

【解析】

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = 4 \times \left(1 - \frac{-1}{-2}\right)^2 = 1(\text{mA}), \quad g_m = -\frac{2}{-2} \sqrt{1 \times 4} = 2(\text{mA/V})$$

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D = 10 - 1 \times 5 = 5\text{V} \Rightarrow \text{工作點}(I_D, V_{DS}) = (1\text{mA}, 5\text{V})$$

$$A = \frac{v_o}{v_{gs}} = -g_m R_D = -2 \times 5 = -10$$

輸出擺幅之下限被截止所限制，即

$$V_D + A v_{gs} \leq V_{DD} \Rightarrow 5 + (-10)v_{gs} \leq 10$$

$$\Rightarrow v_{gs} \geq -0.5(\text{V})$$

上限為避免進入三極區，即：

$$V_{GS} + v_{gs} - (V_D + A v_{gs}) \leq V_P \Rightarrow (-1 + v_{gs}) - (5 - 10v_{gs}) \leq -2$$

$$\Rightarrow v_{gs} \leq \frac{4}{11} = 0.36(\text{V})$$

取0.36V為最大輸入訊號擺幅。

6-2 FET小訊號模型分析

若靜態工作點操作在夾止區的中間，則將小訊號 v_{gs} 加在直流電源 V_{GS} 上，瞬時工作點將仍維持在夾止區內。只要 v_{gs} 的訊號足夠小，我們將可利用一階近似的方式來分析小訊號現象，進而求得小訊號模型。

一、JFET的轉移電導

將圖6.5的JFET偏壓於夾止區 ($|v_{GD}| \geq |V_p|$)，則：

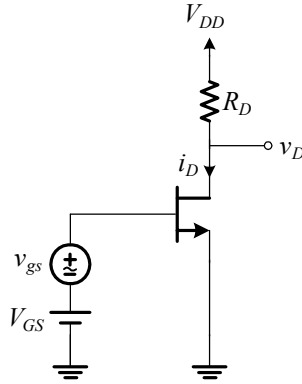


圖6.5 JFET放大器

$$\begin{aligned}
 i_D &= I_{DSS} \left(1 - \frac{v_{GS}}{V_p}\right)^2 = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p} - \frac{v_{gs}}{V_p}\right)^2 \\
 &= I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2 - 2I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right) \left(\frac{v_{gs}}{V_p}\right) + I_{DSS} \left(\frac{v_{gs}}{V_p}\right)^2 \\
 &= I_D - \frac{2I_{DSS}}{V_p} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right) v_{gs} + I_{DSS} \left(\frac{v_{gs}}{V_p}\right)^2 \dots\dots\dots (6.7)
 \end{aligned}$$

若 $\left|\frac{v_{gs}}{V_p}\right| \ll 2\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)$ ，則(6.7)可近似為：

$$\begin{aligned}
 i_D &\approx I_D - \frac{2I_{DSS}}{V_p} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right) v_{gs} \\
 \Rightarrow i_d &= -\frac{2I_{DSS}}{V_p} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right) v_{gs} \dots\dots\dots (6.8)
 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow g_m = \frac{i_d}{v_{gs}} = \frac{2I_{DSS}}{-V_p} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right) \dots\dots\dots (6.9)$$

由於不論JFET為 n 通道或 p 通道，式(6.9)的 g_m 均為正值，因此， g_m 可表示為：

6-22 微電子學

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right) \dots\dots\dots (6.10)$$

$$\text{或： } g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|} \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} = \frac{2}{|V_p|} \sqrt{I_D \cdot I_{DSS}} \dots\dots\dots (6.11)$$

當 $V_{GS} = 0$ 時， $g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|} = g_{m0}$ ，

其中： g_{m0} 為 g_m 的最大值。

g_m 亦可由圖6.6了解： $g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right|_Q$

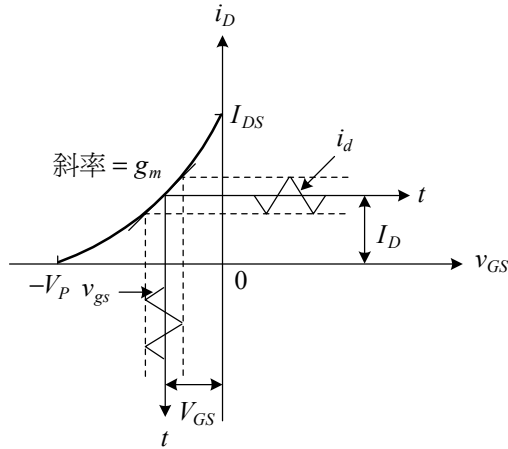


圖6.6 JFET之 g_m 值的圖解表示

圖6.5放大器的電壓增益可求得如下：

$$v_D = V_{DD} - i_D R_D = V_{DD} - I_D R_D - i_d R_D$$

$$\Rightarrow v_d = -i_d R_D = -(g_m R_D) v_{gs} \dots\dots\dots (6.12)$$

$$\Rightarrow \frac{v_d}{v_{gs}} = -g_m R_D \dots\dots\dots (6.13)$$

二、增強型MOSFET的轉移電導

$$i_D = K(v_{GS} - V_t)^2 = K(V_{GS} + v_{gs} - V_t)^2$$

$$= K(V_{GS} - V_t)^2 + 2K(V_{GS} - V_t)v_{gs} + K v_{gs}^2 \dots\dots\dots (6.14)$$


若 $v_{gs} \ll 2(V_{GS} - V_t)$ ，則(6.14)可近似為

$$i_D \approx K(V_{GS} - V_t)^2 + 2K(V_{GS} - V_t)v_{gs}$$

$$\Rightarrow i_d = 2K(V_{GS} - V_t)v_{gs} \dots\dots\dots (6.15)$$

$$\Rightarrow g_m = \frac{i_d}{v_{gs}} = 2K(V_{GS} - V_t) = 2K\sqrt{\frac{I_D}{K}} = 2\sqrt{KI_D}$$

$$= \frac{2I_D}{V_{GS} - V_t} \dots\dots\dots (6.16)$$


 觀念思考

BJT的 g_m 與幾何尺寸有關嗎？FET呢？

▶▶BJT 的 $g_m = \frac{I_C}{V_T}$ ，與零件的幾何尺寸無關。MOSFET 的

$$g_m = 2\sqrt{KI_D} = \sqrt{2\mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right) I_D}$$

，與通道的尺寸有關。

.....Electronics 

三、FET之小訊號模型

小信號模型及參數值：

1. MOSFET：

(1)低頻一階模型：

在sat區工作，由 $i_d = g_m v_{gs}$ 及 $i_g = 0$ 所建構之等效模型。如圖6.7所示。

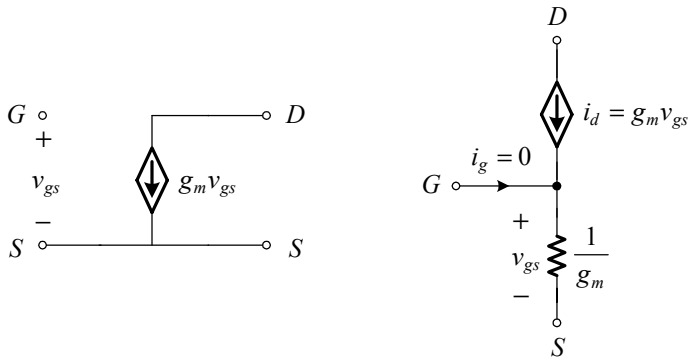


圖6.7 一階模型