



线性电子线路

第四章作业简要参考答案

November 14,2021

题 4.1

题 4.1 图 P4.1 所示 N 沟道结型场效应管放大器中, 已知管子的参数: $I_{DSS} = 1\text{mA}$, $V_{po} = 1\text{V}$, 若要求漏极对地的静态直流电压 $V_{DQ} = 10\text{V}$, 则电路中的 R_{S1} 应取多大?

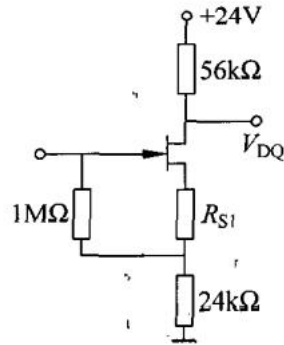


图 P4.1

解:

$$I_D = \frac{24 - 10}{56} = 0.25\text{mA}$$

对 N 沟道结型场效应管放大器, 有

$$I_D = I_{DSS} \left(1 + \frac{V_{GS}}{V_{po}}\right)^2 \Rightarrow V_{GS} = -0.5\text{V} \text{ or } -1.5\text{V}$$

$$\text{由 } V_P = V_{po} + V_{GS} \geq 0 \Rightarrow V_{GS} = -0.5\text{V}$$

$$R_{S1} = \left| \frac{V_{GS}}{I_D} \right| = \frac{0.5\text{V}}{0.25\text{mA}} = 2\text{k}\Omega$$

题 4.2

题 4.2 N 沟道增强型 MOSFET 放大电路如图 P4. 2, 已知管子参数: $V_T = 0.8V$, $K_n = 0.5mA/V^2$, 试计算静态 V_{GS} 、 I_D 和 V_{DS} 。

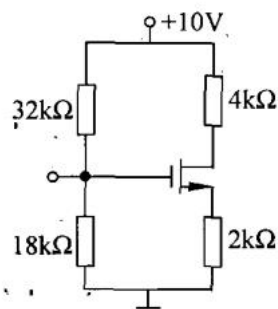


图 P4. 2

解：直流分析：

$$V_G = V_{DD} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 3.6V$$

假设工作在饱和电流区

$$\begin{cases} V_{GS} = V_G - V_S = V_G - I_D R_S \\ I_D = K_n (V_{GS} - V_T)^2 \end{cases}$$

$$\text{解得} \begin{cases} V_{GS} = 2.05V \\ I_D = 0.777mA \end{cases}$$

列回路 KVL

$$V_{DD} - 0 = I_D (R_D + R_S) + V_{DS}$$

$$\therefore V_{DS} = 5.34V$$

验证

$$V_p = V_{GS} - V_T = 1.25V$$

$$V_{DS} > V_p$$

确实工作在饱和电流区

题 4.3

题 4.3 P 沟道增强型 MOS 场效应管放大器如图 P4. 3, 已知管子参数 $V_T = -2V$, $K_p = 1mA/V^2$, 试求静态工作点 (V_{GS} , I_D 和 V_{DS})。

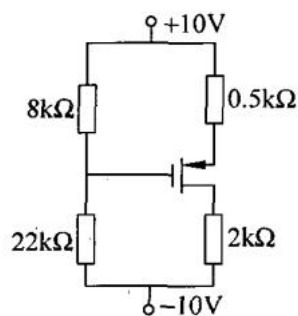


图 P4. 3

解：直流分析

$$V_G = V_{DD} + (V_{SS} - V_{DD}) \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 4.67V$$

假设工作在饱和电流区

$$\begin{cases} V_{GS} = V_G - V_S = V_G - (V_{SS} - I_D R_S) \\ I_D = K_p (V_{GS} - V_T)^2 \end{cases}$$

