

# 1 数模转换和模数转换

## 1.1 数模转换电路 DAC

### 1.1.1 数模转换关系

1. 单极性码: 例如自然加权二进制码, 不表示正负
2. 双极性码: 可以表示正负极性的模拟信号, 例如原码, 补码, 偏移码 (补码的符号位取反得到), 使用双极性码时其满刻度是单极性码满刻度值的一半
3. 归一化表示法: 以一一对应的方式来转换输入的二进制代码, 每一个二进制数都转换成满刻度值 (FSR) 的一个确定的分数
4. 最低有效位 LSB 对应  $\frac{1}{2^n}FSR$ , 其中 n 是数字量的位数

### 1.1.2 权电阻网络 DAC

1. 参考电压  $V_{ref}$ ; 从高位到低位的数字量  $X_1, X_2, X_3$ , 分别控制开关  $S_1, S_2, S_3$
2. 电路结构 p197, 由叠加定律, 模拟输出电压  $V_o$

$$V_o = -iR_f = -\frac{2R_f}{R}V_{ref} * \frac{X_12^2 + X_22^1 + X_32^0}{2^3}$$

其中  $-\frac{2R_f}{R}V_{ref}$  为 FSR, 分子上是输入的二进制数字展开的十进制数, 切勿忘记反向

3. 分辨率  $s = |V_{Omin}| = \frac{1}{2^3}FSR$

### 1.1.3 R-2R 梯形电阻网络 DAC

1. 电路结构 p198
2. 各个连接点对地电阻都是 R, 且整个网络中只有两种阻值的电阻
3. 根据戴维南定律推导

$$V_o = -\frac{R_f}{R}V_{ref} * \frac{X_12^2 + X_22^1 + X_32^0}{2^3}$$

其中  $\frac{R_f}{R}V_{ref}$  是 FSR, 切记与权电阻网络的不同; 最大值  $-\frac{7}{2^3}FSR$ ; 最小值  $-\frac{1}{2^3}FSR$

### 1.1.4 R-2R 倒梯形电阻网络 DAC

1. 电路结构 p199
- 2.

$$V_o = -\frac{R_f}{R}V_{ref} * \frac{X_12^2 + X_22^1 + X_32^0}{2^3}$$

### 1.1.5 集成数模转换电路

0. 讨论双极性码, 补码相对原码更好, 因为其 0 只有一种表达; 偏移码相对补码更好, 因为具有模拟量从小到大, 偏移码也从小到大的独有特点

偏移码其实就相当于将坐标系偏移 to 单极性码的中心时的表现

1.10 位 CMOS 集成 DAC - AD7533

使用时要外接参考电压  $V_{ref}$  和运算放大器, 把电流输出转换为电压输出

1) 结构见 p201

2)

$$I_{OUT1} = I_{ref}(X_1 2^{-1} + X_2 2^{-2} + \cdots + X_{10} 2^{-10})$$

$$I_{OUT2} = I_{ref}(\bar{X}_1 2^{-1} + \bar{X}_2 2^{-2} + \cdots + \bar{X}_{10} 2^{-10})$$

$$I_{OUT1} + I_{OUT2} = \frac{1023}{1024} I_{ref}$$

3) 接收自然加权码

$$V_o = -V_o = I_{OUT1} R = I_{ref} R \frac{(X_1 2^{-1} + X_2 2^{-2} + \cdots + X_{10} 2^{-10})}{2^{10}} \quad (1)$$

$$= V_{ref} \frac{(X_1 2^{-1} + X_2 2^{-2} + \cdots + X_{10} 2^{-10})}{2^{10}} \quad (2)$$

其中  $V_{ref} = I_{ref} R$  是 FSR

4) 接受偏移码

$$V_o = -V'_o = (I_{OUT1} - \frac{I_{ref}}{2}) R = (X_1 \frac{I_{ref}}{2} + X_2 \frac{I_{ref}}{2^2} + \cdots + X_{10} \frac{I_{ref}}{2^{10}} - \frac{I_{ref}}{2}) R$$

5) 接受补码

将补码的符号位取反, 然后和偏移码相同

$$V_o = -V'_o = (I_{OUT1} - \frac{I_{ref}}{2}) R = (\bar{X}_1 \frac{I_{ref}}{2} + X_2 \frac{I_{ref}}{2^2} + \cdots + X_{10} \frac{I_{ref}}{2^{10}} - \frac{I_{ref}}{2}) R$$

## 1.2 ADC 模数转换电路

### 1.2.1 量化

1. 量化: 将模拟量离散化的过程
2. 量化单位  $s$ : 在量化过程中的最小数量单位, 也叫做量化阶梯
3. 量化误差  $\varepsilon$ : 取样电压不一定能被  $s$  整除, 量化前后必然出现误差, 此误差无法消除
4. 量化方法: 只舍不入量化方式, 四舍五入量化方式
5. 四舍五入法:  $s = \frac{1}{2^n - 1}$ , 误差较小
6. 只舍不入量化法:  $s = \frac{1}{2^n}$

### 1.2.2 并行比较 ADC

### 1.2.3 并/串型 ADC

可以克服并行的硬件繁多

将输入的高低位分开处理, 高位进行只舍不入的 AD 转换, 低位进行四舍五入的 AD 转换, 最后统合起来得到结果

### 1.2.4 逐次逼近型 ADC

1. 类似于天平称量，从最高位开始比较，通过多次比较输入信号与二进制信号的大小，最后得到相对最近的二进制信号作为输出
2. 输入只舍不如 ADC
3. 完成一次转换需要的时间  $t = (n + 2)T_{CLK}$

### 1.2.5 双积分 ADC

1. 进行两次积分，第一次，使用输入电压进行定时积分，通过固定  $t_1$  时长的积分，得到一个电压值保存，在此过程中计数器收到  $(2^n - 1)$  个 CLK；在第  $2^n$  个 CLK，计数器复 0
2. 第二次，使用  $-V_{ref}$  进行定压积分，计数器计时直到电压在积分的作用下复 0，记此时计数器接到 N 个时钟脉冲

$$N = \frac{\bar{V}_{in}}{V_{ref}} 2^n$$

则十进制 N 与输入电压成正比，实现了 A/D 转换