



数模混合设计课题组

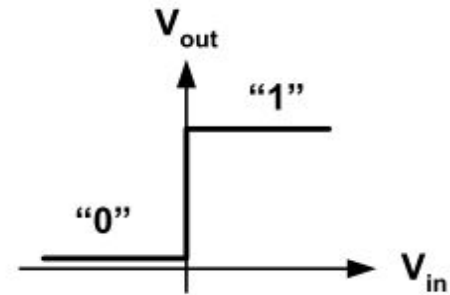
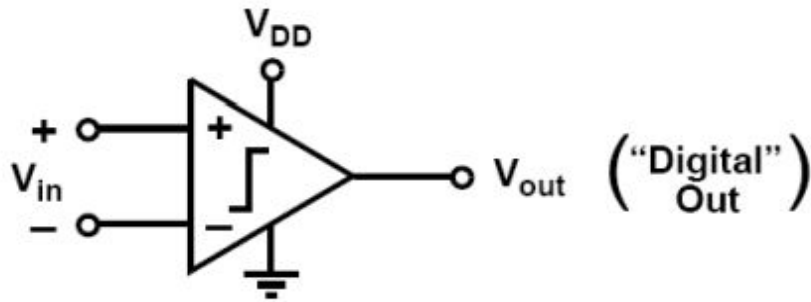
比较器

主讲人：xx

日期：2015.5.5



- 理想比较器

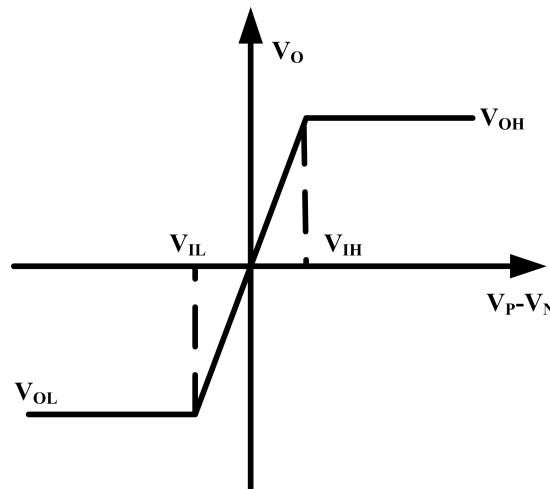


功能：比较两个输入模拟信号(例如一个输入信号和一个参考信号)并由此产生一个二进制输出

增益无限(零失调), 延迟为零



- 比较器的增益



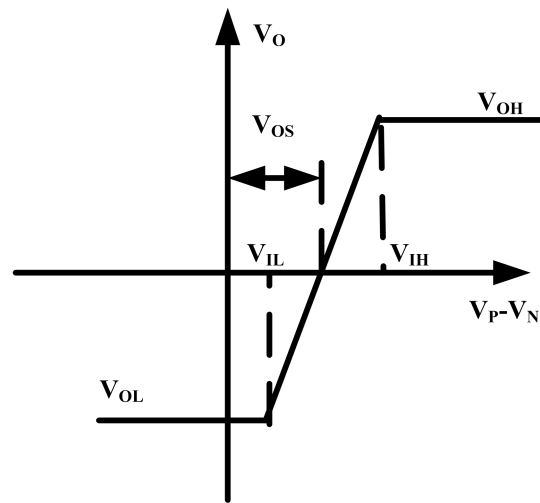
有限增益比较器传输曲线

V_{IL} 为输出为 V_{OL} 最大输入电压
 V_{IH} 为输出为 V_{OH} 最小输入电压

增益: $A_v = \frac{V_{OH} - V_{OL}}{V_{IH} - V_{IL}}$



- 比较器的失调

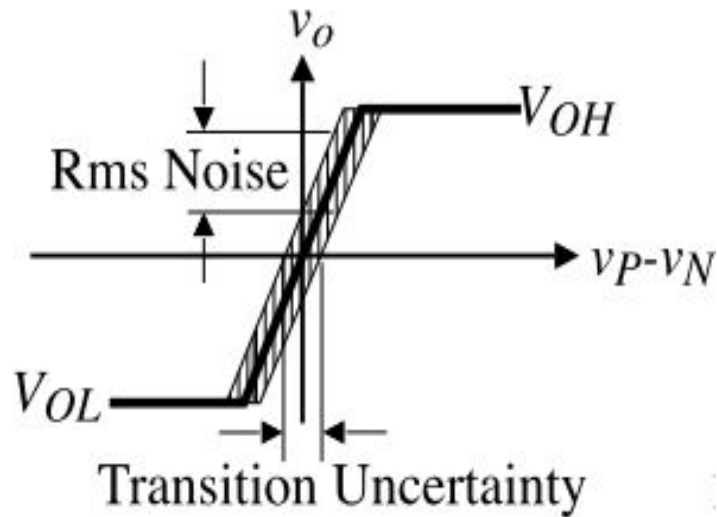


包含输入失调电压的比较器的传输曲线

比较器输入之差达到某个电压值 V_{OS} 时，输出才发生变化，如图所示；这个电压值 V_{OS} 定义为比较器的失调电压(offset)。比较器的失调电压可能为正值，也可能为负值。