$$\text{解得} \begin{cases} V_{GS} = -3.77V \\ I_D = 3.13mA \end{cases}$$

列回路 KVL

$$V_{SS} - V_{DD} - 0 = I_D (R_D + R_S) - V_{DS}$$

$$\therefore V_{DS} = -12.18V$$

$$V_p = V_{GS} + V_T = -5.77V$$

$$\text{验证: } V_{DS} < V_p$$

确实工作在饱和电流区

题 4.6

题 4.6 图 P4.6 中的增强型 MOS 管的参数为: $V_T = 0.6V$, $K_n = 200\mu A/V^2$, 求 V_S 和 V_D 。

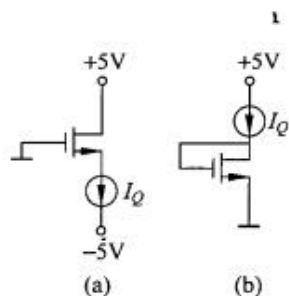


图 P4.5

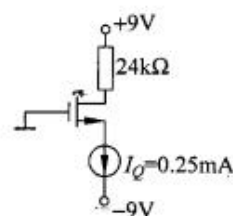


图 P4.6

解: 假设管子处于饱和态

$$I_D = I_Q = 0.25mA$$

$$I_D = 200\mu A/V^2 (V_{GS} - 0.6V)^2$$

$$\Rightarrow V_{GS} = 1.72V \Rightarrow V_S = -1.72V$$

$$V_D = 9V - 24k\Omega \cdot I_D = 3V$$

$$\therefore V_{DS} = 3V + 1.72V = 4.72V > V_{GS} - V_T$$

假设成立

答: $V_D = 3V$ $V_S = -1.72V$

题 4.7

题 4.7 图 P4.7 电路中增强型 MOS 场效应管的参数为: $V_T = 1.7V$, $K_n = 400\mu A/V^2$, 为获得静态时的 $I_D = 0.8mA$ 和 $V_D = 1V$, 则电路中的 R_D 和 R_S 应取多大值?

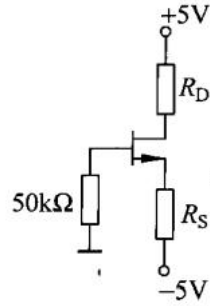


图 P4.7

解: 直流分析:

$$\begin{cases} I_D = K_n (V_{GS} - V_T)^2 = 0.8mA \\ V_{GS} > V_T \end{cases} \Rightarrow V_{GS} = 3.11V$$

$$I_D = \frac{5 - V_D}{R_D} = 0.8mA \Rightarrow R_D = 5K\Omega$$

$$R_S = \frac{-3.11V + 5V}{I_D} = 2.36K\Omega$$

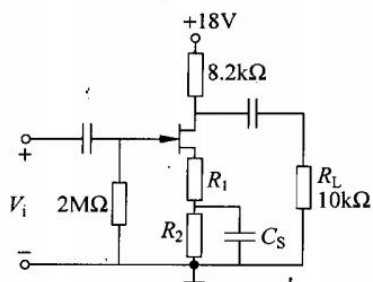
4.8

题 4.8 结型场效应管放大器如图 P4.8 所示, 已知管子参数: $I_{DSS}=5\text{mA}$ 、 $V_{P0}=-2.5\text{V}$ 以及 $R_1=0.1\text{k}\Omega$ 、 $R_2=1\text{k}\Omega$ 。

(1) 求直流 I_D 和 V_{DS} 以及该直流工作点的 g_m ;

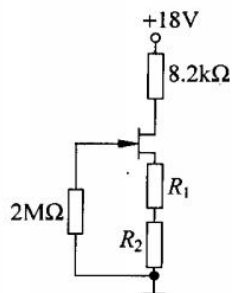
(2) 求交流电压放大倍数 A_v 和输入阻抗 R_i ;

(3) 若 $R_1=0$, 则交流 A_v 和 R_i 为多少?



1.1

直流分析



根据场效应管饱和电流特性及 KVL 列方程:

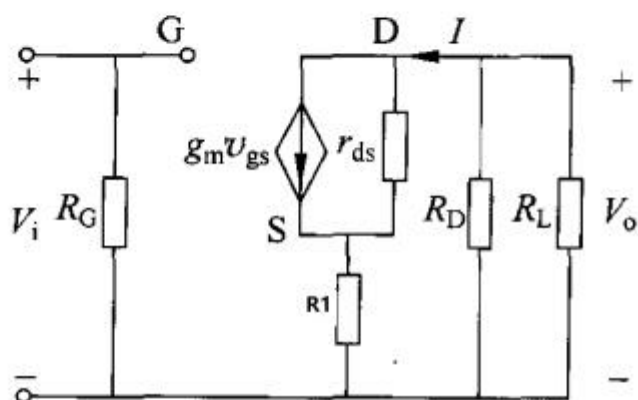
$$\begin{cases} I_D = I_{DSS} \left(1 + \frac{V_{GS}}{V_{P0}}\right)^2 \\ V_{GS} = -I_D(R_1 + R_2) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_{GS} = -1.29\text{V} \\ I_D = 1.17\text{mA} \end{cases}$$

