

0.1 Cascode 放大器

0.1.1 共源共栅极放大电路

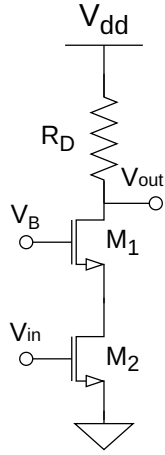


图 1: 共源共栅极放大电路

0.1.1.1 Large Signal Behavior:

- Input:

$$V_{in} > V_{th1}$$

- Output:

$$V_x > V_{gs1} - V_{th2}$$

$$V_b > V_x + V_{th2}$$

$$V_{out} - V_x > V_{gs2} - V_{th2}$$

- So:

$$V_{out} > V_{gs1} - V_{th1} + (V_{gs2} - V_{th2})$$

为了使 V_{out} 的 swing 尽可能大, 要使 V_b 尽可能低。最低值就是:

$$V_b = V_x + V_{gs2} > V_x + V_{th2} > V_{gs1} - V_{th1} + V_{th2} \quad (1)$$

0.1.2 小信号增益 Gain

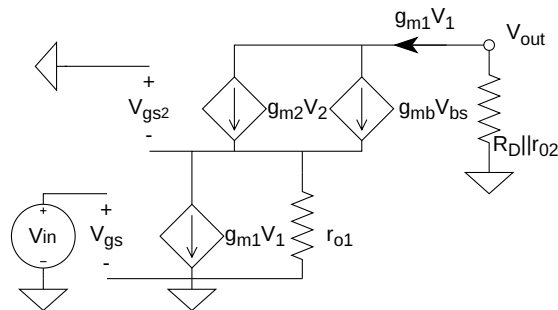
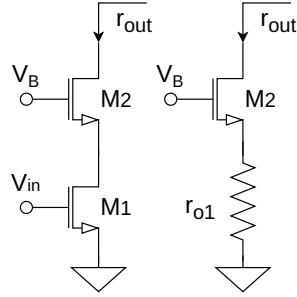


图 2: Cascode 小信号模型图

$$\begin{aligned}
A_V &= G_m r_{out} \\
&= -g_{m1} r_{o1} [(g_{m2} + g_{mb2}) r_{o2} + 1] \\
&= A_{V1} \times A_{V2}
\end{aligned} \tag{2}$$

0.1.2.1 输出电阻



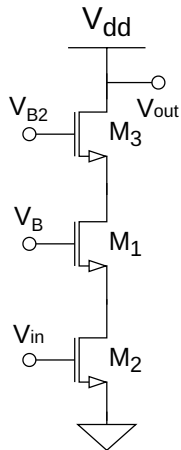
$$\begin{aligned}
r_{out} &= r_{o1} + r_{o2} + (g_{m1} + g_{m2}) r_{o1} r_{o2} \\
&\approx [r_{o1} r_{o2} (g_{m1} + g_{m2})]
\end{aligned} \tag{3}$$

图 3: 测量小信号输出电阻

0.1.2.2 Transconductance G_m

$$G_m = -\frac{g_{m1} r_{o1} [r_{o2} (g_{m2} + g_{mb2}) + 1]}{r_{o1} r_{o2} (g_{m2} + g_{mb2}) + r_{o1} + r_{o2}} \tag{4}$$

0.1.3 Triple Cascode 放大器



0.1.3.1 小信号增益 Gain

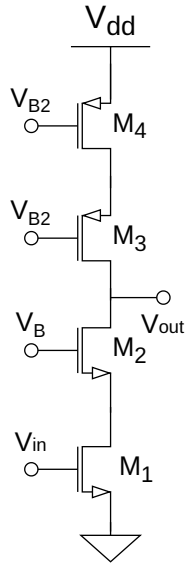
$$\begin{aligned}
A_V &= g_{m1} r_{o1} \\
&\quad [r_{o2} (g_{m2} + g_{mb2}) + 1] \\
&\quad [r_{o3} (g_{m3} + g_{mb3}) + 1]
\end{aligned} \tag{5}$$

图 4: Triple Cascode 放大器

0.1.3.2 输出电阻

$$r_{out} = (g_{m3} + g_{mb3})\{[1 + (g_{m2} + g_{mb2})r_{o2}]r_{o1} + r_{o2}\}r_{o3} + r_{o3} \quad (6)$$

0.1.4 另一种 Cascode 放大器



0.1.4.1 Gain

$$\begin{aligned} A_V &= \\ &= g_{m1}[(g_{m2}r_{o1}r_{o2}) \\ &\quad || (g_{m3}r_{o4}r_{o3})] \end{aligned} \quad (7)$$

0.1.4.2 r_{out}

$$\begin{aligned} r_{out} &= (r_{o1} + r_{o2} + r_{o1}r_{o2}(g_{m2} + g_{mb2})) \\ &\quad || (r_{o3} + r_{o4} + r_{o3}r_{o4}(g_{m3} + g_{mb3})) \end{aligned}$$

图 5: 另一种 Cascode 共源共栅放大器

这个电路有一个问题: Output Swing 特别小, 为 $(V_{dd} - 4 \times \text{过驱动电压})$ 。

0.1.5 Folded-Cascode 放大器

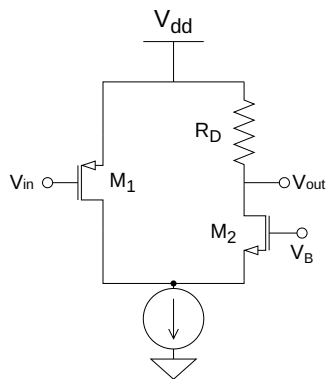


图 6: Folded-Cascode 放大器

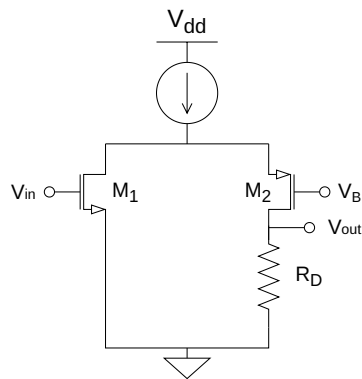


图 7: Folded-Cascode 放大器

0.1.5.1 大信号特性

- $V_{in} > V_{DD} - |V_{TH1}|$, M_1 关断, M_2 承载了所有电流 I_1
- $V_{in} < V_{DD} - |V_{TH1}|$, M_1 开启并工作在饱和区
- V_{in} 继续降低, 到达 $I_{D1} = I_1$ 的时候, M_2 关断, 此时 $V_{in} = V_{in1}$
- 当 V_{in} 继续降低, $V_{in} < V_{in1}$ 的时候, M_1 进入三极管区

0.1.5.2 小信号分析