

第三次作业

韦先

本次实验使用 aether 平台进行仿真。

要求：

对一偏置电流为 100uA 的五管 OTA，共模电压为 0.9V，设计晶体管的尺寸。满足下面的三个要求：

- 1.使其在单位增益负反馈时系统性失调小于 0.1mV。
- 2.使其随机性失调的标准差（std）小于 1mV。
- 3.使其共模抑制比大于 50dB。

为了解决这个题目，首先要设计 MOS 管的宽长比。

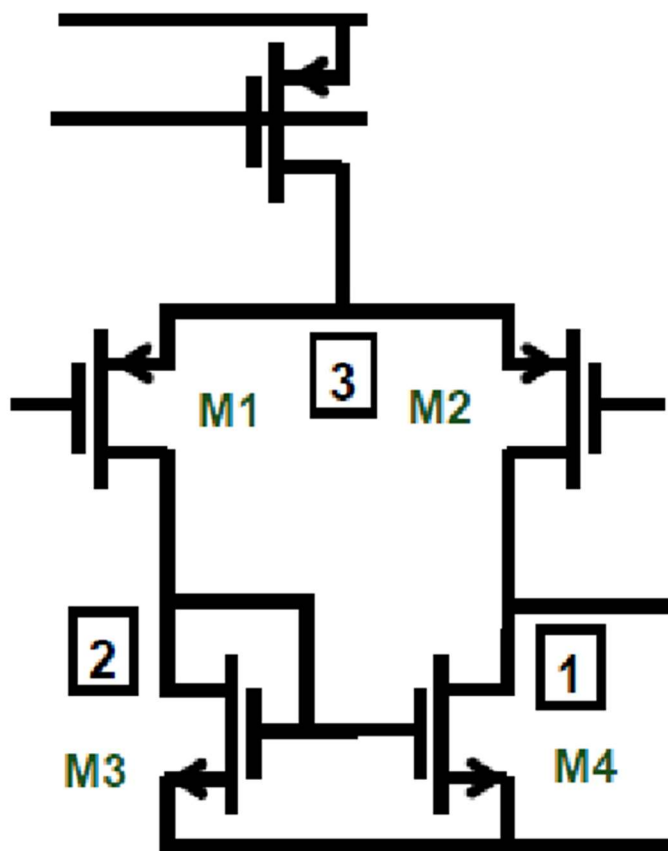


图 1 五管 OTA 示意图

首先，我打算计算一下共模抑制比。由课本 297 页中，随机性失调和 CMRR 的关系，我们发现当失调电压大约 10mV 时，随机性的 CMRR 大约能达到 60dB ($V_E L_B \approx 10mV$)。也就是说，只要是完成了第二问对于随机性失调的指标，随机性失调导致的共模抑制比便能达到第三问的设计指标。

下面我打算计算一下，因为系统性失调产生的 CMRR 大约是多少。

由公式 $CMRR = \frac{1}{2} g_{m1} R_B g_{m3} r_{o1}$ ，此时 R_B 为电流镜的内阻，化简公式得

$$CMRR = \frac{1}{2} \times \frac{\frac{1}{2}I}{(V_{GS} - V_{TH})_1} \times \frac{V_E L_B}{I} \times \frac{\frac{1}{2}I}{(V_{GS} - V_{TH})_3} \times \frac{V_E L_1}{\frac{1}{2}I} = \frac{1}{4} \times \frac{V_E^2 \times L_B \times L_1}{(V_{GS} - V_{TH})_1 \times (V_{GS} - V_{TH})_3}$$

由于在仿真中使用 $V_E = 40V/\mu m$ ，并且分母上的过驱动电压一般不超过 1V，所以在取 $L = 1\mu m$ 的情况下，由于系统性失调导致的共模抑制比很容易便达到了 50dB。

综合上述的分析，我们可以认为共模抑制比是一个比较容易达到的指标。

然后，设计一下系统性失调问题。从题干中，我们知道，在单位增益负反馈下，只要使得输入电压为 0.9V 时，输出电压在 $900 \pm 0.1mV$ 范围内即可。从图片中，我们可以看出五管 OTA 的左右部分并不是完全对称的。两个 NMOS 的连接方式存在着很大的不同， M_3 管的栅极和漏极连在了一起，而 M_4 管的栅极和漏极是分开的。所以，我们要做的就是减小两个 NMOS 管漏极之间的电压差，由于 M_4 管漏极电压为 900mV，所以 M_3 管的漏极电压也应为 900mV。

