_s$  导通  
 $V_{gs}$  继续增大, 沟道变厚, 电阻率减小。  
 $V_{gs}$  不变, 增加  $V_{ds}$ , 一开始  $I_d$  增加。  
当  $V_{ds} = V_T$  时, 沟道出现夹断, 夹断后电场强度很高, 电子依然可以被拉过去。但由于电压主要加在夹断区,  $V_{ds}$  继续增加,  $I_d$  不变。  
耗尽型 NMOS: 在栅极下方的绝缘层中掺入大量的金属正离子, 从而预留了导电沟道。 $V_T$  是负的。  
P 沟道: 相反。

总结

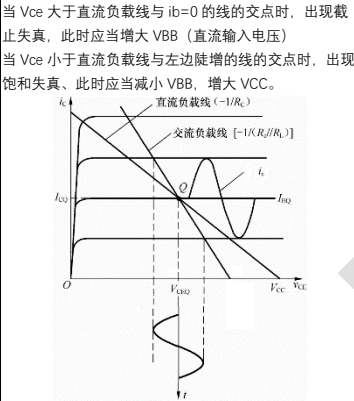
类型	NMOS		PMOS	
	增强型	耗尽型	增强型	耗尽型
$V_T$	正	负	负	正
何时导通	$V_{gs} > V_T$	$V_{gs} > V_T$	$V_{gs} < V_T$	$V_{gs} < V_T$

基本放大电路——共射放大电路

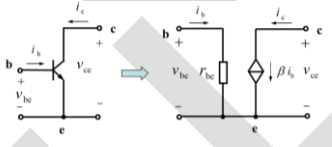
	BJT (双极型)	场效应管 (单极型)
导电特点	多子和少子都参与导电	只有一种多子导电
控制方式	电压/电流控制电流	电压控制电流
类型	PNP, NPN	N沟道, P沟道, 增强型, 耗尽型
类 型	C, E 一般不可倒置使用	D, S 一般可倒置使用
输入电阻	小	很大
噪 声	较大	较小
热稳定性	差	好
抗辐射性	差	强
制造工艺	较复杂, 不易大规模集成	简单, 易于大规模集成



可求其直流负载线。  
将  $V_{CC}$  接地, 电容短路, 可求交流负载线。  
 $v_{CE}$  斜率  $= -(R_C // R_L) i_C$ , 且过 Q 点。  
因此, 交流负载线比直流负载线陡

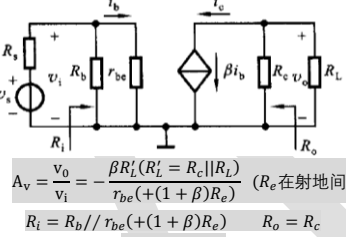


BJT 简化小信号模型



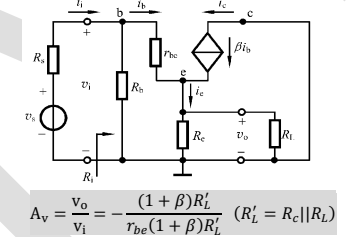
对于低频小功率管:  $r_{be} \approx 200 \Omega + (1 + \beta) \frac{26 (mV)}{I_{EQ} (mA)}$

共射放大电路



$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = - \frac{\beta R'_L (R'_L = R_C || R_L)}{r_{be} + (1 + \beta) R_e} \quad (R_e \text{ 在射地间})$$
$$R_i = R_b // r_{be} + (1 + \beta) R_e \quad R_o = R_C$$

共集放大电路



$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{(1 + \beta) R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R'_L} \quad (R'_L = R_C || R_L)$$

一般来说  $A_v \approx 1$   
 $R_i = R_b || [r_{be} + (1 + \beta) R'_L]$   
 $R_o = R_e || \frac{r_{be} + R_s || R_b}{1 + \beta}$

