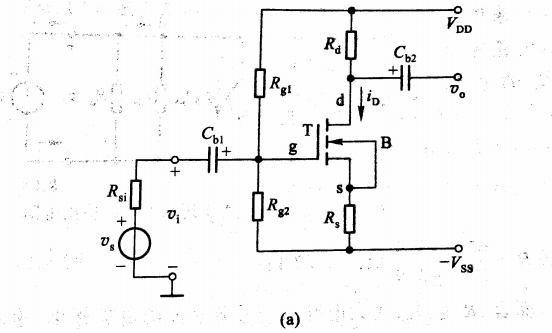
4.4.1 电路如图 4.4.6a 所示。已知 $R_d=10\ \text{k}\Omega$，$R_{si}=R_s=0.5\ \text{k}\Omega$，$R_{g1}=165\ \text{k}\Omega$，$R_{g2}=35\ \text{k}\Omega$，$V_{TN}=0.8\ \text{V}$，$K_n=1\ \text{mA/V}^2$，场效应管的输出电阻 $r_{ds}=\infty$（$\lambda=0$），电路静态工作点处 $V_{GS}=1.5\ \text{V}$。试求图 4.4.6a 所示共源极电路的小信号电压增益 $A_v=v_o/v_i$、源电压增益 $A_{vs}=\dfrac{v_o}{v_s}$、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o（提示：先根据 K_n、V_{GS} 和 V_{TN} 求出 g_m，再求 A_v）。

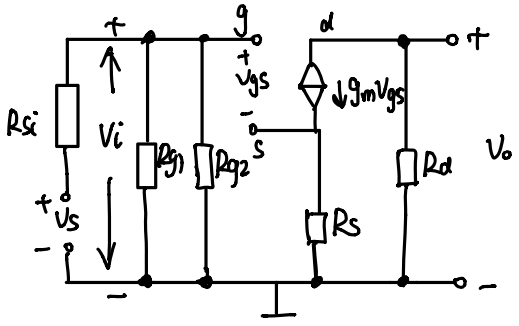


(a)

解：电路静态工作时，$v_s=0$，且 $V_{GS}=1.5V$

$\therefore g_m=2K_n(V_{GS}-V_{TN})=1.4\ \text{mS}$

画出其小信号等效电路图：



$\therefore v_o=-g_m v_{gs}\cdot R_d \quad v_i=v_{gs}+g_m v_{gs}\cdot R_s$

$v_i=v_s\cdot\dfrac{R_{g1}/\!/R_{g2}}{R_{si}+R_{g1}/\!/R_{g2}}$

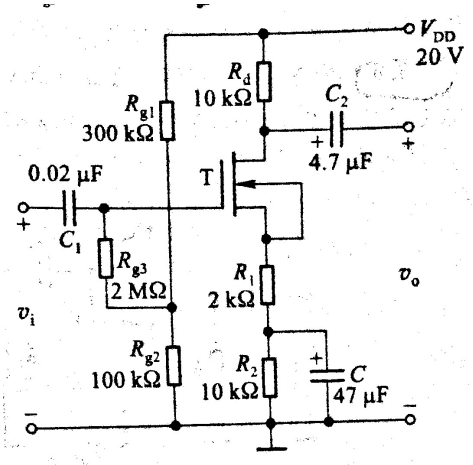
$\therefore A_v=\dfrac{v_o}{v_i}=\dfrac{-g_m R_d}{1+g_m R_s}\approx-8.24$

$A_{vs}=\dfrac{v_o}{v_s}=\dfrac{v_o}{v_i}\cdot\dfrac{v_i}{v_s}=-8.24\times\dfrac{R_{g1}/\!/R_{g2}}{R_{si}+R_{g1}/\!/R_{g2}}\approx-8.10$

$R_i=R_{g1}/\!/R_{g2}=28.875\ \text{k}\Omega$

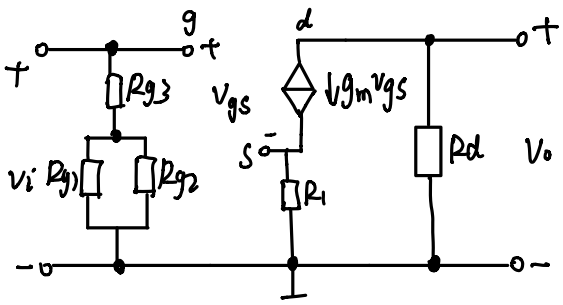
$R_o=R_d=10\ \text{k}\Omega$.

