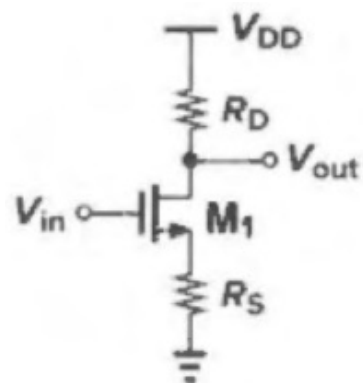
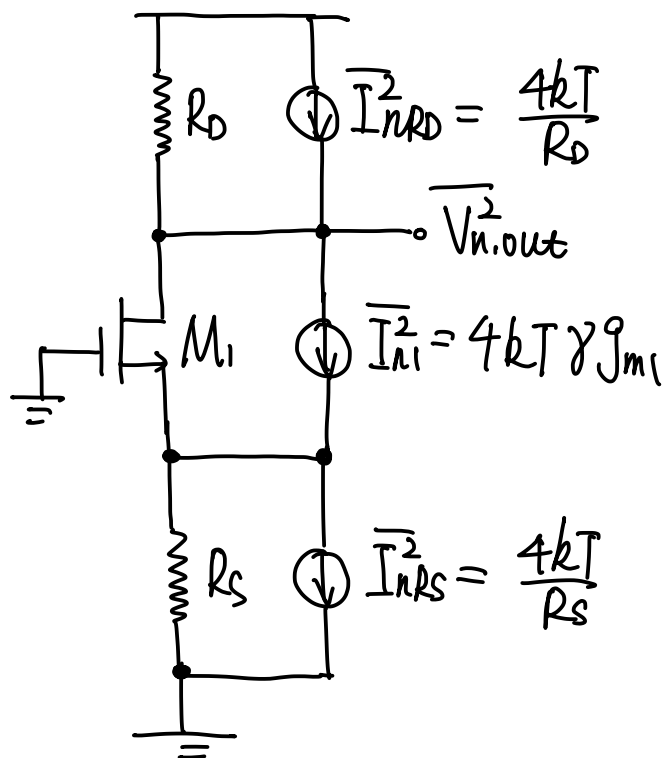


7.6 求图 7.71 中每一个电路的输入参考热噪声电压。假定 $\lambda = \gamma = 0$ 。

(a) 方法一:

与课本 P29 辅助定理方法类似
令输入短路:



(a)

求输出噪声电流 $\overline{I_{n,out}^2}$:

M_1 贡献: 由 R_S 和 M_1 分流, 贡献 $\left(I_{n1} \cdot \frac{\frac{1}{g_{m1}}}{\frac{1}{g_{m1}} + R_S} \right)^2$

R_D 贡献: $\overline{I_{n,RD}^2}$

R_S 贡献: 由 R_S 和 M_1 分流, 贡献 $\left(I_{n,RS} \cdot \frac{R_S}{\frac{1}{g_{m1}} + R_S} \right)^2$

$$\overline{I_{n,out}^2} = \frac{4kT}{R_D} + 4kT\gamma g_{m1} \left(\frac{\frac{1}{g_{m1}}}{\frac{1}{g_{m1}} + R_S} \right)^2 + \frac{4kT}{R_S} \cdot \left(\frac{R_S}{\frac{1}{g_{m1}} + R_S} \right)^2$$

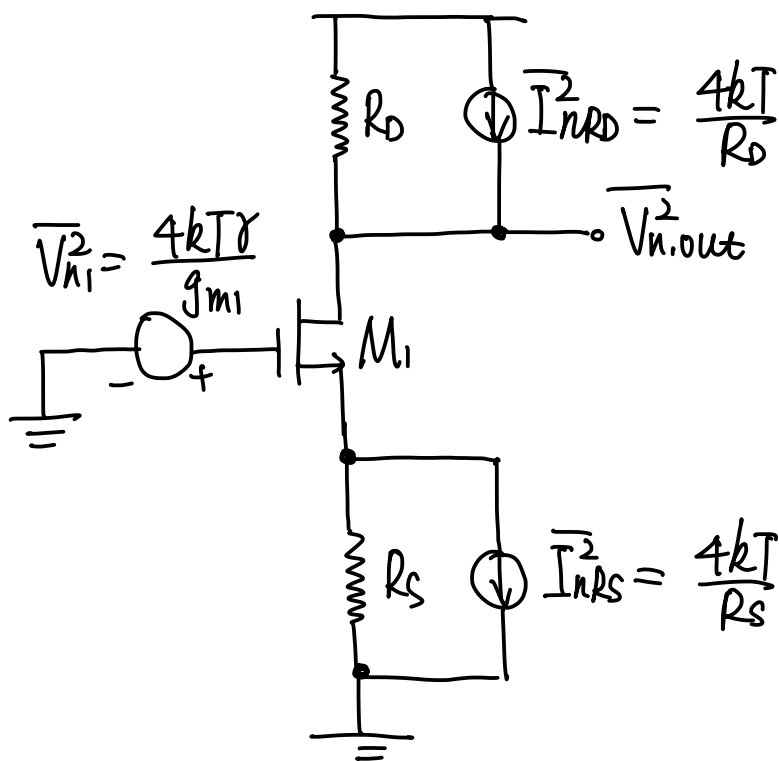
$$\overline{V_{n,out}^2} = \overline{I_{n,out}^2} \cdot R_o^2$$