- 比较器的噪声



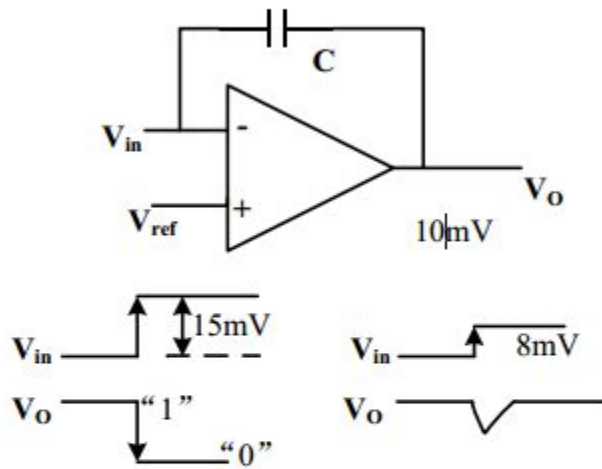
噪声对比较器的影响

当输入电压差处于 V_{IH} 和 V_{IL} 之间时，比较器工作在两个二进制输出状态的过渡区间；由于噪声的存在，会导致过渡区间的不确定性，这种过渡区间的不确定性将增大比较器的失调电压和精度。

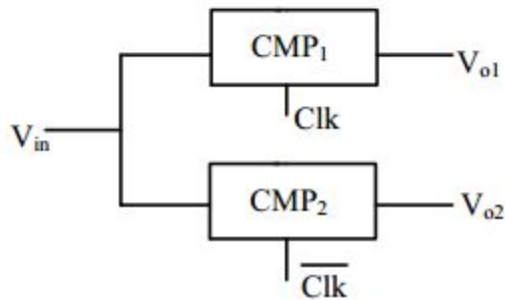


数模混合设计课题组

• Kickback Noise 回踢噪声



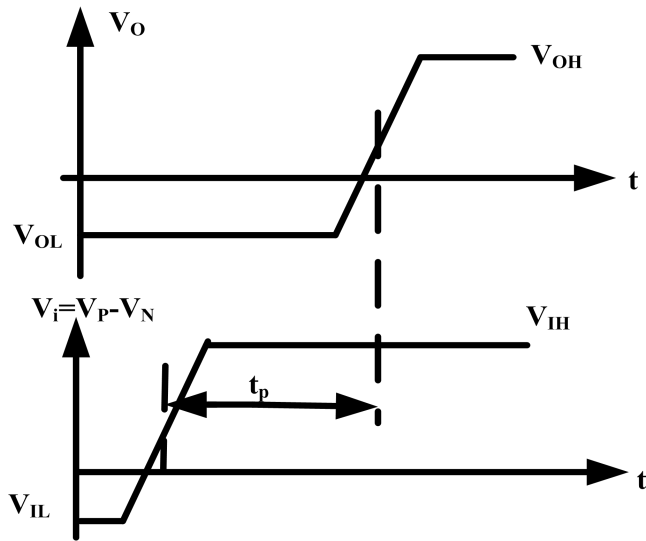
➤ 寄生电容(C_{gs} , C_{gd}), 将再生节点的电压变化耦合到输入端。



➤ V_{o1} 的变化耦合到 V_{in} , 影响CMP2的比较判断。



• 比较器的延迟



比较器的传输延迟

假设比较器差分电压增益可表示为:

$$A_V = \frac{A_V(0)}{S/\omega_c + 1} = \frac{A_V(0)}{s\tau_c + 1}$$

定义比较器的最小输入电压为:

$$V_{in}(\text{最小}) = \frac{V_{OH} - V_{OL}}{A_V(0)}$$

当 $V_{in}(\text{最小})$ 加在比较器上, 比较器的传输延迟可写为:

$$t_p(\text{最大}) = \tau_c \ln(2) = 0.693\tau_c$$

如果输入是 $V_{in}(\text{最小})$ 的 K 倍, 这传输延迟为:

$$t_p = \tau_c \ln\left(\frac{2K}{2K-1}\right)$$



- 比较器的摆率

随着输入信号电压差的继续增大，比较器最终会进入大信号工作模式，输出延时不再随输入电压差的增大而减小。在大信号模式下，比较器的输出延时受电容充放电电流的限制，即摆率 **SR** 的限制。此时比较器的输出延时可表示为：