$V_{GS} > -V_{P0}$, 确处于饱和状态

$$V_{DS} = 18V - I_D(R_D + R_1 + R_2) = 7.12V$$

$$g_m = \frac{2}{V_{P0}} \sqrt{I_{DSS} I_{DQ}} = 1.93mS$$

1.2



$$A_V = \frac{-g_m(R_D \parallel R_L)}{1 + g_m R_1} = -7.3$$

$$R_i = R_G = 2M\Omega$$

1.3

$R_1 = 0$, 直流工作点近似不变, 直接交流分析得:

$$A_V = -g_m(R_D \parallel R_L) = -8.7$$

$$R_i = R_G = 2M\Omega$$

题 4.10

题 4.10 在图 P4.10 所示的 MOS 场效应管放大器中, 已知管子的交流参数: $g_m = 10^{-3} \text{A/V}$, $r_{ds} = 20 \text{k}\Omega$, 求放大器的 A_v 、 R_i 和 R_o 。

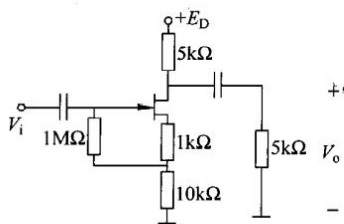


图 P4.9

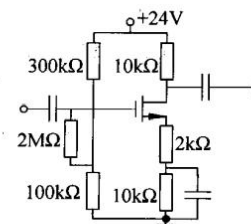
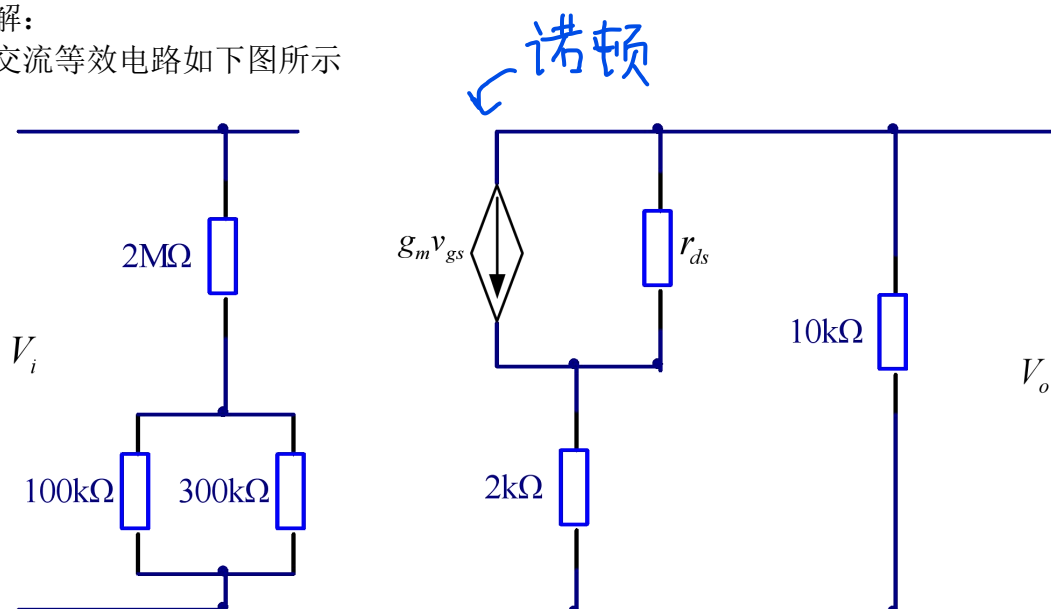


