

第三章作业: 3.3、3.12、3.14、3.21(a)(b)、3.29

$L = 0.5\mu\text{m}$ 时的一级 SPICE 模型

NMOS 模型			
LEVEL=1	VTO=0.7	GAMMA=0.45	PHI=0.9
PSUB=9e+14	LD=0.08e-6	UO=350	LAMBDA=0.1
TOX=9e-9	PB=0.9	CJ=0.56e-3	CJSW=0.35e-11
MJ=0.45	MJSW=0.2	CGDO=0.4e-9	JS=1.0e-8
PMOS 模型			
LEVEL=1	VTO=-0.8	GAMMA=0.4	PHI=0.8
NSUB=5e+14	LD=0.09e-6	UO=100	LAMBDA=0.2
TOX=9e-9	PB=0.9	CJ=0.94e-3	CJSW=0.32e-11
MJ=0.5	MJSW=0.3	CGDO=0.3e-9	JS=0.5e-8

VTO:	$V_{\text{SB}}=0$ 时的阈值电压	(单位: V)
GAMMA:	体效应系数	(单位: $\text{V}^{1/2}$)
PHI:	$2\Phi_{\text{F}}$	(单位: V)
TOX:	栅氧厚度	(单位: m)
NSUB:	衬底掺杂浓度	(单位: cm^{-3})
LD:	源/漏侧扩散长度	(单位: m)
UO:	沟道迁移率	(单位: $\text{cm}^2/\text{V/s}$)
LAMBDA:	沟道长度调制系数	(单位: V^{-1})
CJ:	单位面积的源/漏结电容	(单位: F/m^2)
CJSW:	单位长度的源/漏侧壁结电容	(单位: F/m)
PB:	源/漏结内建电势	(单位: V)
MJ:	CJ 公式中的幂指数	(无单位)
MJSW:	CJSW 等式中的幂指数	(无单位)
CGDO:	单位宽度的栅-漏覆盖电容	(单位: F/m)
CGSO:	单位宽度的栅-源覆盖电容	(单位: F/m)
JS:	源/漏结单位面积的漏电流	(单位: A/m^2)

$$t_{\text{ox}} \approx 20\text{\AA} \longleftrightarrow C_{\text{ox}} = 17.25\text{fF}/\mu\text{m}^2$$

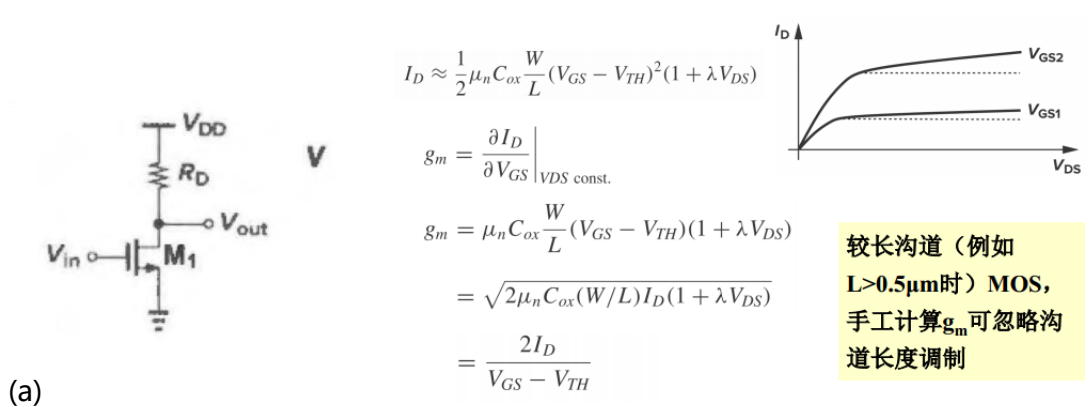
$$t_{\text{ox}} \approx 90\text{\AA} \longleftrightarrow C_{\text{ox}} = 3.83\text{fF}/\mu\text{m}^2$$

$$\mu_n C_{\text{ox}} \approx 0.134\text{mA}/\text{V}^2$$

$$\mu_p C_{\text{ox}} \approx 0.0383\text{mA}/\text{V}^2$$

3.3 在图 3.4(a)所示电路中,假定 $(W/L)_1 = 50/0.5$, $R_D = 2\text{k}\Omega$, $\lambda = 0$ 。

- 如果 M_1 工作在饱和区,而且 $I_{\text{D1}} = 1\text{mA}$,求电路的小信号增益。
- 使 M_1 工作在线性区的边缘的输入电压为多少? 此时的小信号电压增益是多少?
- 使 M_1 进入线性区 50mV 的输入电压为多少? 此时的小信号电压增益是多少?