$$|A_v| = \frac{g_{m1} R_o}{1 + g_{m1} R_s}$$

$$\overline{V_{n,in}^2} = \frac{\overline{V_{n,out}^2}}{|A_v|^2} = 4kTR_o \left(\frac{1 + g_{m1} R_s}{g_{m1} R_o} \right)^2 + \frac{4kT\gamma}{g_{m1}} + 4kTR_s$$

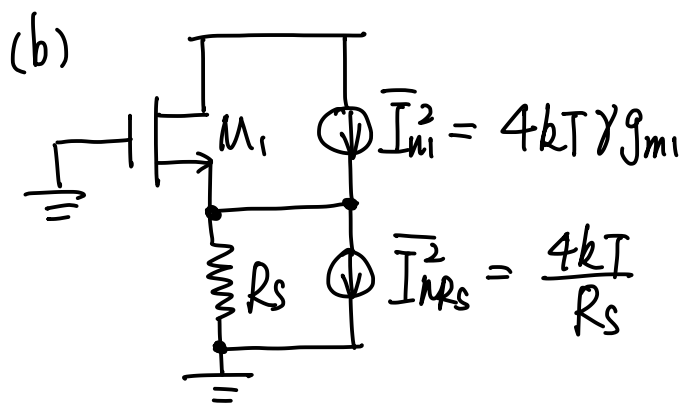
方法二：

直接利用课本 P219 辅助定理：



$$\overline{V_{n,out}^2} = \left[\frac{4kT}{R_o} + \frac{4kT}{R_s} \cdot \left(\frac{R_s}{\frac{1}{g_{m1}} + R_s} \right)^2 \right] R_o^2 + \frac{4kT\gamma}{g_{m1}} |A_v|^2$$

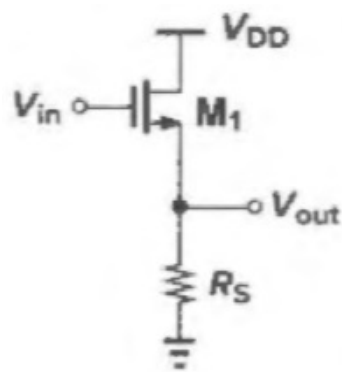
$$\overline{V_{n,in}^2} = \frac{\overline{V_{n,out}^2}}{|A_v|^2} = \dots$$