图 P4.10

解:
交流等效电路如下图所示



本题中 $R_D = 10 \text{k}\Omega$, $R_L = \infty$, $R_1 = 2 \text{k}\Omega$, $g_{ds} = \frac{1}{r_{ds}}$

$$A_v = \frac{-g_m(R_D // R_L)}{1 + g_{ds}(R_D // R_L) + (g_m + g_{ds})R_1},$$

$$A_v = \frac{-g_m R_D}{1 + g_{ds} R_D + (g_m + g_{ds}) R_1} = \frac{-1 \times 10}{1 + 10 / 20 + 2 / 20 + 1 \times 2} = -2.78$$

$$R_i = 2M\Omega + (100k // 300k) = 2.075M\Omega$$

$$R_o = R_D // [r_{ds} + R_1(1 + g_m r_{ds})] = 10 // [20 + 2(1 + 20)] = 8.61k\Omega$$

题 4.11

题 4.11 源极输出器如图 P4.11 所示, 已知场效应管的交流参数: $g_m = 0.9 \times 10^{-3} \text{ A/V}$, $r_{ds} = 20k\Omega$, 求该电路的 A_v 、 R_i 和 R_o 。

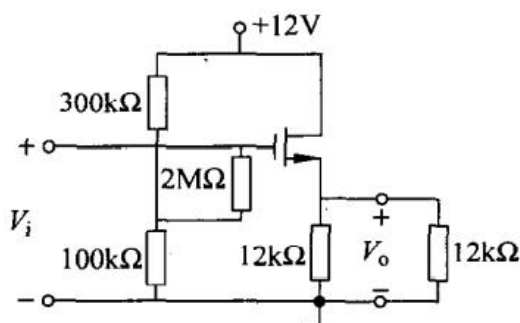
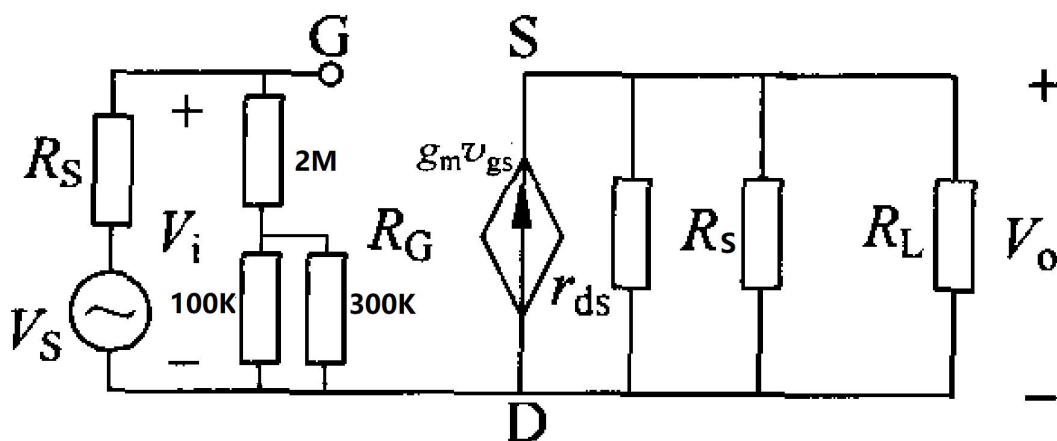


图 P4.11

解: 题中已给定 g_m , 直流工作点已定, 交流分析得:



$$R_i = R_G = 2M\Omega + (300K\Omega // 100K\Omega) = 2M\Omega$$

$$A_v = \frac{g_m (r_{ds} // R_S // R_L)}{1 + g_m (r_{ds} // R_S // R_L)} = 0.806$$

$$R_o = \frac{1}{g_m} // r_{ds} // R_S = 0.97K\Omega$$

题 4.12

题 4.12 图 P4.12 为源极跟随器, 已知增强型 MOS 管的参数为 $V_T = 1.2\text{V}$, $K_n = 1\text{mA/V}^2$, 若 $I_Q = 1\text{mA}$, $R_L = 4\text{k}\Omega$, 求该电路的 A_v , R_i 和 R_o 。

