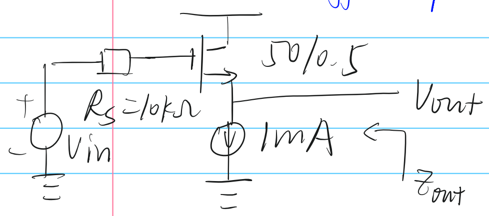
第六章作业：6.5，6.6(a)(c) 6.7，6.10

$C_{ox} = \dfrac{17.25 fF/\mu m^2 \times 20 Å}{9\times10^{-9} m} \approx 3.83 fF/\mu m^2$

$\mu_n C_{ox} = 134.05 \mu A/V^2 \quad \mu_p C_{ox} = 38.3 \mu A/V^2$

6.5 一个源跟随器的 NMOS 的 $W/L=50/0.5$，其偏置电流为 1 mA。该电路被一个 10 kΩ 的源阻抗驱动，计算在输出端"看到"的等效电感。

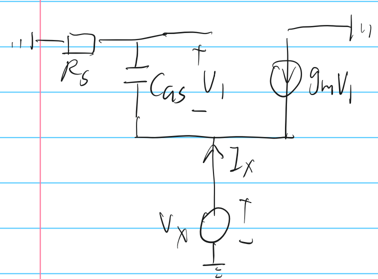
(认为 $L = L_{eff} = 0.5\mu m$ 计算)



$g_m = \sqrt{2\mu_n C_{ox}\frac{W}{L} I_D} = \sqrt{2\times 134.05\mu A/V^2 \times \frac{50}{0.5} \times 1mA} \approx 5.178mS$

$Z_{out} = \dfrac{V_X}{I_X} = \dfrac{R_S C_{GS} s + 1}{g_m + C_{GS} s}$

↓小信号模型，输入置零算 Z_{out}



$\because R_S > \dfrac{1}{g_m}$
$\sim 193\Omega$

$\therefore \omega = 0$ 时，$Z_{out} = \dfrac{1}{g_m}$

$\omega = \infty$ 时，$Z_{out} = R_S$

由书上 P174 (6.67) 式

$L_{eq} = \dfrac{C_{GS}}{g_m}\left(R_S - \dfrac{1}{g_m}\right)$

表2.1中：
$C_{OV} = C_{GDO} = C_{GSO} = 0.4nF/m$

$C_{GS} = \dfrac{2}{3} W L C_{ox} + W C_{OV}$

$= \dfrac{2}{3} \times 50\mu m \times 0.5\mu m \times 3.83 fF/\mu m^2 +$

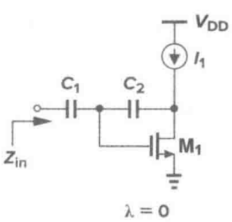
$0.4\times10^{-9} F/m \times 50\mu m$

$\approx 83.83 fF$

$L_{eq} = \dfrac{83.83 fF}{5.178mS}\left(10k\Omega - \dfrac{1}{5.178mS}\right)$

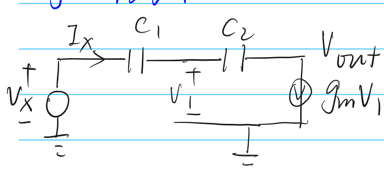
$\approx 158.77nH$

6.6 如果忽略其它电容，计算图 6.58 所示的每一个电路的输入阻抗。

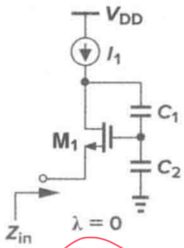


(a)

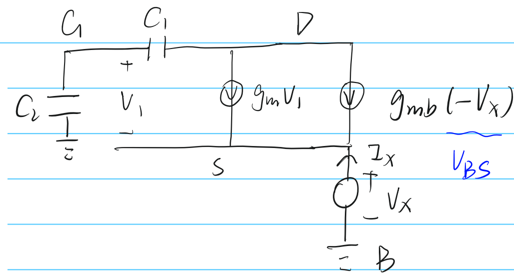
列小信号模型



$$\begin{cases} I_X = g_m V_1 \\ \dfrac{V_X - V_1}{I_X} = \dfrac{1}{sC_1} \end{cases} \Rightarrow Z_{in} = \dfrac{V_X}{I_X} = \dfrac{g_m + sC_1}{g_m s C_1}$$



(c)

