

- 1、对于 MOS 管放大器（共源型），如图 12-6 所示。设电源电压 $V_S=10V$ ， $V_T=1V$ ， $K=5mA/V^2$ ，当输入直流电压 $2V$ 时，期望输出电压是 $6V$ ，设置电阻 R_L ，满足这个要求。
- 2、利用问题 1 的参数及结果，分析该放大器（满足饱和原则）的输入电压范围，以及对应的输出电压范围。
- 3、利用问题 1 和 2 的参数和分析结果，选择在输入电压范围的几何中点，作为直流工作点电压，建立放大器的小信号模型。

$$(1) \because V_{in} = 2V > V_T \text{ 且 } V_{out} = 6V > V_{in} - V_T$$

\therefore 工作于饱和区

$$\text{满足 } \begin{cases} V_{out} = 6V = V_S - i_D R_L = 10 - i_D R_L \\ i_D = \frac{5 \times 10^{-3}}{2} (2 - 1)^2 \end{cases}$$

$$\text{解得: } R_L = 1600 \Omega$$

$$(2) \text{ 在饱和区 } V_{in} \geq V_T = 1V$$

设 V_{in} 在饱和区的最大值为 V_{in-max}

$$\text{则 } \begin{cases} V_o = V_S - i_D R_L = V_{in-max} - V_T \\ i_D = \frac{5 \times 10^{-3}}{2} (V_{in-max} - V_T)^2 \end{cases}$$

求解并舍去 $V_{in-max} < 0$ 的结果

$$\text{得到 } V_{in-max} \approx 2.46V$$

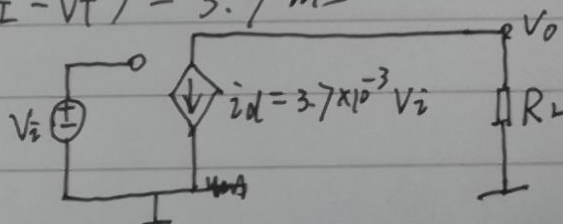
$$\therefore 1V \leq V_{in} \leq 2.46V$$

$$\therefore 1.46V \leq V_{out} \leq 10V$$

$$(3) \text{ 令 } V_I = 1.73V \text{ (输入电压范围中点)}$$

$$\text{则 } g_m = -K(V_I - V_T) = 3.7 \text{ mS}$$

小信号模型为:



10、如图 12.5 表示用一个 MOS 管放大器来驱动一个负载电阻 R_E 。MOS 管在饱和区域工作，其特性中的参数为 K 和 V_T 。求给定电路的 u_O 和 u_I 的函数关系。

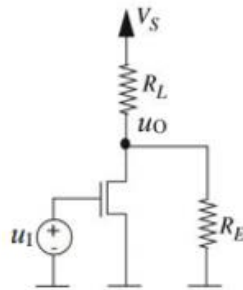
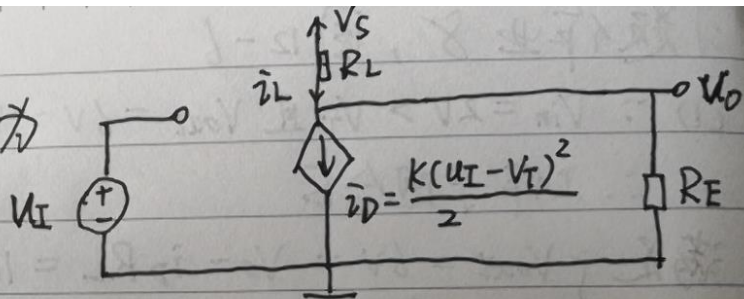


图 12.5

图 12.5

大信号模型为



$$\begin{cases} u_O = V_S - i_L R_L \\ u_O = (i_L - i_D) R_E \end{cases}$$

$$\therefore i_L = (V_S + i_D R_E) / (R_L + R_E)$$

$$\therefore u_O = V_S - \frac{V_S + i_D R_E}{R_L + R_E} R_L$$

$$= V_S - \frac{V_S + \frac{K}{2} (u_I - V_T)^2 R_E}{R_L + R_E} R_L$$

4、如图 12.12 所示的 MOS 管放大器。假设放大器工作在饱和原则下。且在饱和区时，MOS 管的特性为

$$i_{DS} = \frac{K}{2} (u_{GS} - V_T)^2$$

其中 i_{DS} 是漏极-源极电流， u_{GS} 是栅极-源极电压。

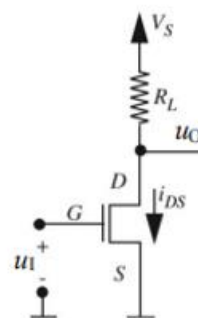


图 12.12

(1) 画出基于 MOS 管的 SCS 模型的等效电路。

(2) 求 u_O 与 i_{DS} 关系的表达式。

(3) 求 i_{DS} 与 u_I 关系的表达式。

(4) 求 u_O 与 u_I 关系的表达式。

(5) 假设某输入电压 u_I 产生某输出电压 u_O 。 u_I 增加（或减少）多少才能使得输出电压加倍？

(6) 再次假设某输入电压 u_I 产生某输出电压 u_O 。进一步假设，希望输出电压为 $2u_O$ ，假设输入电压和 MOS 管不变，实现输出电压加倍的可能方式。