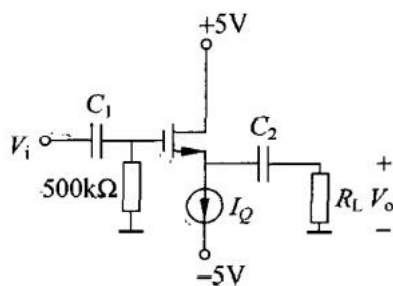
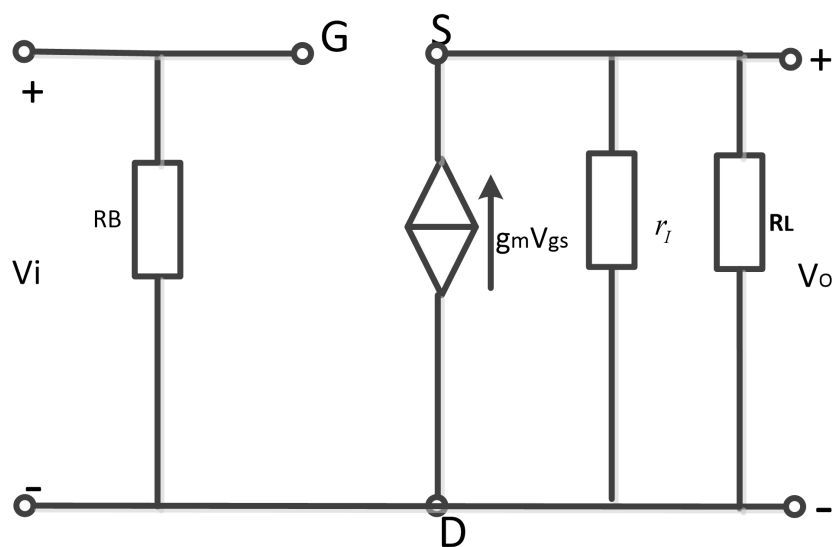


图 P4.12

解:



$$\begin{cases} I_D = K_n (V_{GS} - V_T)^2 = 1mA \\ V_{GS} > V_T \end{cases} \Rightarrow V_{GS} = 2.2V$$

$$V_S = -2.2V$$

$$r_I = \frac{-2.2V + 5V}{1mA} = 2.8K\Omega$$

$$g_m = 2\sqrt{I_{DQ}K_n} = 2 \times 10^{-3}$$

$$R_i = R_B = 500K\Omega$$

$$A_V = \frac{g_m(r_I \parallel R_L)}{1 + g_m(r_I \parallel R_L)} = 0.767$$

$$R_o = \frac{1}{g_m} \parallel r_I = 0.42K\Omega$$

题 4.14

题 4.14 两级场效应管放大器如图 P4.14 所示, 已知结型场效应管的参数相同: $g_m = 4 \times 10^{-3} A/V$, $r_{ds} = 10k\Omega$, $C_{gs} = 6pF$, $C_{ds} = 2pF$, $C_{gd} = 2pF$ 。

- (1) 求中频电压增益 A_V ;
- (2) 求电压增益函数 $A_V(S)$ 的低频和高频的 3dB 截止频率 f_L 和 f_H 。

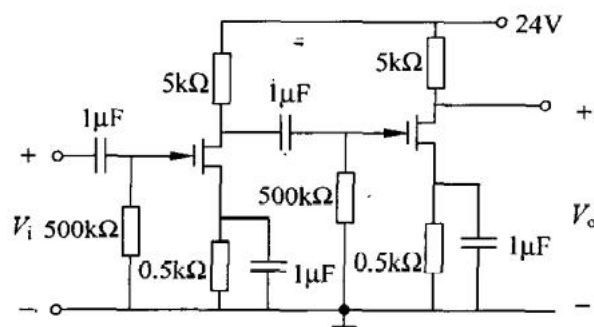
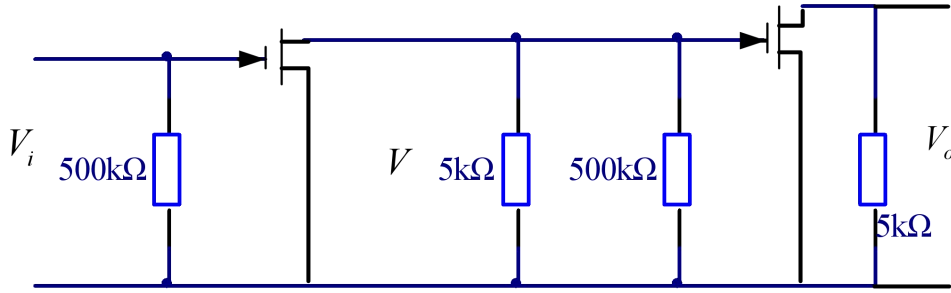


