

习 题

6.1 MOS 晶体管输出特性曲线簇描述了晶体管的输入-输出关系，试从输出特性曲线说明，工作于饱和区的 MOS 晶体管可用电压控制电流源等效，而工作于线性区的 MOS 晶体管可以等效为线性电阻。

6.2 比较 NEMOS、NDMOS、PEMOS 与 PDMOS 特性曲线的联系与区别。

6.3 试说明图 6.2.5 所示 MOS 晶体管交流小信号电路模型各参数的物理意义，以及跨导 g_m 、漏源电阻 r_{ds} 的手工计算方法。并在此基础上进一步说明考虑背栅偏置效应后，如图 6.2.6 所示的 MOS 晶体管的高频小信号电路模型的物理意义。

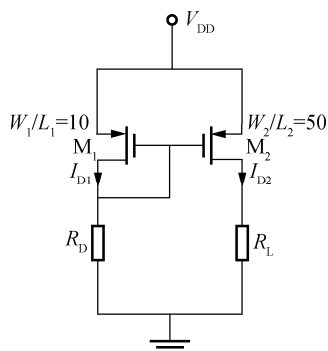
6.4 参考如图 6.2.8 所示 NMOS 晶体管直流仿真电路图，如设 $V_{DS}=1.8V$ ， $V_{GS}=0.75V$ ，基于 $0.18\mu m$ 工艺，NMOS 晶体管栅长 $L=0.18\mu m$ ，栅宽 $W=5\mu m$ ，用 Hspice 仿真 MOS 晶体管输出特性曲线，以及交流小信号电路参数： g_m 、 g_{ds} 、 C_{gs} 与 C_{gd} 。

6.5 仍然参考如图 6.2.8 所示 NMOS 晶体管直流仿真电路图，基于 $0.18\mu m$ 工艺，除栅宽 W 外其他参数同习题 6.4，通过不同栅宽 W 情况下对输出特性曲线的仿真，说明栅宽 W

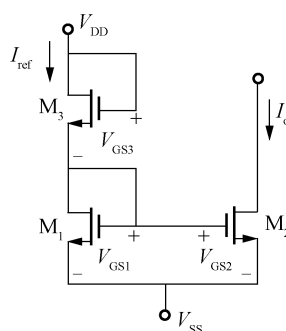
对晶体管特性 (I_D 、 g_m 、 g_{ds} 、 C_{gs} 与 C_{gd}) 的影响, 并作出定性解释。

6.6 如题图 6.6 所示, 已知 $V_{TP}=-0.8V$, $V_{DD}=3.3V$, PMOS (M_1) 的参数 $\mu_p C_{ox}=100\mu A/V^2$, 两个 PMOS 管 (M_1 、 M_2) 均工作在饱和区, 忽略沟道长度调制效应, 且 M_1 的宽长比 $W_1/L_1=10$, M_2 的宽长比 $W_2/L_2=50$ 。设计图示电路, 使得输出电流为 $1mA$ 。

6.7 设计一个满足特定电流值要求的 MOSFET 电流源电路。建议采用题图 6.7 所示的电路, 晶体管的参数为 $\mu_n C_{ox}/2=20\mu A/V^2$, $V_{TN}=1V$, $\lambda=0$ 。令 $V_{DD}=5V$, $V_{SS}=0V$ 。要求电流 $I_{ref}=0.25mA$, $I_o=0.1mA$ 。求晶体管的宽长比 W_i/L_i ($i=1,2,3$)。