图 12.12

(1) SCS 模型等效电路

(2) $u_O = V_S - i_{DS} \cdot R_L$

(3) $i_{DS} = \frac{K}{2} (u_I - V_T)^2$

(4) $u_O = V_S - \frac{K}{2} (u_I - V_T)^2 R_L$

(5) 即求解 $u_O' = V_S - \frac{K}{2} (u_I' - V_T)^2 R_L = 2u_O$
 $= [V_S - \frac{K}{2} (u_I^2 - V_T^2) R_L] \cdot 2$
 $u_I' = \sqrt{2(u_I - V_T)^2 - \frac{2V_S}{KR_L}} + V_T$

(6) 若 u_I 和 MOS 管不变，则 i_{DS} 不变，可通过改变 V_S 和 R_L 的方式提高 u_O ，满足
 $u_O' = V_S' - i_{DS} R_L' = 2u_O = 2(V_S - i_{DS} R_L)$
 若 $V_S' = V_S$ ，则 $R_L' = -V_S / i_{DS} + 2R_L$
 若 $R_L' = R_L$ ，则 $V_S' = 2V_S - i_{DS} R_L$

5、如图 12.13 所示放大器，MOS 管工作在饱和区，特性参数为 V_T 与 K 。输入电压 u_i 为 DC 偏置电压 U_I 与具有 $u_i = A\sin(\omega t)$ 形式的正弦信号之和。假设 A 与 U_I 比起来很小。设输出电压包括 DC 偏置项 U_O 和小信号响应项 u_o 。

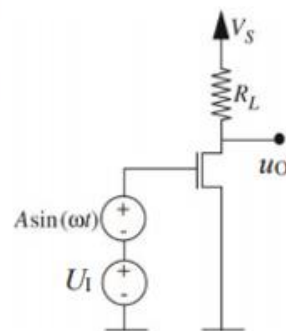


图 12.13

- (1) 确定输入偏置 U_I 对应的输出工作点电压 U_O 。
- (2) 确定放大器的小信号增益。
- (3) 将输入电压和输出电压画成时间的函数，并表示出 DC 和随时间变化的成分。

(1) MOS 管工作在饱和区

$$\begin{aligned} \therefore i_D &= \frac{K}{2} [(U_I + u_i) - V_T]^2 \\ &= \frac{K}{2} (U_I - V_T)^2 + K(U_I - V_T)u_i + \frac{K}{2} u_i^2 \end{aligned}$$

$\because u_i = A\sin(\omega t)$ 且 $A \ll U_I$

$$\therefore i_D \approx \frac{K}{2} (U_I - V_T)^2 + K(U_I - V_T)u_i$$

~~令 i_D~~ $\therefore u_O = V_S - i_D R_L$

$$= V_S - \frac{K}{2} (U_I - V_T)^2 R_L - K(U_I - V_T)u_i R_L$$

令 $u_O = U_O + u_o$

则 $U_O = V_S - \frac{K}{2} (U_I - V_T)^2 R_L$

(2) $\therefore u_o = -K(U_I - V_T)u_i R_L$

$$\therefore A_{u_i} = \frac{u_o}{u_i} = -K(U_I - V_T)R_L$$

(3) 输入电压 $U_I + u_i$

输出电压 $U_O + u_o$

8、如图 12.14 所示 MOS 管放大器。假设放大器运行在饱和原则下。MOS 管的饱和区的性质为

$$i_{DS} = \frac{K}{2}(u_{GS} - V_T)^2$$

其中 i_{DS} 是漏极-源极电流， u_{GS} 是施加在栅极与源极接线端上的电压。

(1) 求 u_o 与 u_i 的关系表达式。给定输入工作点电压为 U_i 后求输出工作点电压 U_o 。求相应的工作点电流 I_{DS} 。

(2) 假设输入工作点电压为 U_i ，根据 u_o 与 u_i 的关系导出小信号输出电压 u_o 与小信号输入电压 u_i 之间的关系表达式
放大器在输入工作点 U_i 上的增益是多少？