图 P4.14

解:

(1) 中频等效电路如下所示



根据教材式 (4.5.1), 得到

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V} \cdot \frac{V}{V_i} = -g_m(r_{ds} // 5)[-g_m(r_{ds} // 5 // 500)] \approx 176.6$$

(2) 根据原电路图, 将左边场效应管 G 极上的电容标号为 1, 其漏极上的电容标号为 2, 源极上的电容标号为 3, 右边场效应管的源极上的电容标号为 4, 则有

$$\omega_{l1} = \frac{1}{R_G C_1} = 2 \text{ rad} / s$$

$$\omega_{l2} = \frac{1}{(r_{ds} // R_D + R_L) C_2} \approx 2 \text{ rad} / s$$

$$\omega_{l3} = \frac{1 + \frac{R_3(g_m + g_{ds})}{1 + g_{ds}(R_{L1} // R_D)}}{C_3 R_3}, \text{ 其中 } R_3 = 0.5k\Omega, \text{ 为源极电阻, } r_{ds} \gg \frac{1}{g_m} \text{ 因此}$$

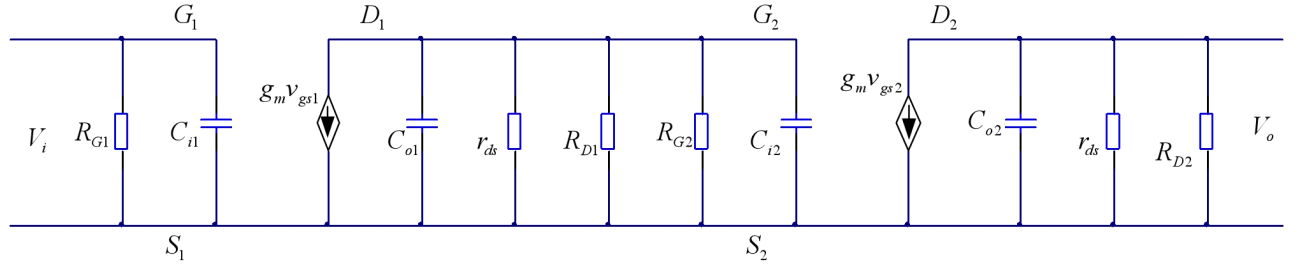
$$\omega_{l3} \approx \frac{1 + \frac{R_3 g_m}{1 + g_{ds} R_D}}{C_3 R_3} = 4.7 \times 10^3 \text{ rad} / s$$

$$\omega_{l4} \approx \omega_{l3} = 4.7 \times 10^3 \text{ rad} / s$$

因此,

$$\Rightarrow f_l = \frac{4.7 \times 10^3}{2\pi \sqrt{2^n - 1}} = 1.16 \times 10^3 \text{ Hz}$$

高频等效电路如下所示



图中，

$$C_{i1} = [1 + g_m(r_{ds} // R_{D1} // R_{G2})]C_{gd1} + C_{gs1} = 34.49 pF$$

$$C_{o1} = [1 + \frac{1}{g_m(r_{ds} // R_{D1} // R_{G2})}]C_{gd1} + C_{ds1} = 4.15 pF$$

$$C_{i2} = [1 + g_m(r_{ds} // R_{D2})]C_{gd2} + C_{gs2} = 34.67 pF$$

$$C_{o2} = [1 + \frac{1}{g_m(r_{ds} // R_{D2})}]C_{gd2} + C_{ds2} = 4.15 pF$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{v_{gs2}} \cdot \frac{v_{gs2}}{v_{gs1}}$$

$\frac{V_o}{v_{gs2}}$ 有一个极点，对应

$$\omega_{h2} = \frac{1}{C_{o2}(r_{ds} // R_{D2})} = 7.23 \times 10^7 rad / s$$

$\frac{v_{gs2}}{v_{gs1}}$ 有一个极点，对应

$$\omega_{h1} = \frac{1}{(C_{o1} + C_{i2})(r_{ds} // R_{D1} // R_{G2})} = 7.78 \times 10^6 rad / s$$