题图 6.6

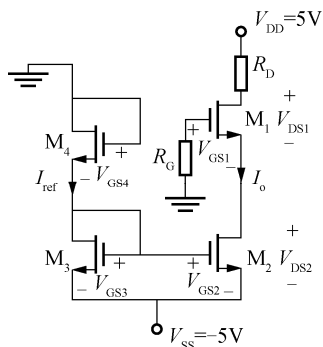


题图 6.7

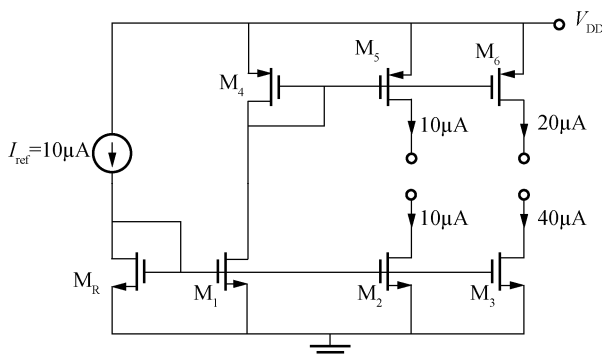
提示: 如果选择非常小的 V_{GS2} , 但仍大于 V_{TN} , 则在 V_{DS2} 的很大范围内, M_2 偏置于饱和区。可令 $V_{GS2}=1.85V$ 。

6.8 电路如题图 6.8 所示, M_2 、 M_3 、 M_4 构成镜像电流源, 为 M_1 提供偏置电流。晶体管参数 $K_{n1}=0.2mA/V^2$, $K_{n2}=K_{n3}=K_{n4}=0.1mA/V^2$, $V_{TN1}=V_{TN2}=V_{TN3}=V_{TN4}=1V$ 。计算恒流源中的支路电流与节点电压。

6.9 设计一个产生 $10\mu A$ 和 $20\mu A$ 的电流源, 以及 $10\mu A$ 和 $40\mu A$ 的电流阱, 电路结构如题图 6.9 所示, 所有电流源和电流阱的小信号电阻需要大于 $10M\Omega$ 。电流源与电流阱的 $V_{DS,SAT}<0.5V$ 。有一个 $10\mu A$ 的基准电流源, 可用于驱动其他器件。器件参数如下: $V_{TN}=1V$, $V_{TP}=-1V$, $\mu_n C_{ox}=50\mu A/V^2$, $\mu_p C_{ox}=25\mu A/V^2$, $\lambda_n=\lambda_p=0.1V^{-1}$, 当 $L=1\mu m$ 。



题图 6.8



题图 6.9

提示：按设计要求，为满足 $V_{DS,SAT} < 0.5V$ ，因为阈值电压 V_T 为 $1V$ ，故需要 $V_{GS,NMOS} = V_{GS,PMOS} \leq 1.5V$ 。

同时由 MOS 管工作于饱和区的电压-电流关系，又可得

$$V_{GS} = V_{TN} + \sqrt{\frac{I_{ref}}{\frac{W}{2L} \mu_p C_{ox}}}$$

6.10 题图 6.10 所示电路为高摆幅电流镜偏置电路，采用 $0.18\mu m$ 工艺 $3.3V$ 器件， $V_{DD}=3.3V$ ， $I_{dc}=10\mu A$ ，晶体管栅长均为 $0.18\mu m$ ，栅宽与栅长之比 (W/L) 已标在图中。基于 Hspice 对该电路进行直流仿真：首先编写该电路的网表，再编写其直流仿真网表，然后进行直流仿真。仿真完成后，查看仿真状态列表文件，得出 V_{b1} 、 V_{b2} 、 V_{b3} 。

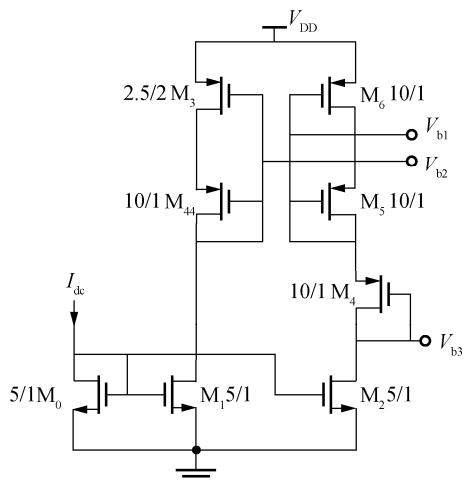
6.11 题图 6.11 所示电路是以 PMOS 电流镜作负载的共源极放大器电路，基于 $0.18\mu m$ 工艺，晶体管 M_1 、 M_2 、 M_3 的宽长比均为 $W/L=1/0.2$ 。 $V_{DD}=1.8V$ ，并设输出负载 $C_L=1pF$ 。