$$G_m = g_m = \sqrt{2 \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_1 I_{D1}} \approx 5.18 \text{ mS}$$

$$R_{out} = R_D$$

$$A_V = -G_m R_{out} \approx -10.35$$

(b) 线性区边缘: $V_{in} - V_{out} = V_{TH}$

$$\begin{cases} V_{out} = V_{DD} - I_D R_D \\ I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_1 (V_{in} - V_{TH})^2 \Rightarrow V_{in} = 1.137 \text{ V} \end{cases}$$

$$g_m = \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_1 (V_{in} - V_{TH}) \approx 5.86 \text{ mS}$$

$$A_V = -g_m R_D \approx -11.72$$

(c) 由 (b) 线性区边缘时: $V_{out} = 0.437 \text{ V}$

$$\text{此时 } V'_{out} = V_{out} - 50 \text{ mV} = 0.387 \text{ V}$$

$$I_D = \frac{V_{DD} - V'_{out}}{R_D} \approx 1.306 \text{ mA}$$

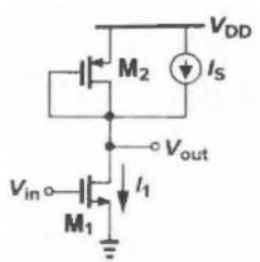
$$I_D = \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_1 \left[(V'_{in} - V_{TH}) V'_{out} - \frac{V'^2_{out}}{2} \right] \Rightarrow V'_{in} = 1.145 \text{ V}$$

$$g_m = \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_1 V'_{out} \approx 5.186 \text{ mS}$$

$$R_{on} = \frac{1}{\frac{\partial I_D}{\partial V'_{out}}} = \frac{1}{\mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_1 (V'_{in} - V_{TH} - V'_{out})} \approx 1.287 \text{ k}\Omega$$

$$A_V = -G_m R_{out} = -g_m (R_D // R_{on}) \approx -4.06$$

3.12 在图 3.17 所示电路中, $(W/L)_1 = 20/0.5$, $I_1 = 1 \text{ mA}$, $I_s = 0.75 \text{ mA}$ 。假定 $\lambda = 0$, 计算使 M_1 工作在线性区边缘的 $(W/L)_2$ 。并求出此时的小信号增益。



M_1 工作在线性区边缘: $V_{in} - V_{out} = V_{THN}$

$$I_1 = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_1 (V_{in} - V_{THN})^2 \Rightarrow V_{in} \approx 1.311V$$

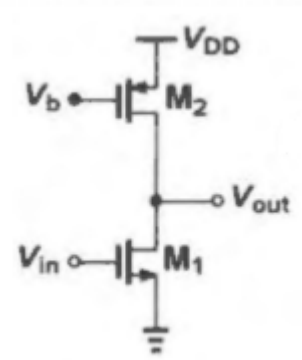
对于 M_2 : $I_2 = \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_2 (V_{DD} - V_{out} - V_{THP})^2 \Rightarrow \left(\frac{W}{L} \right)_2 \approx 5.17$

$$G_m = g_{m1}$$

$$R_{out} = \frac{1}{g_{m2}}$$

$$A_V = -\frac{g_{m1}}{g_{m2}} = -\frac{2\mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_1 I_{D1}}{\sqrt{2\mu_p C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_2 I_{D2}}} \approx -10.41$$

3.14 在图 3.18 所示电路中,偏置电流为 1 mA,小信号电压增益为 100,为使电路的输出电压摆幅为 2.2 V,计算所需的 M_1 和 M_2 的尺寸。



$$r_{o1} = \frac{1}{\lambda_n I_1} = 10k\Omega$$

$$r_{o2} = \frac{1}{\lambda_p I_2} = 5k\Omega$$

$$G_m = \frac{A_V}{R_{out}} = \frac{A_V}{r_{o1} // r_{o2}} = 30mS = g_{m1} \Rightarrow \left(\frac{W}{L} \right)_1 = \frac{g_{m1}^2}{2\mu_n C_{ox} I_{D1}} \approx 3.358k$$

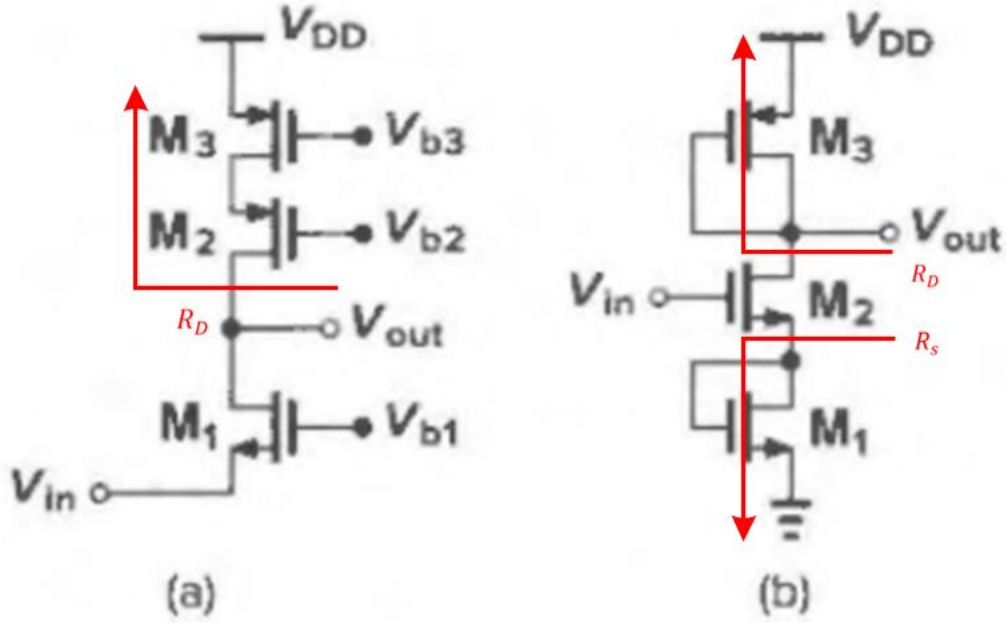
$$V_{in} - V_{THN} < V_{out} < V_b + V_{THP}$$