$$t_p = \frac{\Delta V}{SR} = \frac{V_{OH} - V_{OL}}{2 \bullet SR}$$

在电路设计时，为减小比较器的输出延时，应使比较器工作在大信号模式下，让摆率成为传输延时的决定因素，此时减小传输延时的主要方法是增大比较器的输出电流。



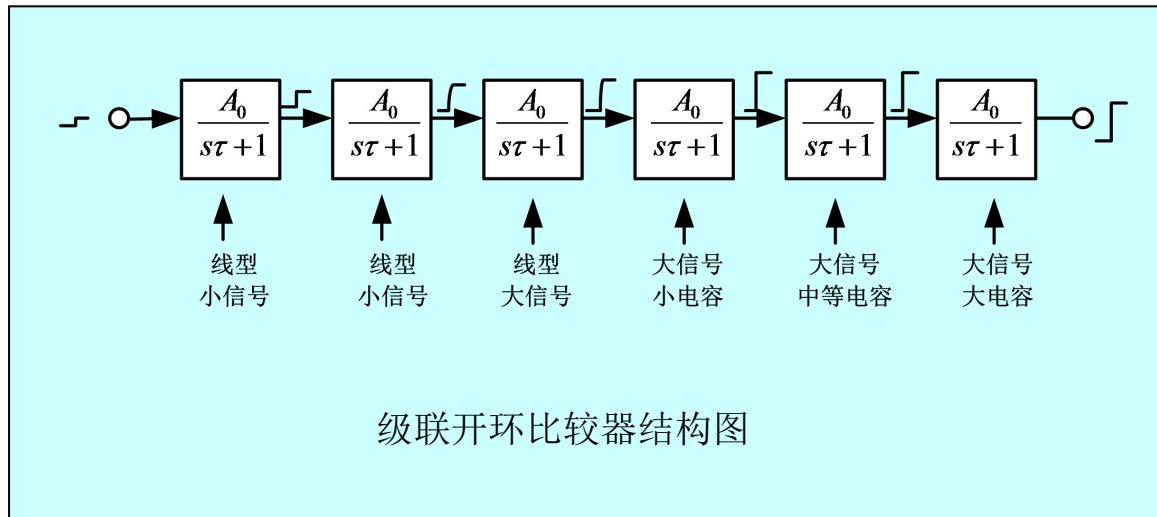
比较器的分类及结构

- 根据放大器的不同应用形式，可以分为开环和闭环两种
- 按照工作原理划分，可以分为开环比较器和可再生比较器
- 按照电路结构划分，可以分为单端输出结构比较器和双端输出结构比较器两种
- 从功耗的角度，比较器可以分为静态比较器和动态比较器两种



开环比较器

这类比较器在理论上可以由单级高增益放大器和由两级或者两级以上的放大器级联开环应用实现

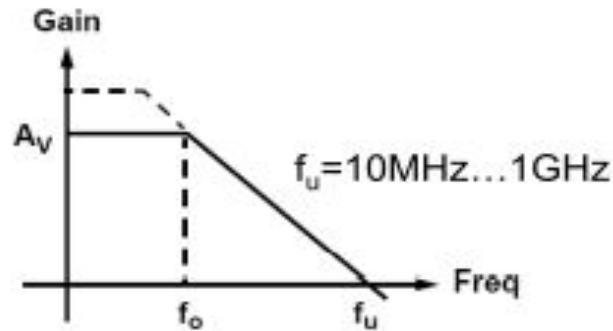


开环比较器结构简单，却具有大的失调电压和较高的噪声



数模混合设计课题组

单级放大器



f_u = unity gain frequency, f_o = - 3dB frequency

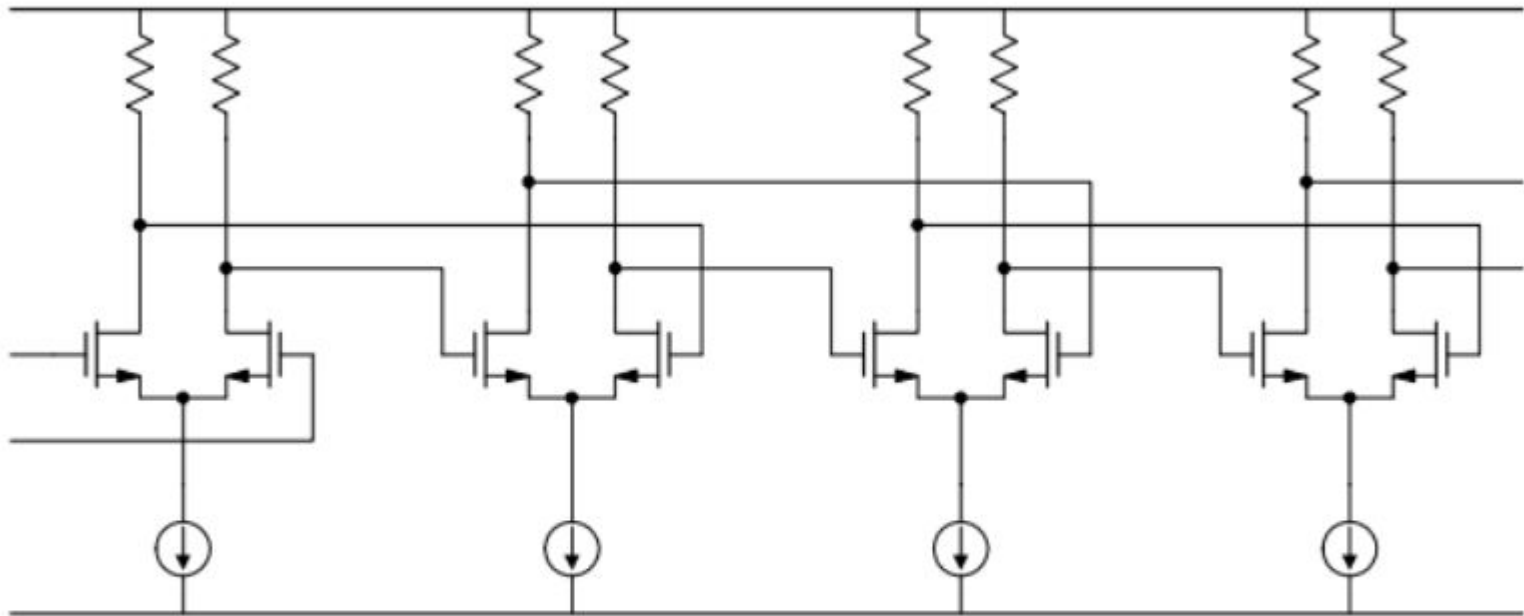
$$f_o = \frac{f_u}{A_v} \approx \frac{1\text{GHz}}{16,000} = 62.5\text{kHz}$$