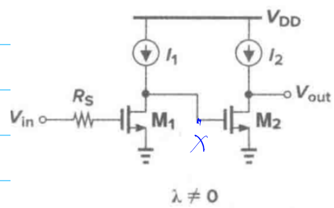


$$\begin{cases} I_x = g_{mb} V_x - g_m V_1 \\ \dfrac{V_1 + V_x}{\frac{1}{sC_2}} = I_x \end{cases} \Rightarrow V_1 = \frac{\frac{g_{mb}}{sC_2} - 1}{\frac{g_{mb}}{sC_2} + 1} V_x = \frac{g_{mb} - sC_2}{g_m + sC_2} V_x$$

$$\Rightarrow Z_{in} = \frac{V_x}{I_x} = \frac{g_m + sC_2}{(g_m + g_{mb})sC_2}$$

6.7 估算图6.59中每个电路的极点。

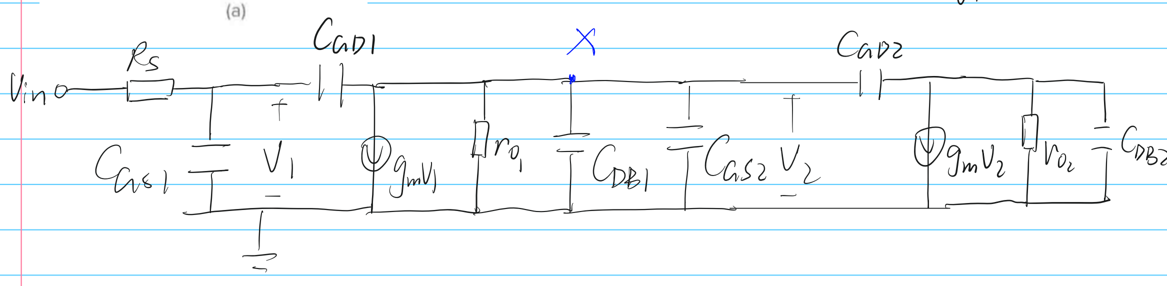
(a)



$\lambda \neq 0$

(a)

$$\begin{cases} \dfrac{V_{out}}{V_X} = -g_{m2} r_{o2} \\ \dfrac{V_X}{V_{in}} = -g_{m1} r_{o1} \end{cases}$$



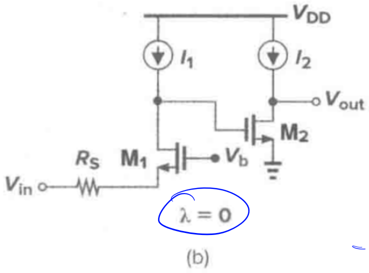
输入信号到输出信号通路上有3个极点（每个节点贡献一个极点）

$$\omega_{p,out} = \frac{1}{r_{o2}\left\{C_{DB2} + \left[1 + \left(\frac{V_{out}}{V_X}\right)^{-1}\right] C_{GD2}\right\}} = \frac{1}{r_{o2}\left[C_{DB2} + \underbrace{\left(1 + \frac{1}{g_{m2} r_{o2}}\right)}_{\approx 1} C_{GD2}\right]}$$

$$\omega_{p,in} = \frac{1}{R_S\left[(1 + g_{m1} r_{o1}) C_{GD1} + C_{GS1}\right]}$$

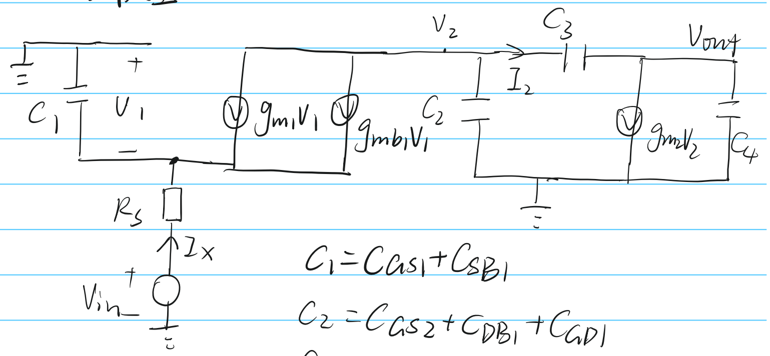
$$\omega_{p,X} = \frac{1}{r_{o1}\left[C_{DB1} + C_{GS2} + \underbrace{\left(1 + \frac{1}{g_{m1} r_{o1}}\right)}_{\approx 1} C_{GD1} + (1 + g_{m2} r_{o2}) C_{GD2}\right]}$$