(1) 利用 Hspice 对该电路进行直流仿真，并选择合适的输入直流偏置电压：

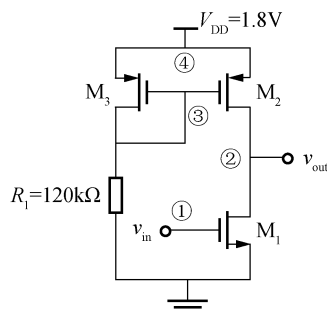
(a) 电压转移特性 $V_{out}-V_{in}$ ；

(b) M_1 直流工作点： V_{DS1} 、 V_{GS1} 、 I_{D1} ；

(c) M_1 小信号等效电路参数跨导 g_{m1} 、漏源电导 g_{ds1} 、栅源电容 C_{gs1} 、栅漏电容 C_{gd1} ，PMOS 电流镜从 M_2 漏极看入的等效电阻。



题图 6.10



题图 6.11

(2) 继续进行瞬态仿真，给出瞬态特性仿真结果（输入、输出电压波形）。

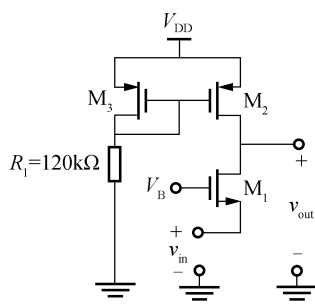
(3) 继续进行交流仿真，给出交流特性仿真结果。

6.12 电路仍然如题图 6.11 所示，在题 6.11 直流仿真结果的基础上，完成以下内容：

(1) 构建该放大器低频小信号电路模型，计算低频小信号增益；

(2) 构建该放大器高频小信号电路模型，计算该电路增益频率特性。

与题 6.11 的结果比较，并作出解释。



题图 6.13

6.13 题图 6.13 所示电路是以 PMOS 镜像电流源作负载的共栅极放大器电路, 基于 $0.18\mu\text{m}$ 工艺, 晶体管 M_1 、 M_2 、 M_3 的宽长比均为 $W/L=1/0.2$ 。 $V_{DD}=1.8\text{V}$, $V_B=0.7\text{V}$, 并设输出负载 $C_L=1\text{pF}$ 。

(1) 利用 Hspice 对该电路进行直流仿真, 并选择合适的输入直流偏置电压:

(a) 电压转移特性 $V_{out}-V_{in}$;

(b) M_1 直流工作点: V_{DS1} 、 V_{GS1} 、 I_{D1} ;

(c) M_1 小信号等效电路参数跨导 g_{m1} 、漏源电导 g_{ds1} 、栅源电容 C_{gs1} 、栅漏电容 C_{gd1} , 从 M_1 漏极往 PMOS 电流镜看入的等效电阻。

(2) 继续进行瞬态仿真, 给出瞬态特性仿真结果 (输入、输出电压波形)。

(3) 继续进行交流仿真, 给出交流特性仿真结果。

6.14 电路仍然如题图 6.13 所示, 在题 6.13 直流仿真结果的基础上, 完成以下内容:

(1) 构建该放大器低频小信号电路模型, 计算低频小信号增益。

(2) 构建该放大器高频小信号电路模型, 计算该电路增益频率特性。

与题 6.13 的结果比较, 并作出分析。

6.15 题图 6.15 所示源极跟随器电路, 以 NMOS 电流阱作负载, 基于 $0.18\mu\text{m}$ 工艺, 晶体管尺寸 $W/L=0.4/0.2$, $V_{DD}=1.8\text{V}$, $V_{SS}=-1.8\text{V}$, $V_b=-1.22\text{V}$, 并设输出负载 $C_L=1\text{pF}$ 。

(1) 利用 Hspice 对该电路进行直流仿真, 并选择合适的输入直流偏置电压:

(a) 电压转移特性 $V_{out}-V_{in}$;

(b) M_1 直流工作点: V_{DS1} 、 V_{GS1} 、 I_{D1} ;

(c) M_1 小信号等效电路参数跨导 g_{m1} 、漏源电导 g_{ds1} 、栅源电容 C_{gs1} 、栅漏电容 C_{gd1} , 从 M_1 源极往 NMOS 看入的等效电阻。