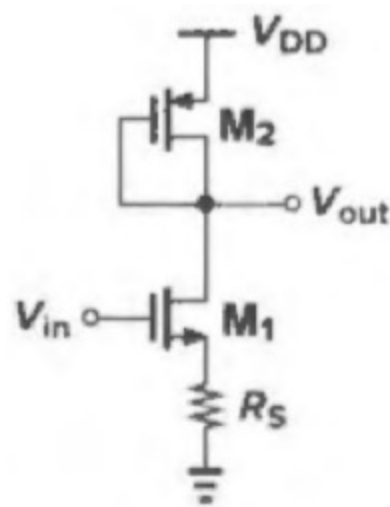
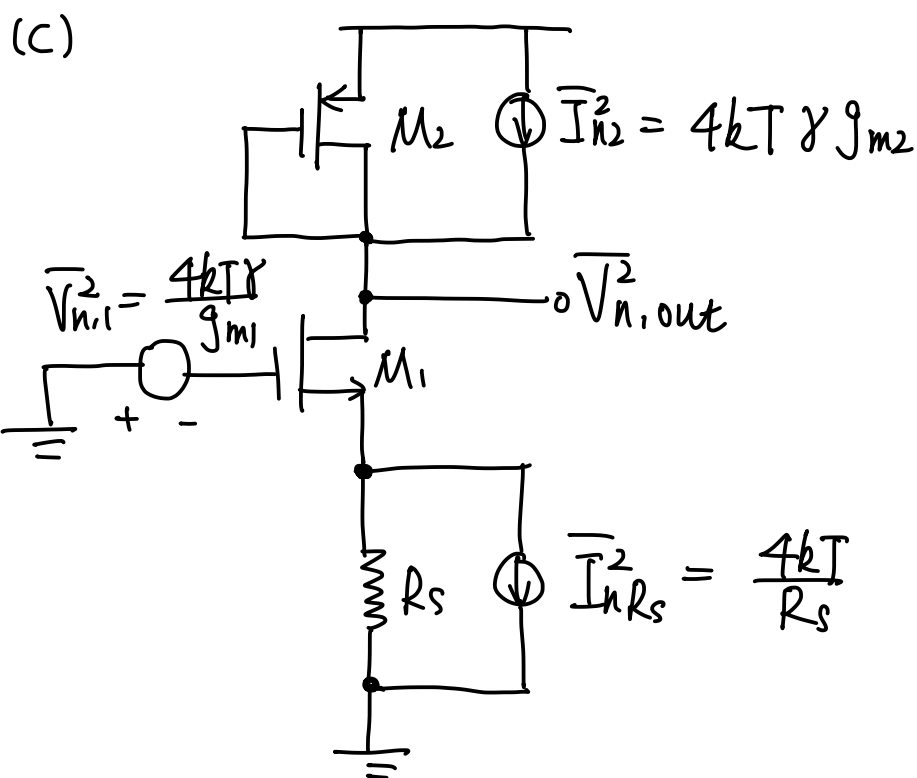
$$\bar{V}_{n,out}^2 = (\bar{I}_{n1}^2 + \bar{I}_{nRs}^2) (R_s \parallel \frac{1}{g_{m1}})^2$$

$$A_v = \frac{g_{m1} R_s}{1 + g_{m1} R_s} \quad (\text{课本 P64 (3.86) 式})$$

$$\bar{V}_{n,in}^2 = \frac{\bar{V}_{n,out}^2}{|A_v|^2} = \frac{4kT\gamma}{g_{m1}} + \frac{4kT}{g_{m1}^2 R_s}$$



(b)