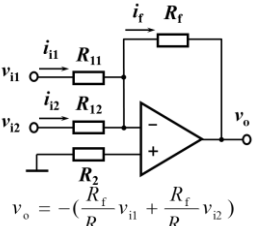
运算放大器

开环差模电压增益  $A_{vo} = 20 \lg |v_o / v_{id}| (dB)$   
反馈类型判断  
如果反馈信号的瞬时极性使净输入减小, 则为负反馈, 反之则为正反馈。  
电压反馈: 反馈信号的大小与输出电压成比例, 反馈电路直接从输出端引出  
电流反馈: 反馈信号的大小与输出电流成比例, 反馈电路从负载电阻靠“地”端引出  
将输出电压“短路”, 若反馈信号为零, 则为电压反馈; 若反馈信号仍然存在, 则为电流反馈  
反馈信号与输入信号加在输入回路的同一个电极上, 则为并联反馈, 此时反馈信号与输入信号是电流相加减的关系。  
反馈信号与输入信号加在输入回路的两个电极, 则为串联反馈, 此时反馈信号与输入信号是电压相加减的关系

运算电路

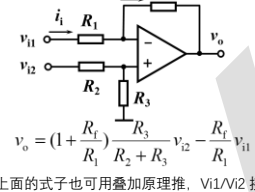
同相比例运算电路: 输入与输出的反馈接在不同端  
反相比例运算电路: 输入与输出的反馈接在同一端

加法运算电路



$$v_o = - \left( \frac{R_f}{R_{i1}} v_{i1} + \frac{R_f}{R_{i2}} v_{i2} \right)$$

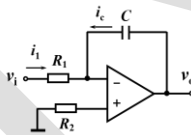
减法运算电路



(上面的式子也可用叠加原理推,  $V_{i1}/V_{i2}$  接地)

$$i = C \frac{dv}{dt}$$

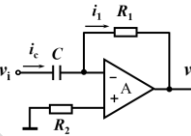
积分运算电路



$$i_c = C \frac{dv_o}{dt} \quad i_i = v_i / R_1$$
$$i_i = -i_c \quad v_o = - \frac{1}{R_1 C} \int v_i dt$$
$$v_o(t_2) = - \frac{1}{R_1 C} \int_{t_1}^{t_2} v_i dt + v_o(t_1)$$

微分运算电路

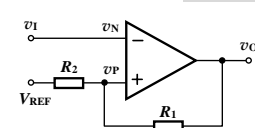
运算放大器的非线性应用: 开环正反馈  
虚断不虚短



$$i_i = i_c, \quad i_c = C \frac{dv_i}{dt}$$
$$v_o = -R_1 i_i = -R_1 C \frac{dv_i}{dt}$$

单门限比较器 (略) 【注意输入端接正还是负】  
左图也是一个单门限比较器

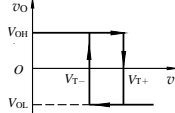
迟滞比较器



$V_o$  只有两个值:  $V_{OH}$  和  $V_{OL}$  对应两个门限电压 (运放的  $V_p$ )

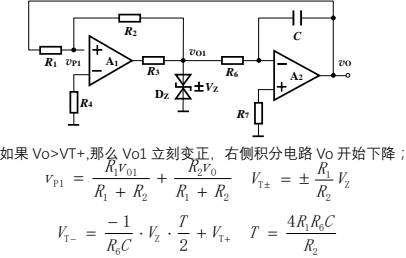
$$V_p = \frac{R_1 V_{REF}}{R_1 + R_2} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_o$$

把  $V_{OH}, V_{OL}$  代入  $V_o$  可得上下门限电压  $V_{T+}$   
当  $v_i < V_{T-}$  时,  $v_N < v_P$ ,  $v_O = V_{OH}$ ,  $v_P = V_{T+}$ , 增大  $v_i$ , 直至  $V_{T+}$ , 再增大,  $v_O$  才从  $V_{OH}$  跳变为  $V_{OL}$   
当  $v_i > V_{T+}$  时,  $v_N > v_P$ ,  $v_O = V_{OL}$ ,  $v_P = V_{T-}$ , 减小  $v_i$ , 直至  $V_{T-}$ , 再减小,  $v_O$  才从  $V_{OL}$  跳变为  $V_{OH}$