(2) 继续进行瞬态仿真, 给出瞬态特性仿真结果 (输入、输出电压波形)。

(3) 继续进行交流仿真, 给出交流特性仿真结果。

6.16 电路仍然如题图 6.15 所示, 在题 6.15 直流仿真结果的基础上, 完成以下内容:

(1) 构建该放大器低频小信号电路模型, 计算低频小信号增益。

(2) 构建该放大器高频小信号电路模型, 计算该电路增益频率特性。

与题 6.15 的结果比较, 并作出分析。

6.17 题图 6.17 所示共源共栅电路, 基于 $0.18\mu\text{m}$ 工艺, 晶体管尺寸均为 $W/L=0.4/0.2$, $V_{DD}=1.8\text{V}$, 并设输出负载 $C_L=1\text{pF}$ 。

(1) 利用 Hspice 对该电路进行直流仿真, 并选择合适的输入直流偏置电压:

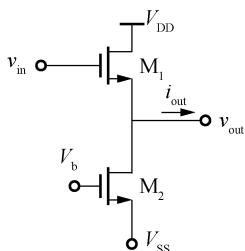
(a) 电压转移特性 $V_{out}-V_{in}$;

(b) 晶体管直流工作点;

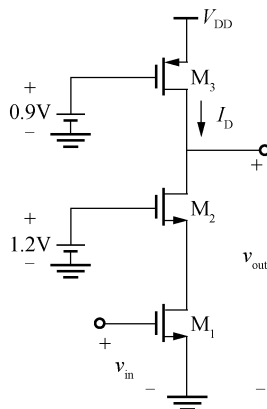
(c) 小信号等效电路参数。

(2) 继续进行瞬态仿真, 给出瞬态特性仿真结果 (输入、输出电压波形)。

(3) 继续进行交流仿真, 给出交流特性仿真结果。



题图 6.15



题图 6.17

6.18 电路仍然如题图 6.17 所示,在题 6.17 直流仿真结果的基础上,完成以下内容:

- (1) 构建该放大器低频小信号电路模型,计算低频小信号增益;
- (2) 构建该放大器高频小信号电路模型,计算该电路增益频率特性。

与题 6.17 的结果比较,并作出分析。

6.19 题图 6.19 所示 PMOS 电流镜作负载的差分放大器,基于 $0.18\mu\text{m}$ 工艺,晶体管尺寸为 $W_1/L_1=W_2/L_2=3/1$, $W_3/L_3=W_4/L_4=14/1$, $W_5/L_5=6/1$, $V_{DD}=1.8\text{V}$, $V_b=0.5\text{V}$,并设输出负载 $C_L=1\text{pF}$ 。

(1) 利用 Hspice 对该电路进行直流仿真,并选择合适的输入共模电压:

- (a) 电压转移特性 $V_{out}-V_{id}$, 其中 $V_{id}=V_{ip}-V_{in}$;
- (b) 晶体管直流工作点;
- (c) 小信号等效电路参数。

(2) 继续进行瞬态仿真,给出瞬态特性仿真结果(输入、输出电压波形)。

(3) 继续进行交流仿真,给出交流特性仿真结果。

6.20 电路仍然如题图 6.19 所示,在题 6.19 直流仿真结果的基础上,完成以下内容:

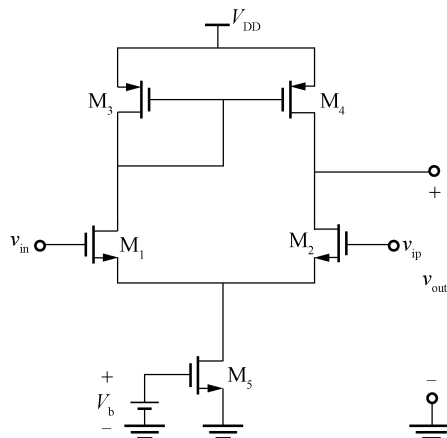
(1) 构建该放大器低频小信号电路模型,计算低频小信号增益。

(2) 构建该放大器高频小信号电路模型,计算该电路增益频率特性。

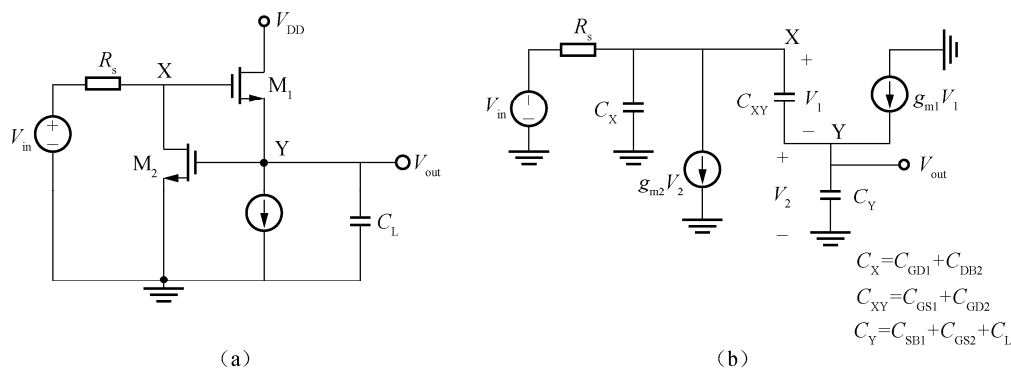
与题 6.19 的结果比较,并作出分析。

6.21 说明题图 6.21 (a) 所示电路的反馈类型,并求该电路的传递函数 V_{out}/V_{in} 。

提示:题图 6.21 (a) 可用图 (b) 电路等效(忽略 r_{ds1} 与 r_{ds2})。围绕节点 Y、X 列写 KCL 方程,联立求解该方程即可得系统函数。



题图 6.19

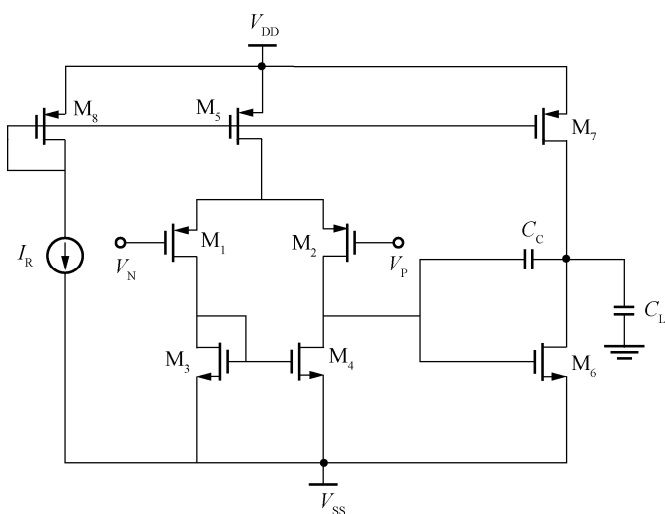


题图 6.21

6.22 题图 6.22 所示二级运放，差分放大级以 NMOS 电流镜作负载，采用双电源供电：

(1) 简要说明该电路反馈网络的作用。

(2) 针对题图 6.22 所示电路，列出该电路的设计方程。



题图 6.22

6.23 选择题图 6.22 所示电路拓扑结构，以及在题 6.22 中所列出的设计方程，采用 $0.8\mu\text{m}$ CMOS 工艺，设计一个简易二级运放并进行仿真验证。

提示： $0.8\mu\text{m}$ CMOS 工艺，典型工艺参数参考 6.10.3 节。

设计指标：增益 $A_v > 5000$ ；增益带宽积 $\text{GBW} = 5\text{MHz}$ ；负载电容 $C_L = 10\text{pF}$ ；转换速率 $\text{SR} > 10\text{V}/\mu\text{s}$ ；共模输入范围 ICMR ：1 到 -2V ；输出电压摆幅 $V_{\text{out}} = \pm 2\text{V}$ ；电源电压 $V_{\text{DD}} = 2.5\text{V}$ ， $V_{\text{SS}} = -2.5\text{V}$ ；功耗 $P_{\text{diss}} \leq 2\text{mW}$ 。假定沟道长度为 $1\mu\text{m}$ 。