对于 M_1 管，由于题目中已经给出了共模电压是 900mV，所以我们便由此知道 M_1 管子栅极电压。暂时取 M_1 的过驱动电压为 250mV，由于 NMOS 管的 V_{th} 大约为 450mV，所以取 M_1 源极电压约为 1.6V。

对于电流源部分，由于电源电压为 1.8V，所以电流镜在过驱动电压约为 200mV 的情况下，其栅极电压约为 1.2V。

由此，我们便大致的估计出了所有 MOS 管的偏置电压的大概范围。并且很容易的知道流过各个 MOS 的电流。

然后由公式

$$I_d = \frac{1}{2} \mu_0 C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2$$

其中， $\mu_{0n} = 33m$ 、 $\mu_{0p} = 7.4m$ 、 $C_{oxn} = 8.55m$ 、 $C_{oxp} = 9.17m$ 均为国际单位制。

我们可以解得

$$\frac{W}{L}_{1,2} = 17$$

$$\frac{W}{L}_{3,4} = 1.4$$

$$\frac{W}{L}_s = 1300$$

取 $L = 1\mu m$ ，由于电流镜部分长宽比太大，于是电流镜部分取 $L = 500nm$ ，由此我们便得到了 MOS 管的宽和长，搭建了下图所示的电路。