(b)



(b)

小信号模型



$C_1 = C_{GS1} + C_{SB1}$

$C_2 = C_{GS2} + C_{DB1} + C_{GD1}$

$C_3 = C_{GD2}$

$C_4 = C_{DB2}$

列方程：

Vout节点：$sC_3(V_2 - V_{out}) = g_{m2}V_2 + sC_4V_{out}$

$$\Rightarrow \frac{V_{out}}{V_2} = \frac{sC_3 - g_{m2}}{s(C_3+C_4)}$$

代入

V2节点：$(g_{m1}+g_{mb1})V_1 + sC_2V_2 + sC_3(V_2 - V_{out}) = 0$

$$(g_{m1}+g_{mb1})V_1 = -V_2\left(sC_2 + \frac{s^2C_3C_4 + sC_2g_{m2}}{s(C_3+C_4)}\right)$$

$$\Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = -\frac{(g_{m1}+g_{mb1})(C_3+C_4)}{g_{m2}C_3 + s(C_3C_4 + C_2C_3 + C_2C_4)}$$

V1节点：$\frac{V_{in}+V_1}{R_s} + sC_1V_1 + (g_{m1}+g_{mb1})V_1 = 0$

$$\Rightarrow \frac{V_1}{V_{in}} = -\frac{1}{sC_1R_s + [1+(g_{m1}+g_{mb1})R_s]}$$

3个极点：$\omega_{p0} = 0$

$$\omega_{p1} = -\frac{g_{m2}C_3}{C_3C_4 + C_2C_3 + C_2C_4}$$

$$\omega_{p2} = -\frac{1+(g_{m1}+g_{mb1})R_s}{R_sC_1}$$

此题情况和P167例6.7很像，不能直接使用密勒效应求极点。

由于λ=0，可以认为Vout输出电阻∞，则输出极点 $\frac{1}{R_{out}C_{out}} \to 0$，为原点，

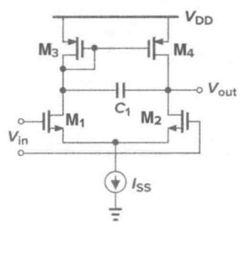
直流增益∞，即使在低频，从V2点到Vout的电压增益也开始下降，

可以认为低频增益没有一个定值，且降到ω_{p1}时，有效增益已经很小。

别节点上电阻、电容不能直接看出，列小信号解比较方便。

6.10 计算图 6.62 中每一个电路在非常低和非常高的频率下的增益。忽略所有其它电容并假定的 $\lambda=\gamma=0$。

(a)

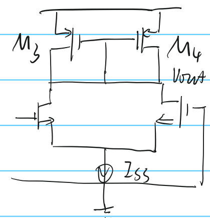


(a)

低频时，C_1 断路

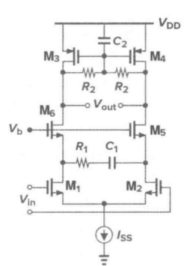
$$\frac{V_{out}}{V_{in}}=-g_{m1}(r_{o2}\,//\,r_{o4}) \xRightarrow{\lambda=0} A_V=\infty$$

高频时，C_1 短路，$A_V=0$



(可以想成 M_3, M_4 并联，流过 M_3, M_4 总电流为 I_{ss}，则不管输入如何变化，V_{out} 都被 I_{ss} 确定了)

(b)



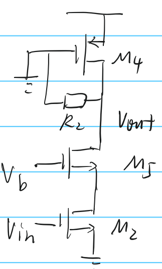
(b)

6.62

低频时，C_1, C_2 断路

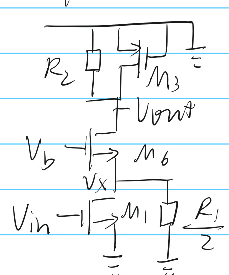
半边电路法 $\lambda=0$，$Z_{out}=R_2$

$A_V=-g_{m1}R_2$



高频时，C_1, C_2 短路

半边电路法



$$\frac{V_X}{V_{in}}=-g_{m1}\left(\frac{1}{g_{m6}}\,//\,\frac{R_1}{2}\right)$$

$$\frac{V_{out}}{V_X}=g_{m6}R_2$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}}=-\frac{g_{m1}g_{m6}R_1R_2}{2+g_{m6}R_1}$$