

CMOS 模拟集成电路原理 第三周作业

范云潜 18373486

微电子学院 184111 班

日期：2020 年 10 月 1 日

作业内容：作业 1：利用仿真结果，找到我们所使用工艺的 μ, C_{ox}, V_{th}

作业 2：通过公式描述 V_B 的取值范围（提示：晶体管 M1-M4 均需要工作在饱和区）；在 Cascode 电流镜中，假设有寄生电容 C_{par} ，利用公式估算并用仿真验证该电流镜的频率特性。（可以自由设置偏置、晶体管的尺寸以及寄生电容）

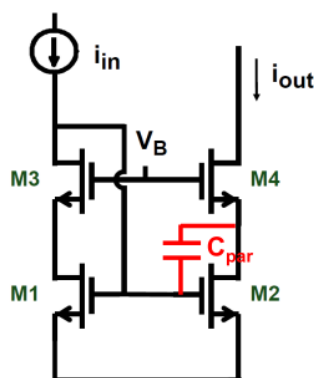


图 1: 题目 2

作业 3 假设差分对偏置电流为 200uA， $W/L=20\mu m/1\mu m$ ，根据理论分析和仿真验证。1. 计算 $g_m > 992$ 。2. 计算差分输出电流为 198uA 时的差分输入电压。3. 如果需要把问题 2 中求得的电压扩大一倍，差分对的 W 需要如何修改？

本次作业使用 $W/L = 1\mu m/0.18\mu m$

Problem 作业 1

仿真的思路：建立电路图之后，对特定的直流点进行工作点仿真，即 OP 仿真，得到相关的直流参数如电流电压以及对应的电容等之后，通过相关公式计算栅氧的电容。

仿真，得到 nMOS $V_{th} = 456.44mV, C_{gs} = 1.32fF$ ，如图 2；得到 pMOS $V_{th} = 319.17mV, C_{gs} = 888.9aF$ 如图 3。

为了得到 C_{ox}

$$C_{GS} \approx \frac{2}{3} W L C_{ox}$$
$$C_{ox} = \frac{3}{2} \frac{C_{gs}}{W L}$$