(3) 假设输入工作点电压为 U_i ，画出放大器基于 MOS 管的 SCS 模型的小信号等效电路。

(4) 根据小信号等效电路求放大器小信号增益的表达式。验证这样求出的小信号增益表达式与 (2) 部分求出的表达式一样。

(5) R_L 变化多少会使得放大器的小信号增益加倍，相应的输出偏置电压会变化多少？

(6) U_i 变化多少会使得放大器的小信号增益加倍，相应的输出偏置电压会变化多少？

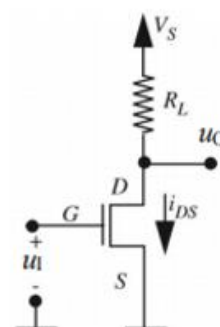


图 12.14

$$(1) u_o = V_s - i_{Ds} R_L$$

$$= V_s - \frac{K}{2} (u_{GS} - V_T)^2 R_L$$

$$= V_s - \frac{K}{2} (u_I - V_T)^2 R_L$$

$$I_{Ds} = \frac{K}{2} (u_I - V_T)^2 R_L$$

$$(2) \because u_I = U_I + u_i$$

$$i_D = \frac{K}{2} [(U_I + u_i) - V_T]^2$$

$$\approx \frac{K}{2} (U_I - V_T)^2 + K(U_I - V_T)u_i$$

$$u_o = V_s - i_D R_L$$

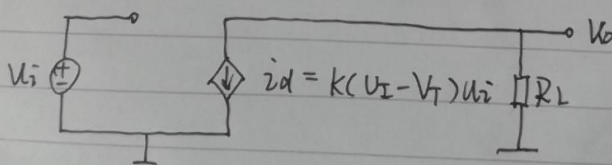
$$= V_s - \frac{K}{2} (U_I - V_T)^2 R_L - K(U_I - V_T)u_i R_L$$

$$= U_o + u_o$$

$$\therefore u_o = -K(U_I - V_T)u_i R_L$$

$$\therefore A = \frac{u_o}{u_i} = -K(U_I - V_T)R_L$$

(3) SCS 模型小信号等效电路



$$(4) A = u_o/u_i = \frac{i_d R_L}{u_i} = -K(U_I - V_T)R_L$$

(5) 若要A增加一倍, R_L 需增加一倍

$$\text{此时 } u_o' = V_s - \frac{K}{2} (u_I - V_T)^2 \cdot 2R_L$$

$$\Delta u_o = u_o' - u_o$$

$$= -\frac{K}{2} (u_I - V_T)^2 R_L$$

$$(6) \text{ 令 } 2A = -K(u_I' - V_T)R_L$$

$$\text{则 } u_I' = V_T - \frac{2A}{KR_L}$$

$$u_o' = V_s - \frac{K}{2} (u_I' - V_T)^2 R_L$$

$$= V_s - \frac{K}{2} \left(\frac{2A}{KR_L} \right)^2 R_L$$

$$= V_s - \frac{2A^2}{KR_L}$$

$$\Delta u = u_o' - u_o$$

$$= V_s - \frac{2A^2}{KR_L} - \left[V_s - \frac{K}{2} (u_I - V_T)^2 R_L \right]$$

$$= \frac{K}{2} (u_I - V_T)^2 R_L - \frac{2A^2}{KR_L}$$

11、电路如图 12.15 所示，MOS 管的 $V_T = 0.5V$ ， $K = 1mA/V^2$ ， $u_i = 0.06\cos\omega t V$ 。

- (1) 试求 ab 端单口网络 N1 的戴维南等效电路，画出等效电路图（直流+交流）。
- (2) 画出该电路的小信号等效模型，并计算相应参数。
- (3) 求小信号输出电压 u_o 。
- (4) 求小信号模型下 cd 端单口网络 N2 的戴维南等效电路，画出等效电路图。

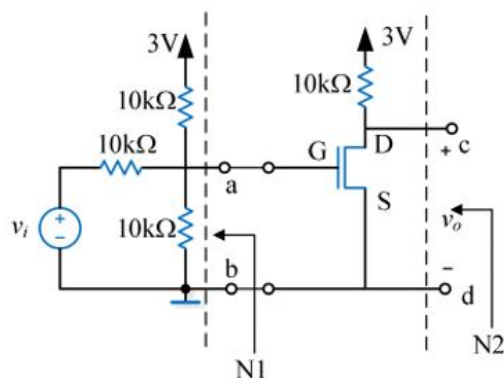


图 12.15

(1) $u_o = 3 \times \frac{1}{3} + v_i \times \frac{1}{3}$
 $= (1 + 0.02 \cos \omega t) V$
 $R_o = \frac{10}{3} \Omega$
 ab 戴维南等效电路为

(2) 小信号等效模型为

(3) $u_o = -5 \times 10^{-4} u_i = -10^{-5} \cos(\omega t) V$

(4) cd 戴维南等效电路为