$$\tau_o = \frac{1}{2\pi f_o} = 2.5\mu\text{s}$$

单级放大器难以同时实现高精度和高速度
常使用多级小增益放大器级联



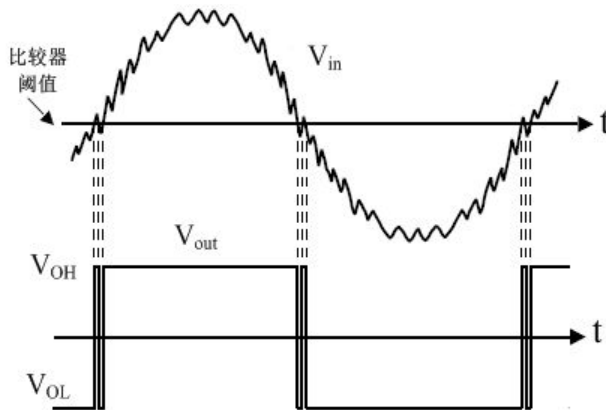
数模混合设计课题组



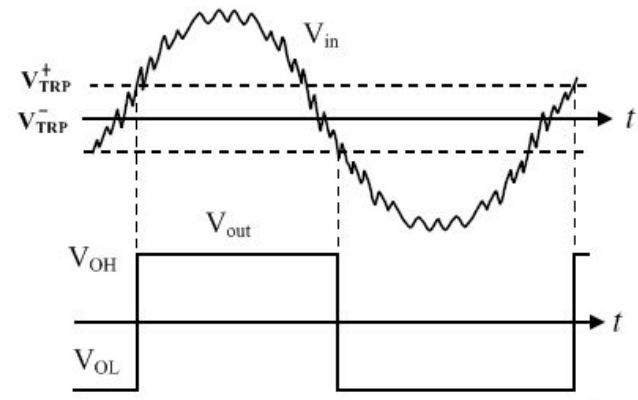
低增益多级级联比较器的速度快于单级高增益比较器



- 迟滞比较器



非迟滞比较器对含有噪声的输入响应

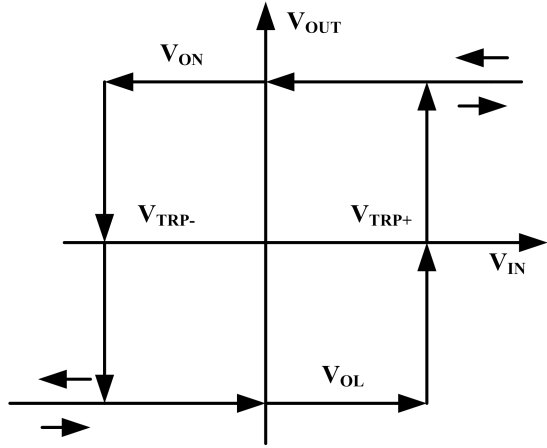


迟滞比较器对含有噪声的输入响应

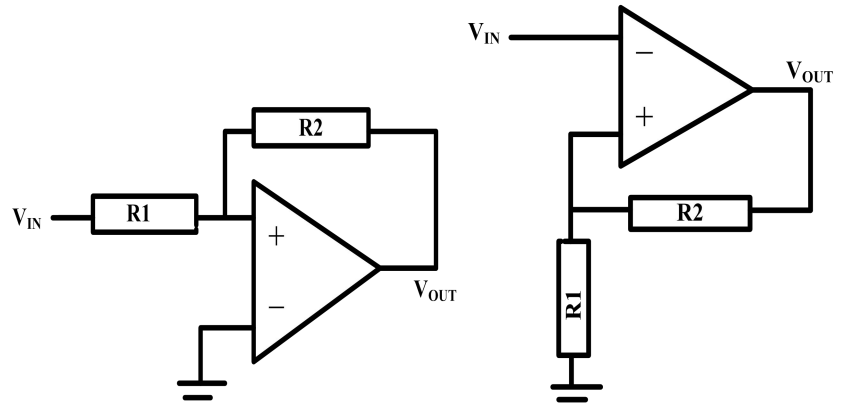


数模混合设计课题组

迟滞比较器



迟滞比较器传输曲线

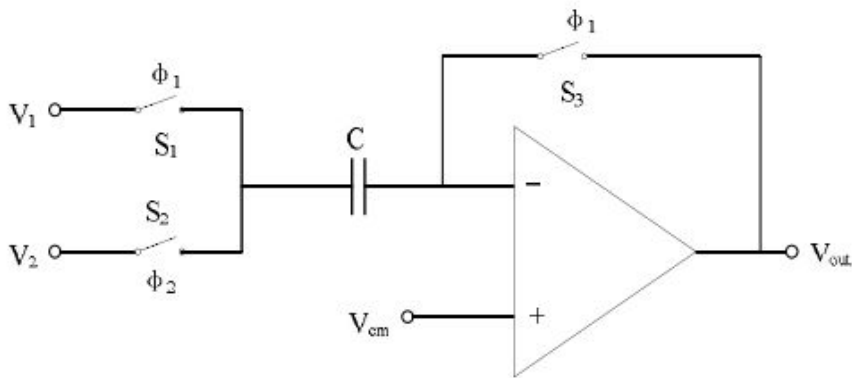


外部正反馈实现的迟滞比较器



• 开关电容比较器

在许多A/D转换系统应用中，输入端常会有一个采样保持电路。这样会使得输入信号在采样时钟相位发生变化时才变化。这种应用的比较器可以采用开关电容的结构，这是一种将开关电容电路和开环应用比较器相结合的电路。其特点是可以采用单端结构的电路来比较差分信号，而且很方便使用自动校零技术来消除直流失调电压。



开关电容比较器结构

ϕ_1 相位期间，开关 S_1 、 S_3 闭合， S_2 断开

$$V_{out} = V_- = V_+ = V_{cm}$$

$$Q = (V_1 - V_{cm})C$$

ϕ_2 相位期间，开关 S_1 、 S_3 断开， S_2 闭合

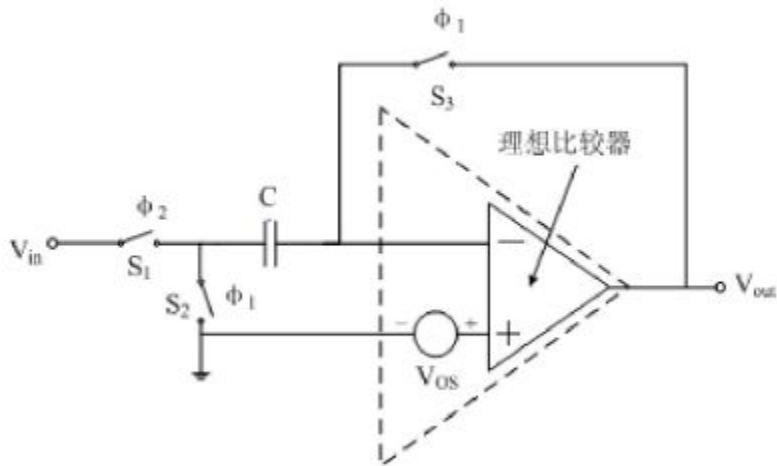
$$Q = (V_2 - V_-)C$$

$$V_{out} = A_{V0} \cdot (V_{cm} - V_-) = A_{V0} \cdot (V_1 - V_2)$$

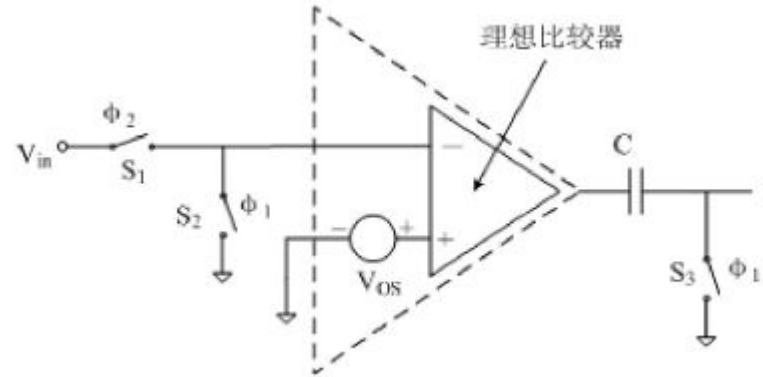


数模混合设计课题组

• 自动调零技术



输入存储技术(ios)