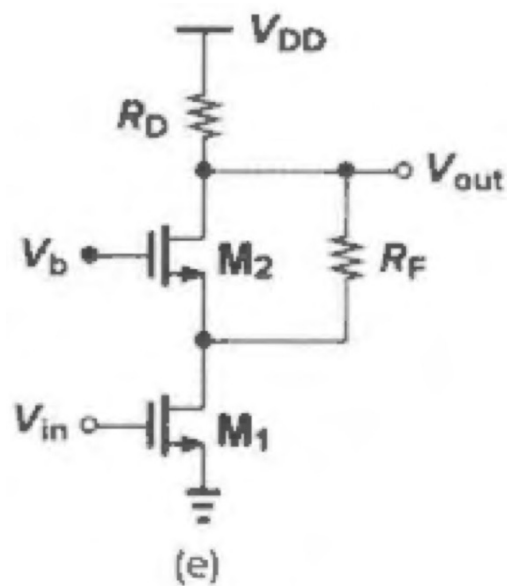
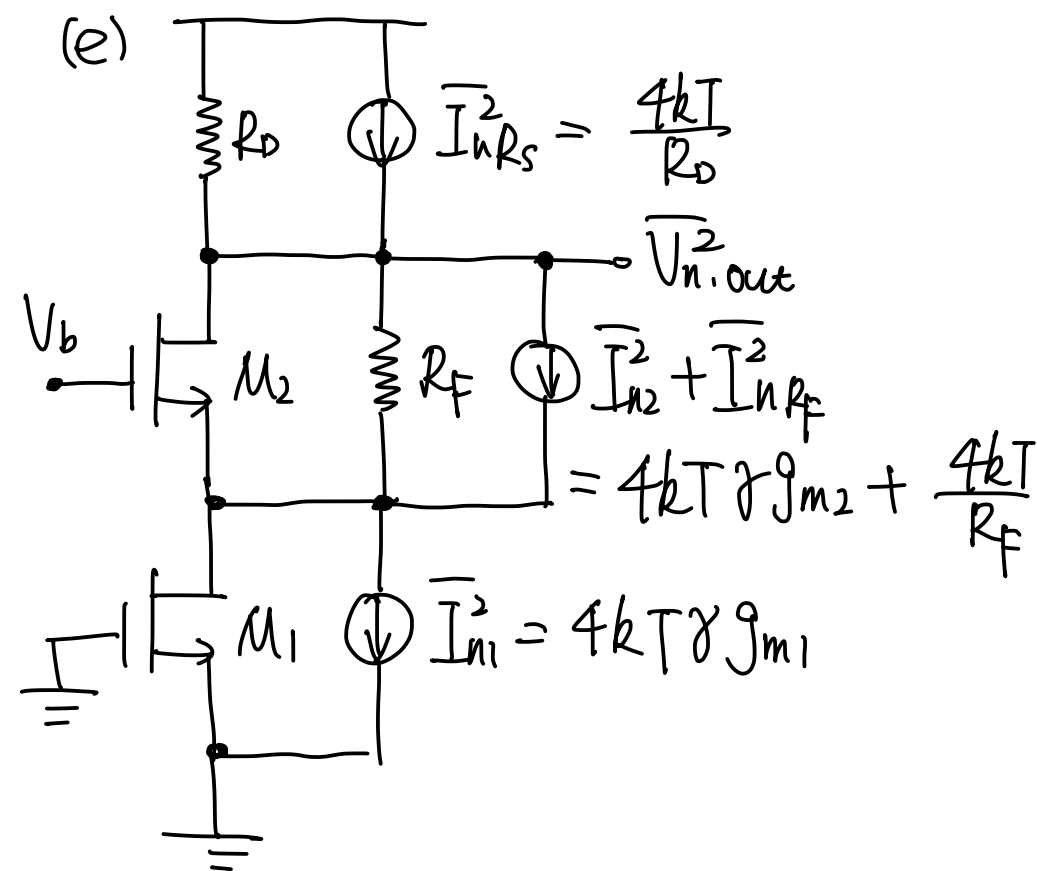


(d)

$$\bar{V}_{n,out}^2 = \left(4kT\gamma g_{m2} + \frac{4kT}{R_s} \cdot \left(\frac{R_s}{\frac{1}{g_{m1}} + R_s} \right)^2 \right) \left(\frac{1}{g_{m2}} \right)^2 + \frac{4kT}{g_{m1}} |A_v|^2$$