输出电压摆幅为 $2.2V = V_{DD} - V_{dsat1} - V_{dsat2}$

$$V_{dsat1} = \frac{2I_D}{g_{m1}} \approx 0.0667V \Rightarrow V_{dsat2} \approx 0.733V$$

$$\left(\frac{W}{L} \right)_2 = \frac{2I_2}{\mu_p C_{ox} V_{dsat2}^2} \approx 97.10$$

- 3.21 假定图 3.84 所示各电路中的 MOS 管都工作在饱和区, 计算每个电路的小信号电压增益 ($\lambda \neq 0, \gamma = 0$)。



(a)

$$G_m = -\left(\frac{1}{r_{o1}} + g_{m1}\right)$$

$$R_D = (1 + g_{m2}r_{o2})r_{o3} + r_{o2}$$

$$R_{out} = R_D // r_{o1}$$

$$A_V = -G_m R_{out} = \frac{(1 + g_{m1}r_{o1})R_D}{r_{o1} + R_D}$$

(b)

$$R_D = \frac{1}{g_{m3}} // r_{o3}$$

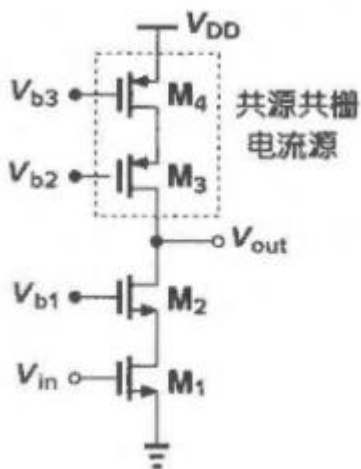
$$R_S = \frac{1}{g_{m1}} // r_{o1}$$

$$G_m = \frac{1}{\frac{1}{g_{m2}} + r_{o2} // R_S} \cdot \frac{r_{o2}}{R_S + r_{o2}} = \frac{g_{m2}r_{o2}}{g_{m2}r_{o2}R_S + r_{o2} + R_S}$$

$$R_{out} = R_D // [(1 + g_{m2}r_{o2})R_S + r_{o2}]$$

$$A_V = -G_m R_{out} = -\frac{g_{m2}r_{o2}R_D}{R_D + R_S + r_{o2} + g_{m2}r_{o2}R_S}$$

- 3.29 在图 3.70 所示共源共栅结构中, 偏置电流为 0.5 mA, 输出电压摆幅为 1.9 V。如果 $(W/L)_{1-4} = W/L$ 且 $\gamma=0$, 计算 V_{b1} , V_{b2} 与 W/L 。如果 $L=0.5\mu\text{m}$, 求此时的电压增益。



输出摆幅为 $1.9V = V_{DD} - \sum_{i=1}^4 V_{dsati} = V_{DD} - \sum_{i=1}^4 \sqrt{\frac{2I_i}{\mu C_{ox} \frac{W}{L}}} \Rightarrow \frac{W}{L} \approx 203.27$

$$V_{dsatn} = \sqrt{\frac{2I_n}{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L}}} \approx 0.192V$$

$$V_{dsatp} = \sqrt{\frac{2I_p}{\mu_p C_{ox} \frac{W}{L}}} \approx 0.358V$$

$$\Rightarrow V_{b1} = 2V_{dsatn} + V_{THN} \approx 1.084V$$

$$\Rightarrow V_{b2} = V_{DD} - 2V_{dsatn} - V_{THP} \approx 1.484V$$

$L = 0.5\mu\text{m}$:

$$r_{o1} = r_{o2} = 20k\Omega$$

$$r_{o3} = r_{o4} = 10k\Omega$$

$$G_m = \frac{g_{m1}r_{o1}(1 + g_{m2}r_{o2})}{r_{o1} + r_{o2} + g_{m2}r_{o1}r_{o2}} \approx 5.17\text{mS}$$

$$R_{out} = [(1 + g_{m2}r_{o2})r_{o1} + r_{o2}] / [(1 + g_{m3}r_{o3})r_{o4} + r_{o3}] \approx 262.18k\Omega$$

$$A_V = -G_m R_{out} \approx -1355.47$$

可以近似:

$$G_m \approx g_{m1}$$

$$R_{out} \approx g_{m2}r_{o2}r_{o1} // g_{m3}r_{o3}r_{o4}$$