输出存储技术(oos)

$$V_{out} = -A_{V0} [(V_{in} + V_{OS}) - V_{OS}] = -A_{V0} V_{in}$$

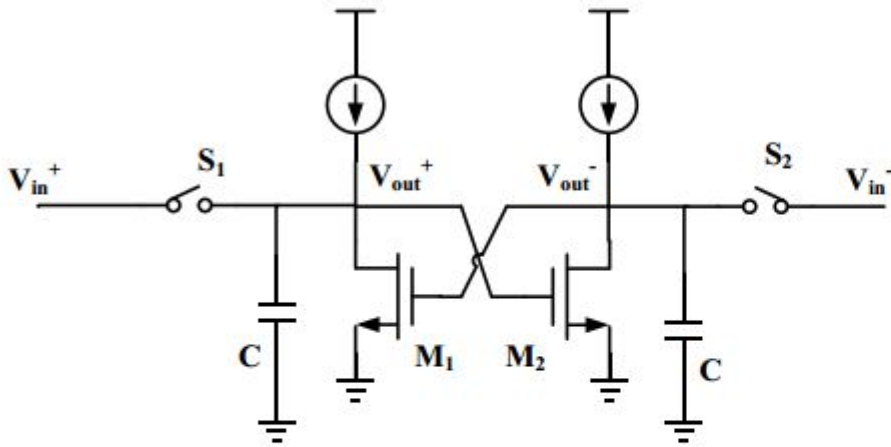
$$V_{out} = -A_{V0} (V_{in} - V_{OS}) - A_{V0} V_{OS} = -A_{V0} V_{in}$$

IOS 适用于高增益的放大器电路，而 OOS 适用于低增益的放大器电路



数模混合设计课题组

可再生比较器



缺点：输入端 V_{in} 灌入电流
影响输出端 V_{out}

- ① S_1 、 S_2 闭合，电容预充电
- ② S_1 、 S_2 断开，信号再生

$$\begin{cases} V_{out}(t) = V_{diff} \cdot e^{-t/t_p} \\ t_p = -\frac{1}{2g_m} \cdot 2C = -\frac{C}{g_m} \end{cases}$$
$$\Rightarrow V_{out}(t) = V_{diff} \cdot e^{t \cdot \frac{g_m}{C}}$$

$$t_{setting} = \frac{C}{g_m} \cdot \ln \frac{V_{out}}{V_{diff}} = t_p \cdot \ln A_v$$



• 几种比较器结构的性能比较

开环比较器，特别是多级开环比较器容易做到高速高精度。然而，由于这类比较器中运放的增益和带宽的折衷，很难做到超高速。此外，多级开环比较器相比于其他结构的比较器功耗较大，这限制了这类比较器在超高速高精度中的应用。