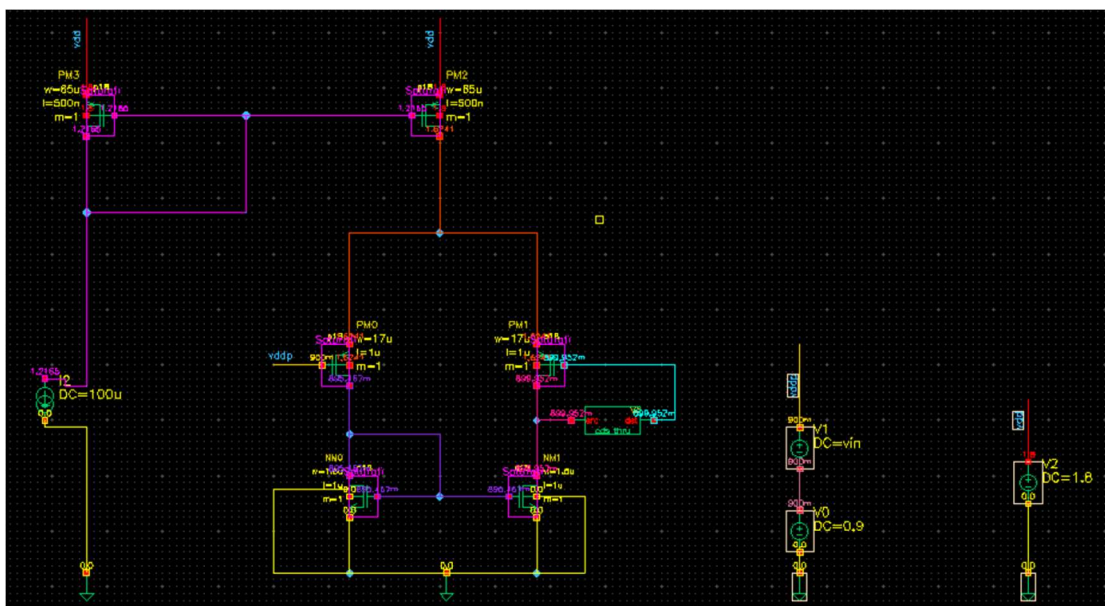


图 2 五管 OTA 电路图

我们可以发现，MOS 管均处于饱和状态，电流镜工作良好。

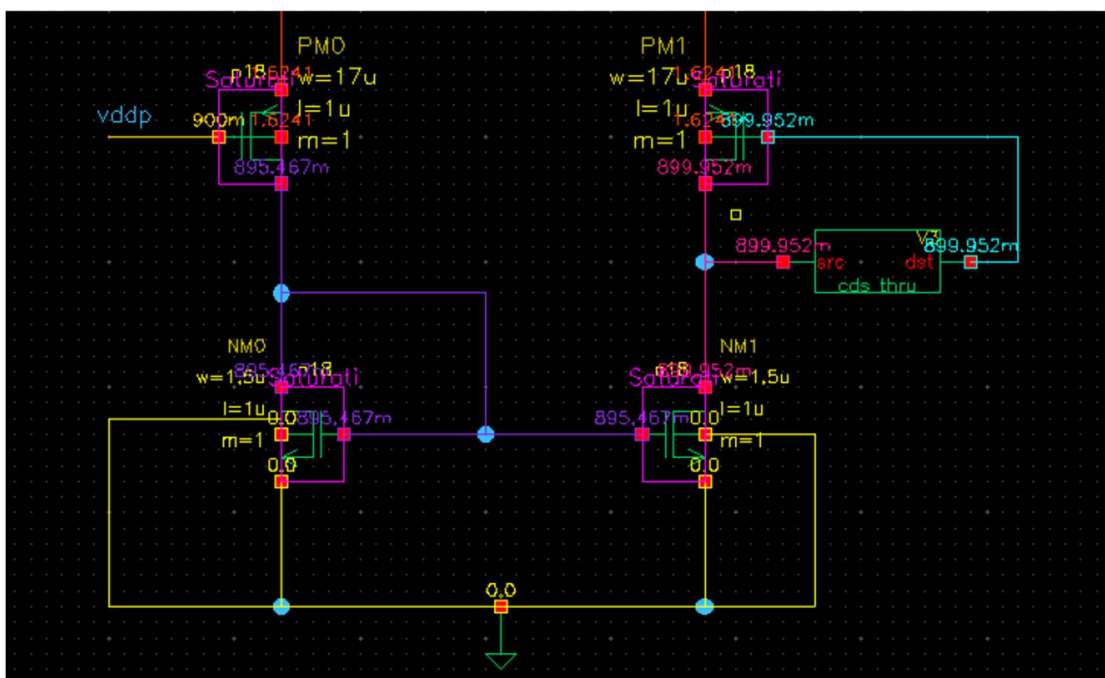


图 3 五管 OTA 的静态工作点

从图 3 中，我们可以清楚的看到 $V_{out} = 899.952mV$ 。达到了设计指标的要求。

处于好奇，我采用蒙特卡洛方法，随机选取了 400 个点。在 $-3mV \sim 3mV$ 范围内直流扫描 V_{in} ，并且观察 V_{out} 的值，得到了下面的曲线。

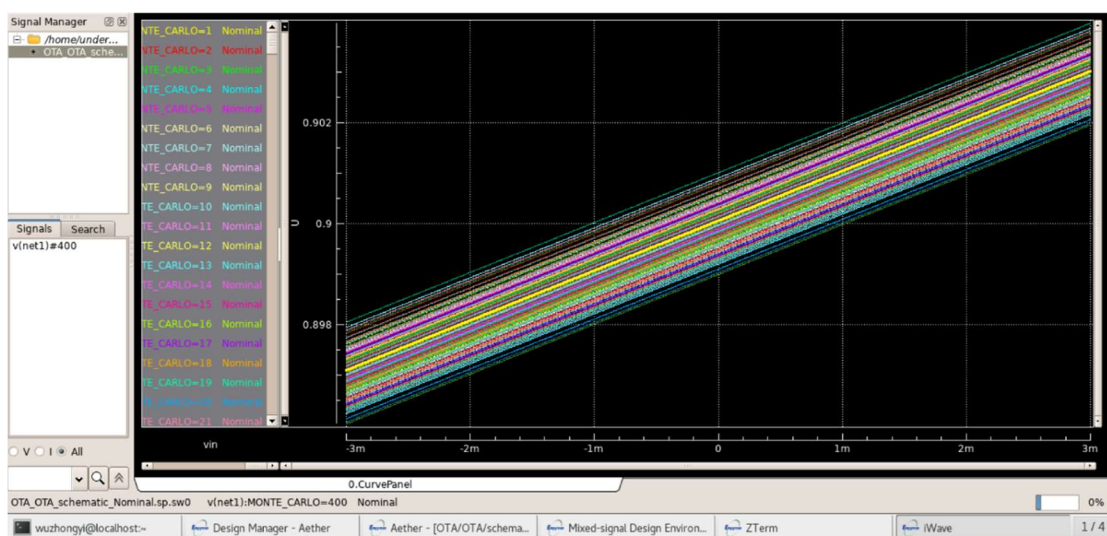


图 4 随机性误差分布图

粗略估计下，我们可以认为这 400 次的实验分布范围在 $\pm 2\sigma$ 范围内。因为 0.9V 时，输入电压的绝对值均未超过 2mV，所以满足随机性误差小于 1mV 的设计指标。