4.4.3 已知电路参数如图题 4.4.3 所示，FET 工作点上的互导 $g_m=1\ \text{mA/V}$，设 $r_{ds}\gg R_d$。（1）画出电路的小信号等效电路；（2）求电压增益 A_v；（3）求放大器的输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o。



图题 4.4.3

解：(1) 由于 $r_{ds}\gg R_d$，故可忽略 r_{ds}，



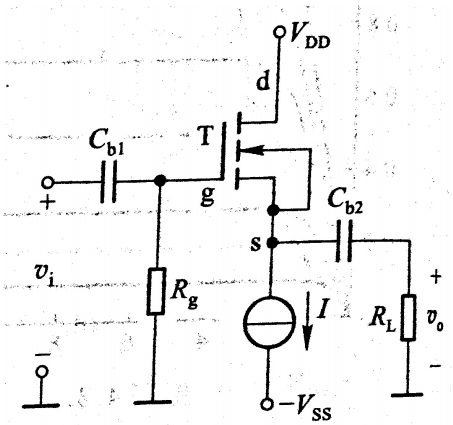
(2) $v_o=-g_m v_{gs}\cdot R_d \quad v_i=v_{gs}+g_m v_{gs}R_1$

$\therefore A_v=\dfrac{v_o}{v_i}=\dfrac{-g_m R_d}{1+g_m R_1}\approx-3.3$

(3) $R_i=R_{g3}+R_{g1}/\!/R_{g2}=2075\ \text{k}\Omega$

$R_o=R_d=10\ \text{k}\Omega$

4.5.2 源极跟随器电路如图题 4.5.2 所示，场效应管参数为 $K_n = 1\ \text{mA/V}^2$，$V_{TN} = 1.2\ \text{V}$，$\lambda = 0$。电路参数为 $V_{DD} = V_{SS} = 5\ \text{V}$，$R_g = 500\ \text{k}\Omega$，$R_L = 4\ \text{k}\Omega$。若电流源 $I = 1\ \text{mA}$，试求小信号电压增益 $A_v = v_o/v_i$ 和输出电阻 R_o。



图题 4.5.2

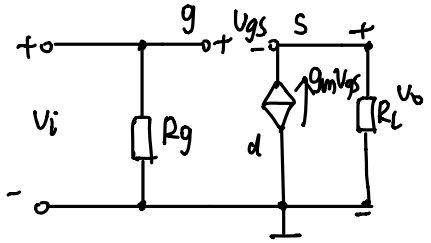
解：当电路处于静态时，$v_i = 0$.

$\therefore V_{GSQ} = 0 \quad I_{DQ} = I = 1\text{mA} = K_n(V_{GSQ} - V_{TN})^2$

$\therefore$ 解得 $V_{GSQ} = 2.2\text{V}$ （$V_{GSQ} = 0.2\text{V}$ 舍去）

$\therefore g_m = 2K_n(V_{GSQ} - V_{TN}) = 2\text{mS}$ 由于 $\lambda = 0$，则 $r_{ds} = \infty$