$$|A_v| = \frac{g_{m1} \frac{1}{g_{m2}}}{1 + g_{m1} R_s}$$

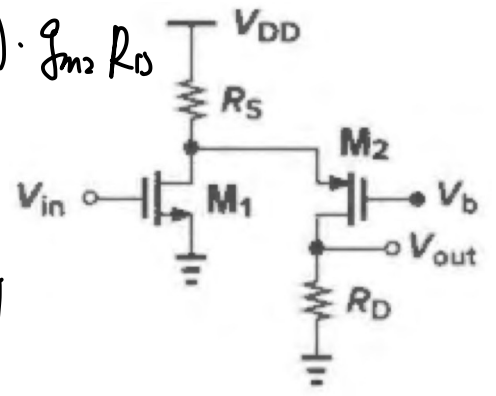
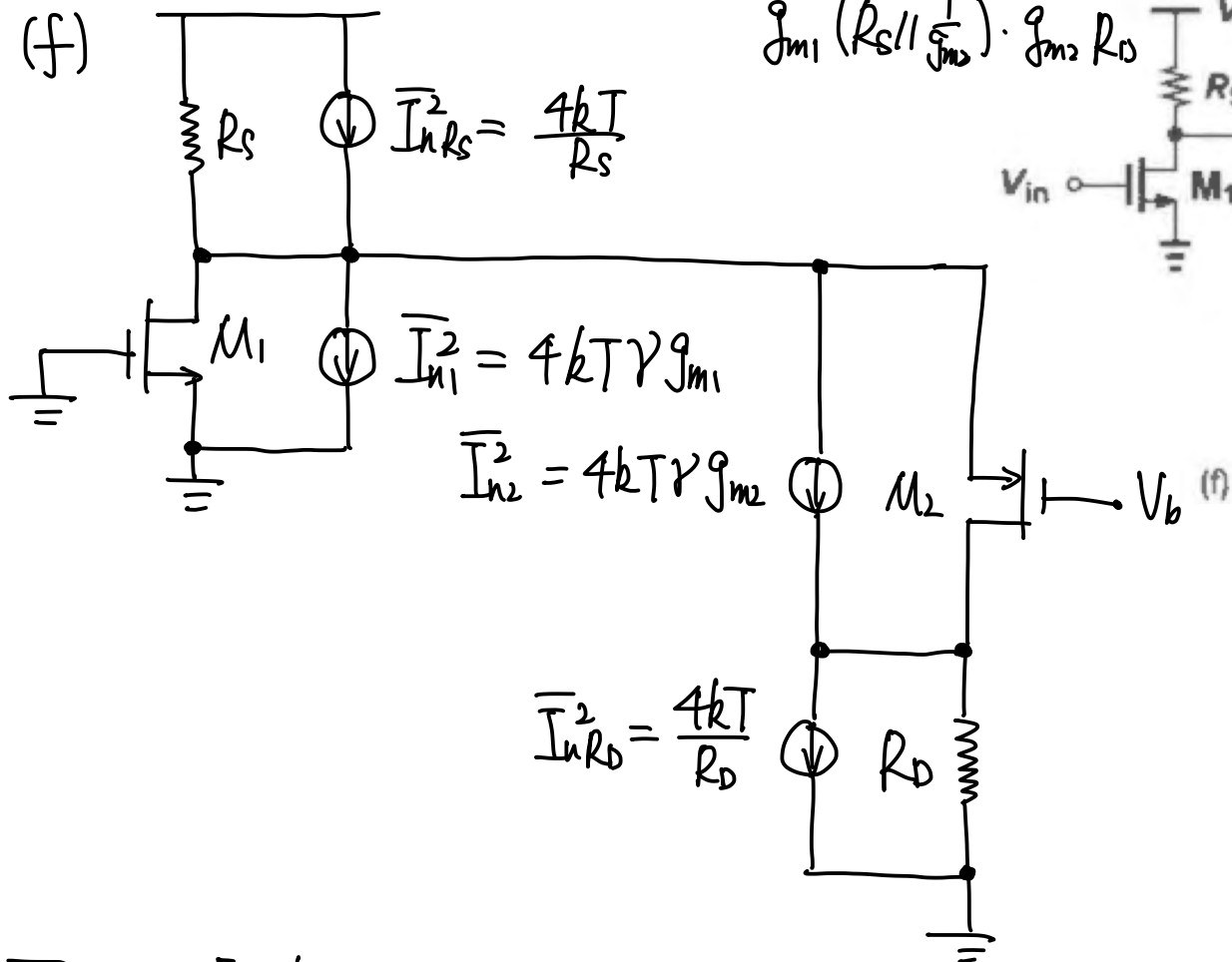
$$\overline{V_{n, in}^2} = \frac{\overline{V_{n, out}^2}}{|A_v|^2} = 4kT\gamma g_{m2} \left(\frac{1+g_{m1}R_S}{g_{m1}} \right)^2 + 4kTR_S + \frac{4kT\gamma}{g_{m1}}$$



因为 $\lambda=0$, $r_{o1}=r_{o2}=\infty$, 与课本 P227 共源共栅级类似, M_2, R_F 不贡献噪声, 而且 M_1 和 R_D 的噪声电流全部流过 R_D

直接代入 (7.112) 式, $\overline{V_{n, in}^2} = 4kT \left(\frac{\gamma}{g_{m1}} + \frac{1}{g_{m1}^2 R_D} \right)$

(f)



$$\overline{V_{n,out}^2} = \left[\frac{4kT}{R_S} \left(\frac{R_S}{\frac{1}{g_{m2}} + R_S} \right)^2 + 4kT\gamma g_{m1} \left(\frac{R_S}{\frac{1}{g_{m2}} + R_S} \right)^2 + 4kT\gamma g_{m2} \left(\frac{\frac{1}{g_{m2}}}{\frac{1}{g_{m2}} + R_S} \right)^2 + \frac{4kT}{R_D} \right] \cdot R_D^2$$

$$|A_v| = g_{m1} \left(R_S \parallel \frac{1}{g_{m2}} \right) \cdot g_{m2} R_D$$

$$\overline{V_{n,in}^2} = \frac{\overline{V_{n,out}^2}}{|A_v|^2} = \frac{4kT}{g_{m1}^2 R_S} + \frac{4kT\gamma}{g_{m1}^2} + \frac{4kT\gamma}{g_{m2} g_{m1}^2 R_S^2} + \frac{4kT}{g_{m1}^2 R_D} \left(\frac{1 + g_{m2} R_S}{g_{m2} R_S} \right)^2$$