迟滞比较器在抗噪声抗干扰环境中具有广泛的应用。然而，它是放大器在闭环情况下的应用，速度受限。

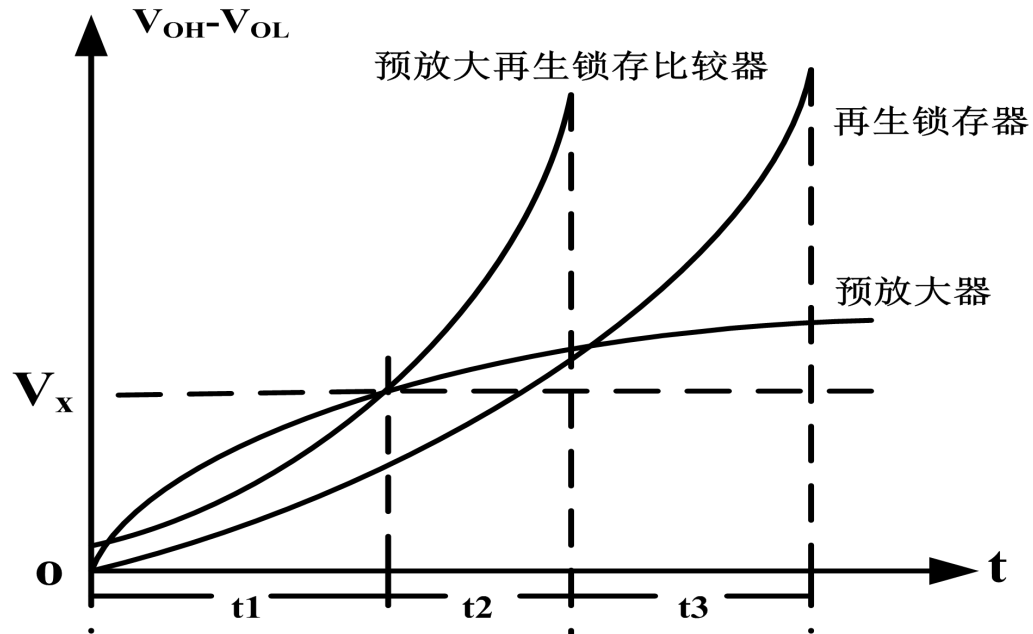
开关电容比较器属于典型的离散时间比较器，设计难度较大，且电路中非线性因素较多

可再生锁存比较器再生速度高，容易做到超高速。然而，它的大的失调电压限制了它在高精度中的应用。



数模混合设计课题组

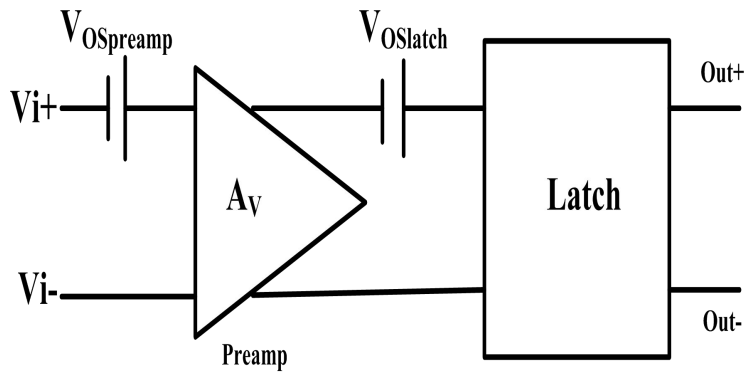
开环放大器与锁存器



开环放大器在电压较低时速度较快，锁存器在电压较高时速度较快，所以常使用开环放大器加锁存器的结构进一步提高速度



- 预放大加锁存器的原理



$$\sigma_{Input-Referred-Offset} = \sqrt{\sigma_{V_{OSpreamp}}^2 + \frac{1}{A_v^2} \sigma_{V_{OSlatch}}^2}$$