$\therefore$ 其小信号等效电路为

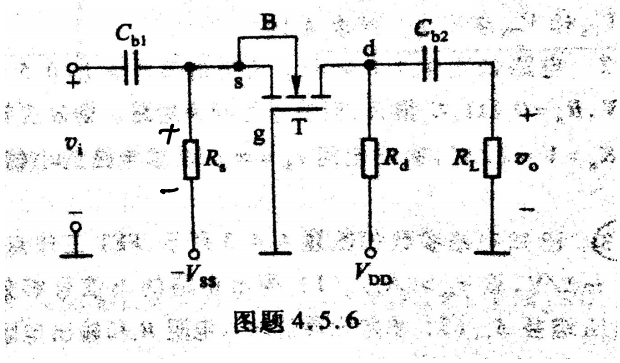


$\therefore v_o = g_m v_{gs} \cdot R_L \quad v_i = v_{gs} + v_o = v_{gs} + g_m v_{gs} R_L$

$\therefore A_V = \dfrac{v_o}{v_i} = \dfrac{g_m R_L}{1 + g_m R_L} \approx 0.89$

$\therefore R_o = \dfrac{1}{g_m} = 0.5\text{k}\Omega$

4.5.6 共栅极放大电路如图题 4.5.6 所示。电路参数为 $V_{DD} = V_{SS} = 5\ \text{V}$，$R_s = 10\ \text{k}\Omega$，$R_d = 5\ \text{k}\Omega$，$R_L = 5\ \text{k}\Omega$，场效应管参数 $K_n = 3\ \text{mA/V}^2$，$V_{TN} = 1\ \text{V}$，$\lambda = 0$。(1) 计算静态工作点 Q；(2) 求 g_m；(3) 求 $A_v = v_o/v_i$。



图题 4.5.6

解：(1) 当电路处于静态时，即 $v_i = 0$ 时，

$V_{GSQ} = 0 \quad V_{SQ} = -V_{SS} + I_{DQ} \cdot R_S$

$\therefore V_{GSQ} = 0 + V_{SS} - I_{DQ}R_S = 5 - 10I_{DQ}$. ①

设其处于饱和工作状态：故 $I_{DQ} = K_n(V_{GSQ} - V_{TN})^2$

$= 3(V_{GSQ} - 1)^2$ ②

由①②解得：$I_{DQ1} \approx 0.438\text{mA}$（$V_{GS} < V_{TN}$，舍去）

$I_{DQ2} \approx 0.365\text{mA}$

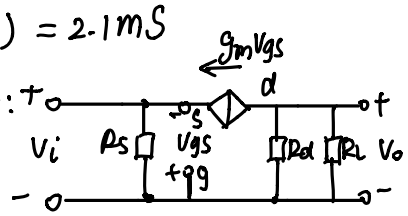
$\therefore V_{GSQ} = 5 - 10 \times 0.365\ (\text{V}) = 1.35\text{V} = -V_{SQ}$

$\therefore V_{DSQ} = V_{DQ} - V_{SQ} = V_{DD} - I_{DQ} \cdot R_d + 1.35\text{V} = 4.525\text{V} > (V_{GSQ} - V_{TN})$

$\therefore$ 处于饱和区，$V_{GSQ} = 1.35\text{V}$，$V_{DSQ} = 4.525\text{V}$，$I_{DQ} = 0.365\text{mA}$

(2) $g_m = 2K_n(V_{GSQ} - V_{TN}) = 2.1\text{mS}$

(3) 画出小信号等效电路：



$\therefore v_i = -v_{gs} \quad v_o = -g_m v_{gs} \cdot R_d // R_L$

$\therefore A_v = \dfrac{v_o}{v_i} = g_m R_d // R_L = 5.25$

4.7.2 电路如图 4.7.1 所示，电路参数为 $V_{DD}=V_{SS}=10\ \text{V}$，$R_L=4\ \text{k}\Omega$，$R_{s1}=1.7\ \text{k}\Omega$，$R_{s2}=5\ \text{k}\Omega$，$R_{si}=10\ \text{k}\Omega$，$R_{d1}=3.3\ \text{k}\Omega$，$R_{g1}=560\ \text{k}\Omega$，$R_{g2}=300\ \text{k}\Omega$。场效应管参数为 $K_{n2}=K_{n1}=1\ \text{mA/V}^2$，$V_{TN1}=V_{TN2}=2\ \text{V}$，$\lambda_1=\lambda_2=0$。试求