7.17 假设图 7.42 的电路中, $(W/L)_{1,2} = 50/0.5$, $I_{D1} = |I_{D2}| = 0.5$ mA, 输入参考热噪声电压是多少? ($\lambda \neq 0$, $\gamma = 0$)

例 7.15

计算图 7.42(a)所示的放大器的输入参考热噪声电压, 假设两个晶体管均处于饱和。另外, 如果电路驱动一个负载电容 C_L , 确定其总输出热噪声; 如果输入是一个振幅为 V_m 的低频正弦信号, 输出信噪比是多少?

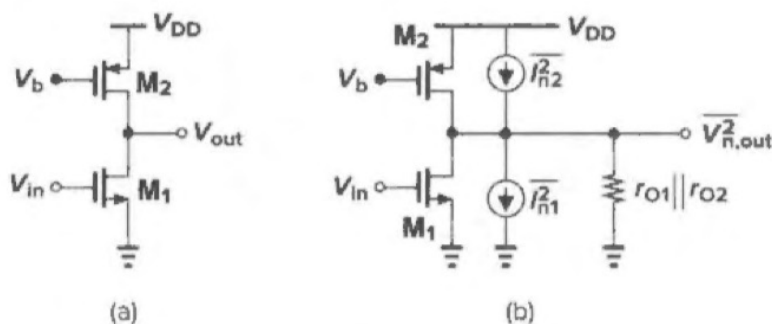


图 7.42

解: 用电流源表示 M_1 和 M_2 的热噪声(图 7.42(b)), 注意它们是非相关的, 我们有

$$\overline{V_{n,out}^2} = 4kT(\gamma g_{m1} + \gamma g_{m2})(r_{O1} \parallel r_{O2})^2 \quad (7.76)$$

(实际上, NMOS 和 PMOS 的 γ 可能是不相同的)。由于电压增益等于 $g_{m1}(r_{O1} \parallel r_{O2})$, 相对于 M_1 的栅的总噪声电压为

$$\overline{V_{n,in}^2} = 4kT(\gamma g_{m1} + \gamma g_{m2}) \frac{1}{g_{m1}^2} \quad (7.77)$$

$$= 4kT\gamma \left(\frac{1}{g_{m1}} + \frac{g_{m2}}{g_{m1}^2} \right) \quad (7.78)$$

式(7.78)表示了 $\overline{V_{n,in}^2}$ 与 g_{m1} 和 g_{m2} 的关系, 证实了 g_{m2} 必须最小, 因为 M_2 是一个电流源, 而不是跨导器^①。

$$g_{m1} = \sqrt{2\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} I_{D1}} \approx 3.66 \text{ mS}$$

$$g_{m2} = \sqrt{2\mu_p C_{ox} \frac{W}{L} |I_{D2}|} \approx 1.96 \text{ mS}$$

$$\text{取 } \gamma = \frac{2}{3},$$

$$\overline{V_{n,in}^2} = 4kT\gamma \left(\frac{1}{g_{m1}} + \frac{g_{m2}}{g_{m1}^2} \right) \approx 4.63 \times 10^{-18} \text{ V}^2/\text{Hz}$$

$$\overline{V_{n,in}} \approx 2.15 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

7.19 一个共栅级电路包含一个 $W/L=50/0.05$ 的 NMOS 器件, 偏置电流 $I_D=1\text{ mA}$, 负载电阻是 $1\text{ k}\Omega$, 求输入参考热噪声电压和电流。 ($\lambda=0, \gamma=0$)

7.4.2 共栅级

热噪声

考虑如图 7.46(a) 所示的共栅结构, 忽略沟道长度调制, 我们用两个电流源表示 M_1 和 R_D 的热噪声(图 7.46(b))。注意, 由于电路的输入阻抗低, 输入参考噪声电流即使在低频时也不能忽略。为计算输入参考噪声电压, 我们将输入短接到地并使图 7.47(a) 和 (b) 中的电路的输出噪声相等

$$\left(4kT\gamma g_m + \frac{4kT}{R_D}\right)R_D^2 = \overline{V_{n,in}^2}(g_m + g_{mb})^2 R_D^2 \quad (7.93)$$