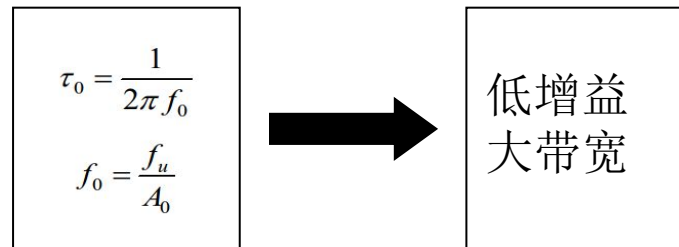
增益越大越大越好？

除了具有明显的速度优势，预放大锁存比较器相比于单个锁存比较器具有低的失调电压和低的失调电压。

正反馈锁存器前边加一级预放大器，预放大器内部和输出端加载隔离电路，使得其输出信号多次衰减后到达信号的输入端。加载的隔离电路越多，回踢噪声衰减的就越大



- 前置放大器的选择





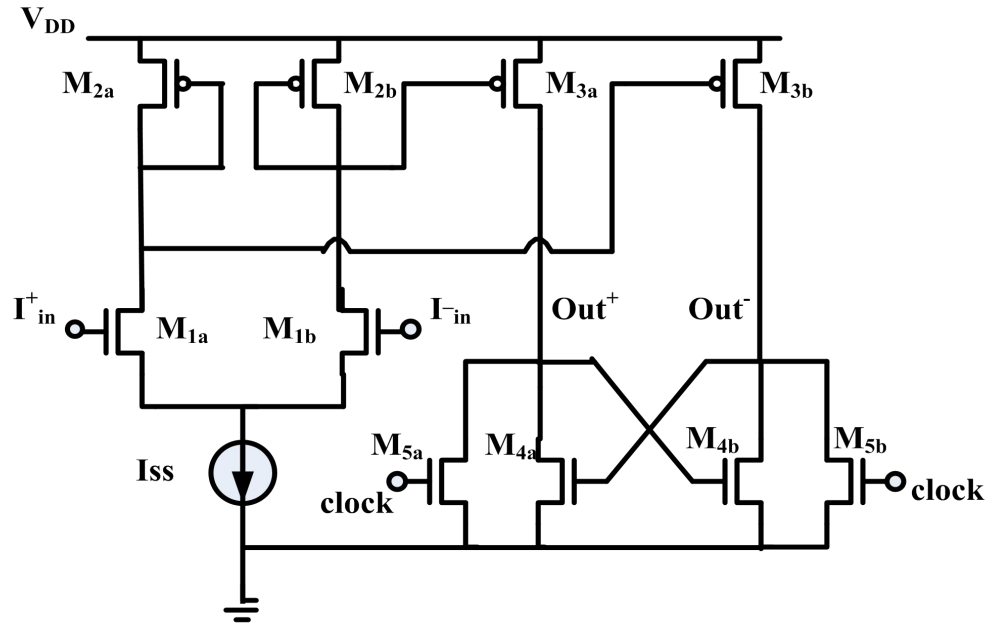
数模混合设计课题组

静态预放大再生锁存比较器

级联的共栅晶体管隔离了再生节点的电压变化，减小了回踢噪声