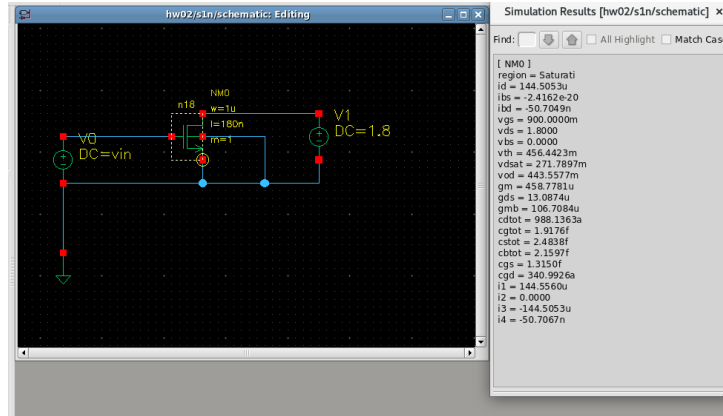


图 2: nMOS 参数

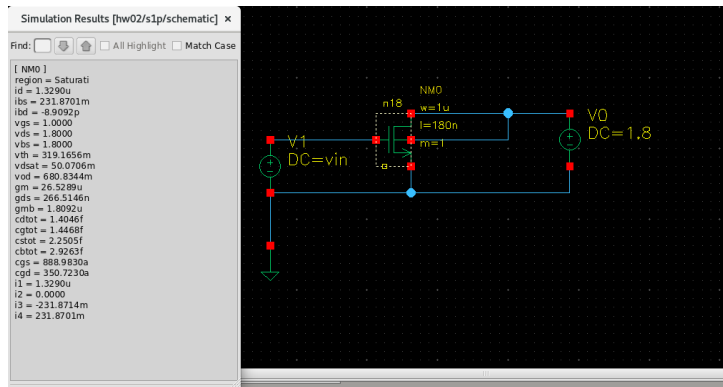


图 3: pMOS 参数

计算得到 $C_{ox,n} = 0.0110F/m^2$, $C_{ox,p} = 0.0074F/m^2$

之后即可通过电流公式进行计算 μ

$$I_d = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{gs} - V_{th})^2$$

$$\mu_n = \frac{2I_d}{C_{ox} \frac{W}{L} (V_{od})^2}$$

计算得到 $\mu_n = 0.0240m^2V^{-1}s^{-1}$, $\mu_p = 1.3934e-04V^{-1}s^{-1}$

Problem 作业 2

仿真的思路是建立 图 4, 需要在偏置电流的基础上对各个点的电压进行预先设计, 据此确定晶体管尺寸。建立之后需要先进行直流 OP 测试, 确保各个晶体管工作在正常的饱和区, 并且电流镜可以正常工作。进行小信号测试时依靠 AC 测试对电流源的负载小信号进行扫频计算, 通过电压-电流增益确定特征频率。

SubProblem 1

对 1, 3 管列式, 记 V_x 为 M3 漏极电压, V_y 为 M3 源极电压:

$$V_B - V_x < V_{th}$$

$$V_B - V_y > V_{th}$$

$$V_x - V_y < V_{th}$$

$$V_x > V_{th}$$

那么

$$V_x < V_{th} + V_y < V_B < V_{th} + V_x < V_y + 2V_{th}$$

SubProblem 2

设 $V_x = 1V$ 以 $V_{th} = 0.5V$ 预估, 可以使 $V_y = 0.7V$ $V_B = 1.4V$, 设置偏置电流为 $0.1mA$ 。
据此计算得到: $(W/L)_3 = 7.2\mu/0.18\mu$ $(W/L)_1 = 0.56\mu/0.18\mu$

最终搭建电路如图 4, 频率响应如图 5, 特征频率为 $30MHz$

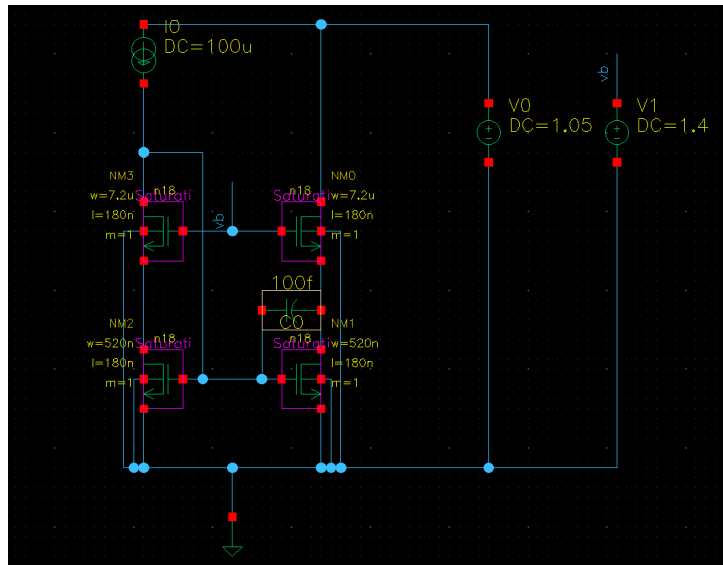


图 4: Cascode 电路



图 5: Cascode 电路频响

手工计算:

$$r_o \approx \frac{1}{\lambda I_D} \approx \frac{1}{0.1 \cdot 0.1/1000} = 1e6\Omega$$

那么特征频率为

$$f_t = \frac{1}{2\pi C r_{eq}} = \frac{1}{2\pi \cdot 100f \cdot 50k} = 31830988.61838Hz = 31.8MHz$$

Problem 作业 3

仿真的思路是建立一个基本差动对，通过理想电流源驱动差分对，锁定电流。对差动对的输入使用等大反向的驱动，通过 DC 扫描对输入电压进行驱动，并通过微分操作计算跨导。

SubProblem 1

搭建电路，如图 6，对 V_{in} 扫描，结果如图 7。 $g_m = 1.2m$ ，得到 $0.99g_m = 1.188m$ ，图中结果为 $V_{in} = 2 * 16 = 32mV$ ，如图 8。

手工计算

$$g_m = \frac{\partial \Delta I_D}{\partial \Delta V_{in}} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \frac{\frac{4I_{SS}}{\mu_n C_{ox} W/L} - 2(\Delta V_{in})^2}{\sqrt{\frac{4I_{SS}}{\mu_n C_{ox} W/L} - (\Delta V_{in})^2}}$$