即

$$\overline{V_{n,in}^2} = \frac{4kT(\gamma g_m + 1/R_D)}{(g_m + g_{mb})^2} \quad (7.94)$$

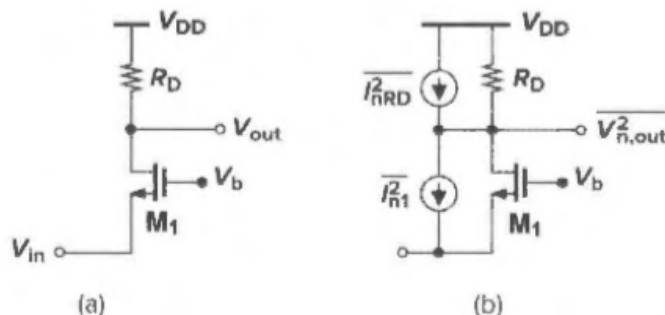


图 7.46 (a) 共栅级电路; (b) 包括噪声源的共栅极电路

类似地, 使图 7.47(c) 和 (d) 中电路的输出噪声相等可得输入参考噪声电流。在图 7.47

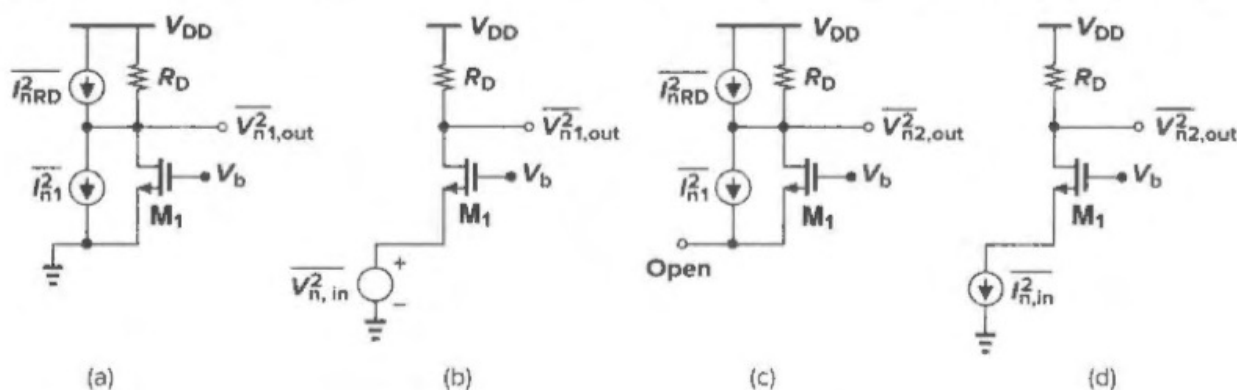


图 7.47 共栅级输入参考噪声的计算

(c) 的输出中 $\overline{I_{n1}^2}$ 的影响是什么呢? 因为 M_1 的源的电流总和是零, 所以 $I_{n1} + I_{D1} = 0$ 。从而 I_{n1} 在 M_1 中产生一个与 I_{D1} 大小相等、方向相反的电, 在输出端不产生噪声。那么图 7.46(a) 中的输出噪声电压就等于 $4kTR_D$, 从而 $\overline{V_{n,in}^2}R_D^2 = 4kTR_D$, 则

$$\overline{I_{n,in}^2} = \frac{4kT}{R_D} \quad (7.95)$$

$$g_{m1} = \sqrt{2\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} I_D} \approx 16.37 \text{ mS}$$

$$R_D = 1 \text{ k}\Omega$$

$$\text{取 } \gamma = \frac{2}{3}$$

$$\overline{V_{n, in}^2} = 4kT \left(\frac{\gamma}{g_{m1}} + \frac{1}{g_{m1}^2 R_D} \right) \approx 7.36 \times 10^{-19} \text{ V}^2/\text{Hz}$$

$$\overline{V_{n, in}} \approx 0.86 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

$$\overline{I_{n, in}^2} = \frac{4kT}{R_D} \approx 1.66 \times 10^{-23} \text{ A}^2/\text{Hz}$$

$$\overline{I_{n, in}} = 4.07 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$$