因为 $\omega_{h1} \ll \omega_{h2}$ ，因此

$$f_h = \frac{\omega_{h1}}{2\pi} = 1.24 \times 10^6 Hz$$

4.18

3 4.18T

题 4.18 两级放大器如图 P4.18 所示, 两个 MOS 管的参数相同: $K_n = 4\text{mA/V}^2$, $V_T = 2\text{V}$ 以及 $R_L = 2\text{k}\Omega$ 。

- (1) 求直流 I_{DQ1} 、 I_{DQ2} 、 V_{DSQ1} 和 V_{DSQ2} ;
- (2) 求 g_{m1} 和 g_{m2} ;
- (3) 求两级放大器的电压增益 A_v 。

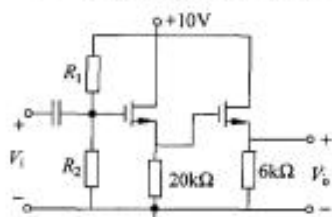


图 P4.17

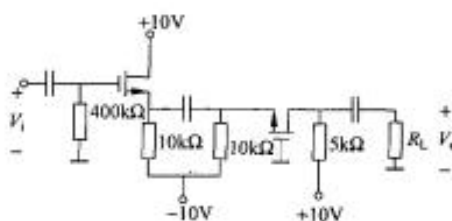
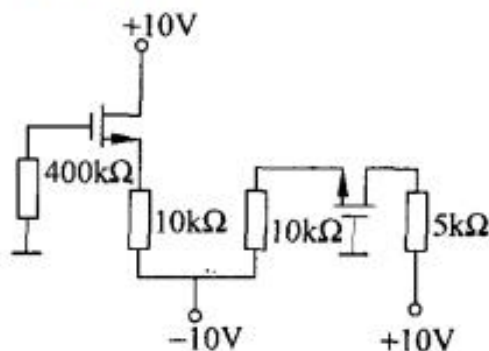


图 P4.18

3.1

直流分析, 去除交流小信号部分得



$$\begin{cases} I_{D1} = K_n(V_{GS1} - V_T)^2 \\ V_{GS1} = 10V - I_{D1} \cdot 10K\Omega \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_{GS1} = 2.43V \\ I_{D1} = 0.76mA \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_{D2} = K_n(V_{GS2} - V_T)^2 \\ V_{GS2} = 10V - I_{D2} \cdot 10K\Omega \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_{GS2} = 2.43V \\ I_{D2} = 0.76mA \end{cases}$$

$V_{GS} > V_T$ ，确处于饱和状态

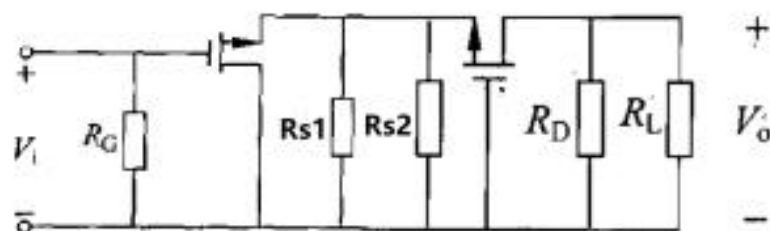
$$V_{DS1} = 20V - I_{D1} \cdot 10K\Omega = 12.43V$$

$$V_{DS2} = 20V - I_{D2} \cdot (10K\Omega + 5K\Omega) = 8.64V$$

$$g_m = g_{m1} = g_{m2} = 2\sqrt{K_n I_{DQ}} = 3.49mS$$

3.2

设左侧为 I 级，右侧为 II 级，交流分析如下：



先分析 II 级

$$R_{i2} = R_{S2} \parallel \frac{1}{g_m} = 0.28K\Omega$$

$$A_{V2} = g_m(R_D \parallel R_L) = 4.98$$

II 级为 I 级负载

$$A_{V1} = \frac{g_m(r_{ds} \parallel R_{S1} \parallel R_{i2})}{1 + g_m(r_{ds} \parallel R_{S1} \parallel R_{i2})} = 0.49$$

所以

$$A_V = A_{V1}A_{V2} = 2.44$$