总是存在着两条直流通路，静态比较器的功耗较大

复位过程较慢

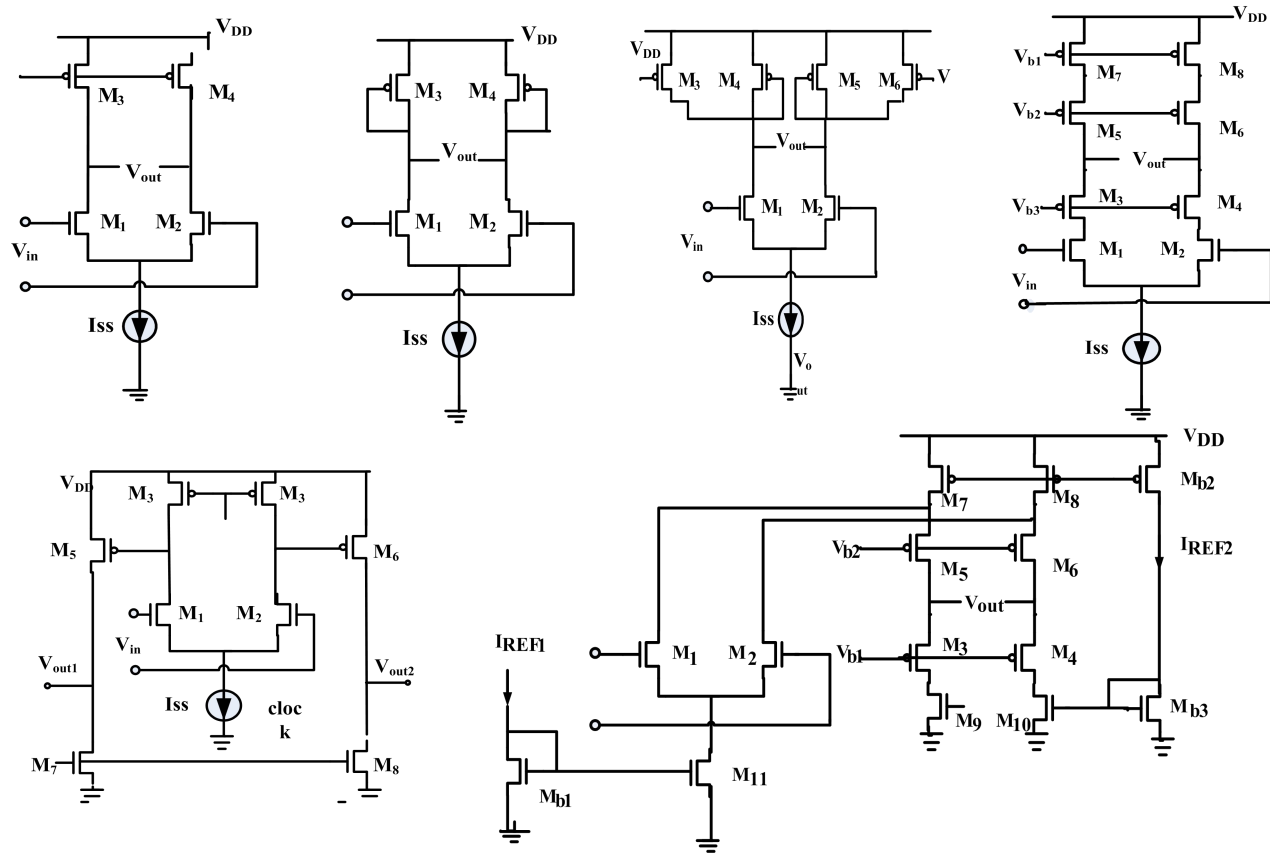


静态预放大再生锁存比较器结构



数模混合设计课题组

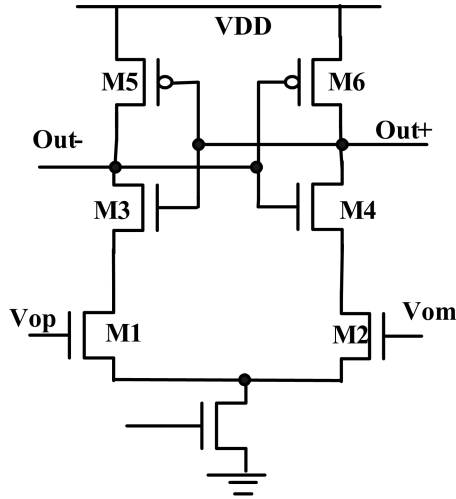
常见的几种放大器结构



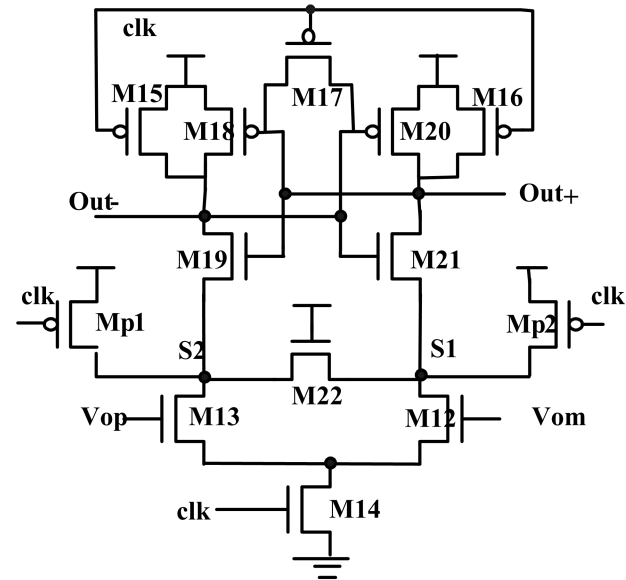


数模混合设计课题组

再生锁存电路的设计与优化



基本的锁存电路



再生锁存器结构



数模混合设计课题组

THANK YOU!