仿真得到 $\mu_n C_{ox} = 2I_d/(V_{od}^2)/(W/L) = 0.00039157 = k$ ，带入得到

$$g_{m,max} \sqrt{I_{SS} \mu_n C_{ox} W/L} = 0.0017699$$

SubProblem 2

$I = 198u$ 时， $\Delta V_{in} = 2 * 0.14 = 0.28V$ 。如图 10

手工计算得到

$$V_{in} = \sqrt{2I_{SS}/(\mu_n C_{ox} W/L)} = 0.15981V$$

那么 $\Delta V_{in} = 0.32V$

SubProblem 3

此时可以认为，几乎是 ΔV_{in} 为最大值的时候，将其扩大为 2 倍，那么根据公式 $\Delta V_{in} = \sqrt{2I_{SS}/(\mu_n C_{ox} W/L)}$ 得到， W/L 变为 1/4 倍，即 $W = 10\mu m$ 。

分别仿真出的电压是 0.15V 0.26V 如图 11 图 12

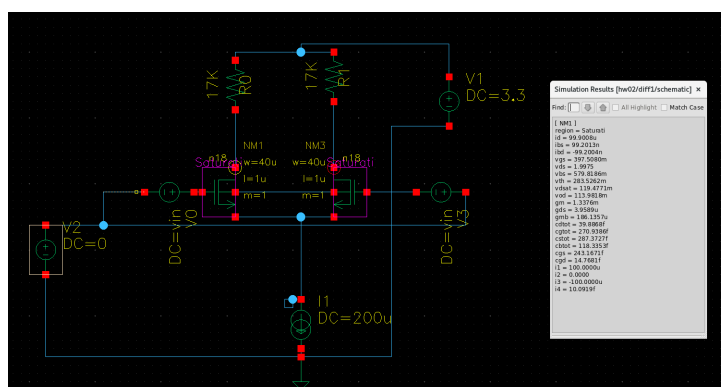


图 6: 差动电路

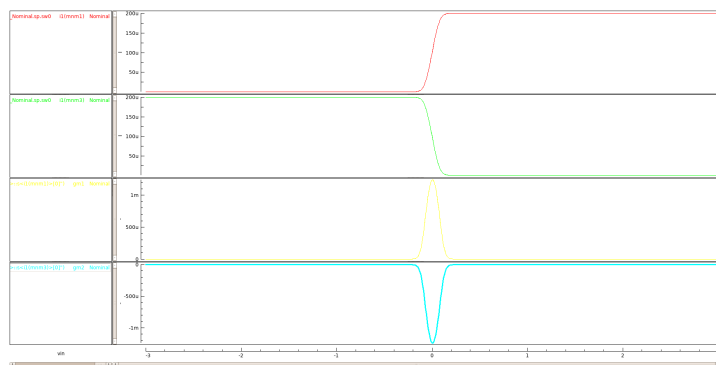


图 7: 差动电路结果

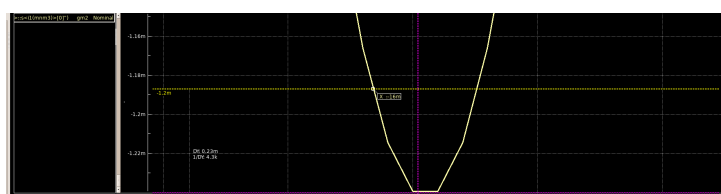


图 8: 差动电路区间

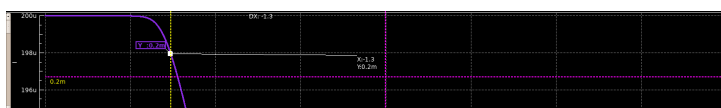


图 9: 差分电压

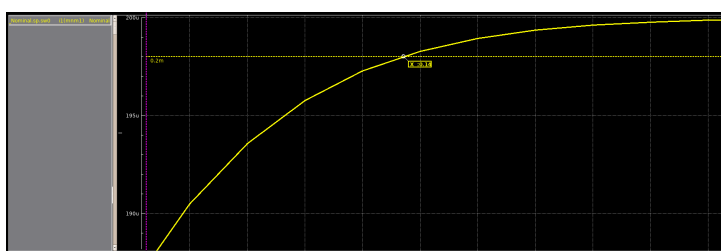


图 10: 198 uA 对应电压



图 11: 抽取电压



图 12: 抽取电压