下面我们看一看，在这个宽长比下是否满足 CMRR 的需求。为了求出 CMRR，我搭建了如下图所示的电路。

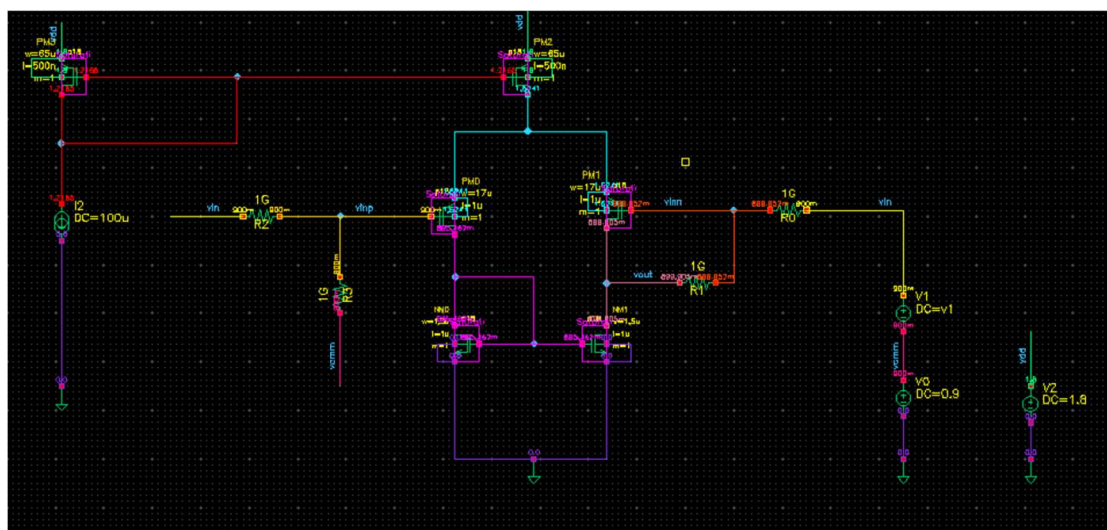


图 5 共模抑制比测量电路

然后使用 AC 对 M_1 进行扫描，输入 CMRR 的表达式，采用蒙特卡洛分析了 100 个点，得到的结果如下。

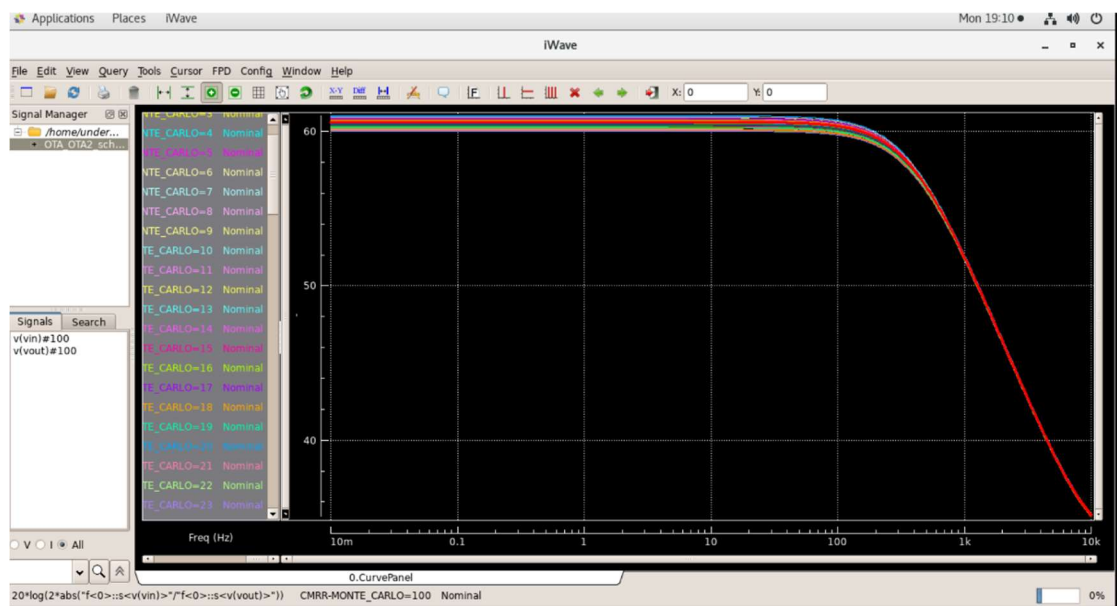


图 6 共模抑制比测量结果

从图中得到，该宽长比下的 CMRR 达到了 60dB，满足设计指标，符合设计的要求。
综上，该五管 OTA 性能可以达到设计指标。