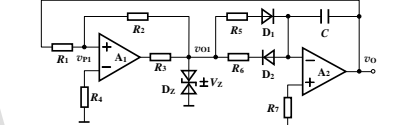
应用: 方波/锯齿波产生电路

左边是一个迟滞比较器。  
如果  $V_o < V_{T-}$ , 那么  $V_{o1}$  立刻变负, 右侧积分电路  $V_o$  开始上升;



如果  $V_o > V_{T+}$ , 那么  $V_{o1}$  立刻变正, 右侧积分电路  $V_o$  开始下降;  
 $V_{T+} = \frac{R_1 V_{o1}}{R_1 + R_2} + \frac{R_2 V_o}{R_1 + R_2} \quad V_{T-} = \pm \frac{R_1}{R_2} V_Z$   
 $V_{T-} = \frac{-1}{R_2 C} \cdot V_Z \cdot \frac{T}{2} + V_{T+} \quad T = \frac{4 R_1 R_2 C}{R_2}$

第二种积分电路: 锯齿波的上升与下降使用了不同的电阻, 导致上升下降速率不同。



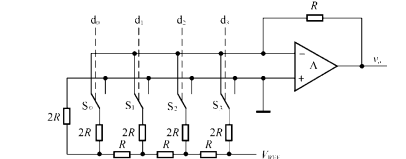
上升时使用  $R_6$  ( $V_{o1}$  较低), 下降时使用  $R_5$  ( $V_{o1}$  较高)。

CMOS 门

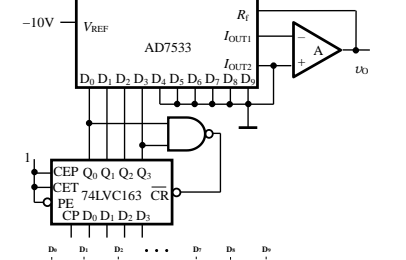
向内指: 高电平上下通。  
向外指: 低电平上下通。  
并联: 或+ 串联: 与-  
方法: 只看下面, 上面一律不看, 最后加一个拔。  
传输门: 带圈(向外指的)的为 0, 不带圈(向内指的)的为 1 导通

ADC/DAC

DAC:  
1. 数字量输入, 控制电子开关开闭, 用加法运算电路输出。其中高位电阻最小, 低位电阻最大, 为 2 的倍数  
2. 倒 T 形电阻网络 DAC



由于有运放在,  $V_{REF}$  输出的电流是恒定的, 但是通过改变开关改变了电流在运放正负端的分配方式, 导致加法运算电路输入电压改变。从各个地方向左看等效电阻是  $R$   
DAC 可以与计数器联合使用用于产生波形 虽然长得像台阶 (



上面是 10 位电流输出型 DAC AD7533  $V_o = -V_{REF} \cdot D / 1024$   
在必要的时候应该把上面自带的反馈电阻拔出来。

ADC: 一般工作过程: 采样保持量化编码  
并行比较型 ADC: 同时把电压与各个等级电压比较, 用编码器输出。(注: 虽然是 8 位同时比 7 次, 但是如果大小就 0 了采取只舍不入量化方式: 量化单位  $\Delta = 2^{-n}$ 。  
采取四舍五入量化方式: 量化单位  $\Delta = 2 / (2^n - 1)$ 。  
第一种最大量化误差  $\Delta$ , 第二种减半。  
反馈比较型 ADC (较慢):  
计数型: 逐次与计数器+DAC 生成的电压比较。  
逐次比较型: 按位比较, 如果大了, 减去该位所对的电压。  
双积分型 ADC (最慢):  
积分电路不断对模拟输入端积分加压一定时间, 然后再积 -  $V_{REF}$ , 同时计数器数数。积到零, 停止数数, 输出。