(1) 静态工作点；(2) 输入电阻和输出电阻；(3) 源电压增益。

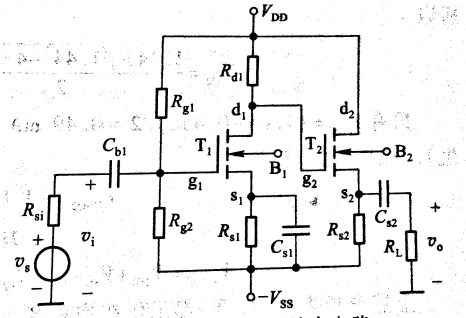


图 4.7.1 共源-共漏放大电路

解：(1) 当电路处于静态工作时，$v_s=0$.

$$V_{GSQ1}=\frac{R_{g2}}{R_{g1}+R_{g2}}\cdot(V_{DD}+V_{SS})-V_{SS}$$

$$V_{SQ1}=I_{DQ1}\cdot R_{S1}-V_{SS}$$

$$\therefore V_{GSQ1}=\frac{R_{g2}}{R_{g1}+R_{g2}}(V_{DD}+V_{SS})-I_{DQ1}R_{S1}\approx 6.98-1.7I_{DQ1}$$

设 T_1 处于饱和区，$I_{DQ1}=K_{n1}(V_{GSQ1}-V_{TN1})^2=(V_{GSQ1}-2)^2$

解得：$V_{GSQ1}\approx 3.44\ \text{V}$（舍去另解，因其小于 V_{TN1}）

$\therefore I_{DQ1}=2.1\ \text{mA}$　　$V_{DSQ1}=V_{DD}+V_{SS}-I_{DQ1}(R_{d1}+R_{g1})=9.5\ \text{V}$

设 T_2 处于饱和区，$V_{G2}=V_{d1}=V_{DD}-I_{DQ1}\cdot R_{d1}\approx 3.1\ \text{V}$

$$\therefore V_{GSQ2}=V_{G2}-V_{S2}=3.1\text{V}-(-V_{SS}+I_{DQ2}\cdot R_{S2})=3.1\text{V}+10\text{V}-I_{DQ2}\cdot 5=13.1-5I_{DQ2}$$

$$I_{DQ2}=K_{n2}(V_{GSQ2}-V_{TN})^2=(V_{GSQ2}-2)^2$$

解得：$I_{DQ2}\approx 1.94\ \text{mA}$（另解舍去，其使 $V_{GSQ}<V_{TN}$）

$$\therefore V_{GSQ2}=13.1-5\times 1.94\ (\text{V})=3.4\text{V}$$

$$V_{DSQ2}=V_{DD}+V_{SS}-I_{D2}R_{S2}=10.3\text{V}$$

(2) $R_i=R_{g1}/\!/R_{g2}\approx 195.3\text{k}\Omega$

$$g_{m2}=2K_{n2}(V_{GSQ2}-V_{TN2})=2.8\ \text{mS}.$$

又 $\because \lambda_2=0$　$\therefore r_{ds2}=\infty$

$$\therefore R_o=R_{S2}/\!/\frac{1}{g_{m2}}\approx 0.33\text{k}\Omega$$

(3) $g_{m1}=2K_{n1}(V_{GSQ1}-V_{TN1})=2.88\ \text{mS}$

$$A_v=\frac{-g_{m1}g_{m2}R_{d1}(R_{S2}/\!/R_L)}{1+g_{m2}(R_{S2}/\!/R_L)}\approx -8.19$$

$$A_{vs}=A_v\cdot\frac{v_i}{v_s}=A_v\cdot\frac{R_{g1}/\!/R_{g2}}{R_{si}+R_{g1}/\!/R_{g2}}\approx -7.79.$$