

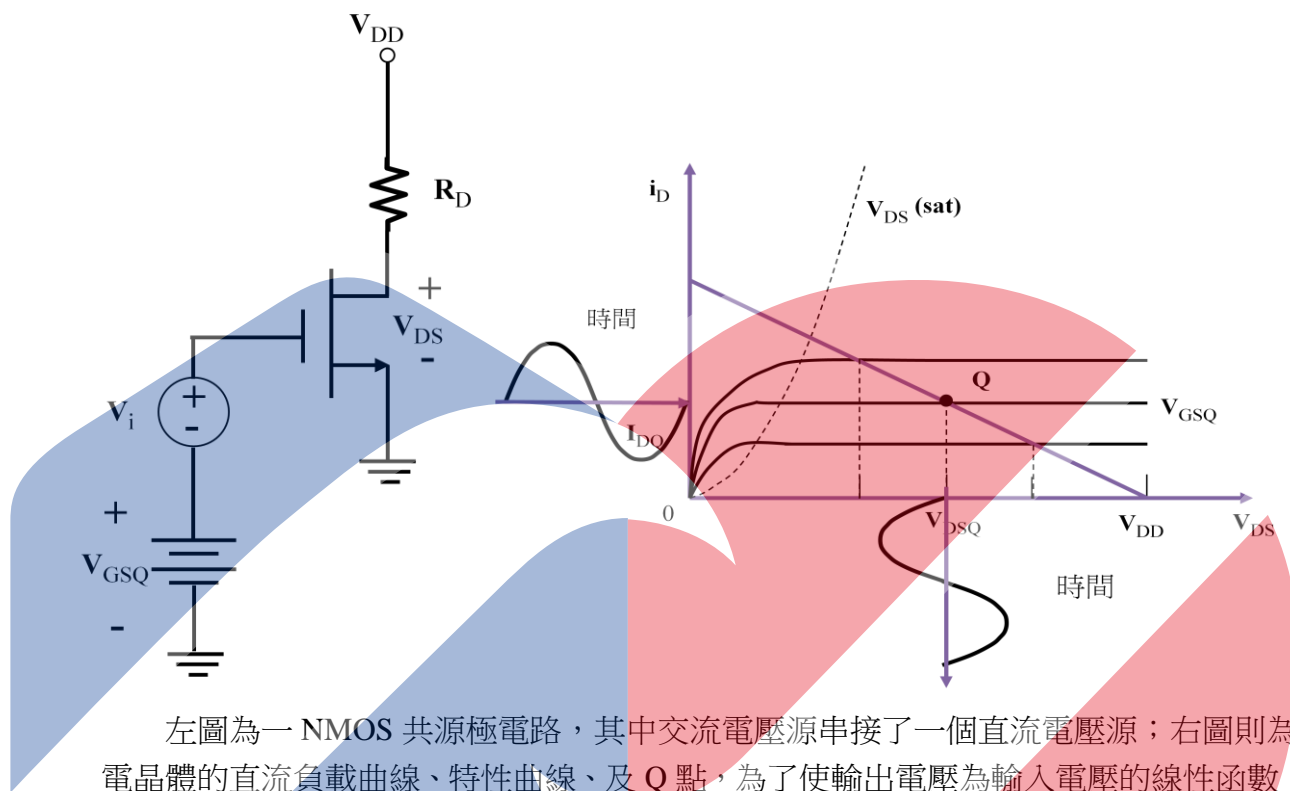
**Chapter 4. 基本場效電晶
體(FET)放大器(Basic FET
Amplifiers)**

4.1 MOSFET 放大器

南台科技大學
Southern Taiwan University

4.1 MOSFET 放大器

1. 分析、負載曲線及小訊號參數



左圖為一 NMOS 共源極電路，其中交流電壓源串接了一個直流電壓源；右圖則為電晶體的直流負載曲線、特性曲線、及 Q 點，為了使輸出電壓為輸入電壓的線性函數，電晶體必須偏壓在飽和區。

由下列公式可推導出 g_m 、 r_o 兩個小訊號分析時所需要的重要參數：

$$V_{GS} = V_{GSQ} + v_i = V_{GSQ} + v_{gs} \quad \text{--- ①}$$

$$V_{GS} \text{ 偏壓在 SAT 時, } I_D = k_n (V_{GS} - V_{TN})^2 \quad \text{--- ②}$$

①代入②：

$$i_D = k_n (V_{GSQ} + v_{gs} - V_{TN})^2 = k_n [(V_{GSQ} - V_{TN}) + v_{gs}]^2$$

$$= k_n [(V_{GSQ} - V_{TN})^2 + 2(V_{GSQ} - V_{TN})v_{gs} + v_{gs}^2]$$

$\because v_{gs} \ll 2(V_{GSQ} - V_{TN})$ 省略 v_{gs}^2 (因為平方項會使輸出電壓產生不必要的諧波或非線性失真，故此要求)

$$\therefore i_D = I_D + i_d \cong k_n [(V_{GSQ} - V_{TN})^2 + 2(V_{GSQ} - V_{TN})v_{gs}]$$

$$I_D = k_n [(V_{GSQ} - V_{TN})^2], \quad i_d = 2(V_{GSQ} - V_{TN})v_{gs} \quad \text{--- ③}$$

$$\therefore I_D = k_n (V_{GS} - V_{TN})^2$$

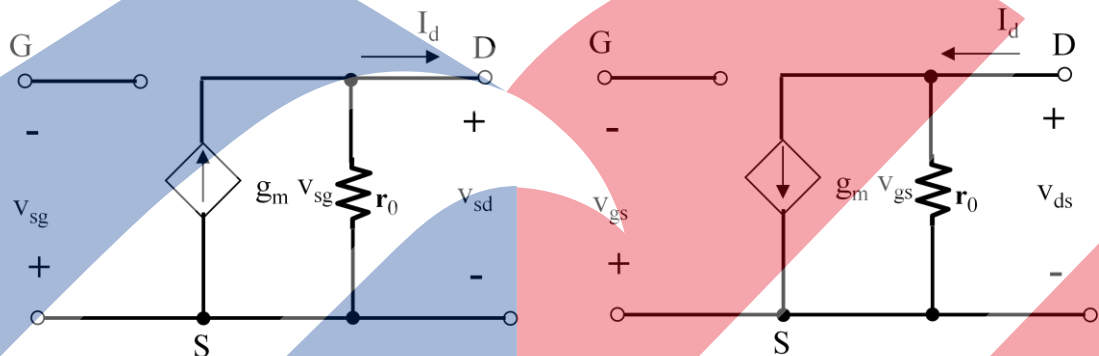
$$\therefore \sqrt{k_n I_D} = k_n (V_{GS} - V_{TN})^2 \text{ 代入 } \textcircled{3}$$

$$\text{可得: } i_d = 2\sqrt{k_n I_D} v_{GS} \rightarrow \mathbf{g_m} = \frac{i_d}{v_{GS}} = 2\sqrt{k_n I_D}$$

當電晶體工作於 SAT 時，我們可以將有限的輸出阻抗考慮進去，此效應如同第三章所提到的通道長度調變現象，此時 $I_D = k_n [(V_{GS} - V_{TN})^2 (1 + \lambda V_{DS})]$ 需做修正，

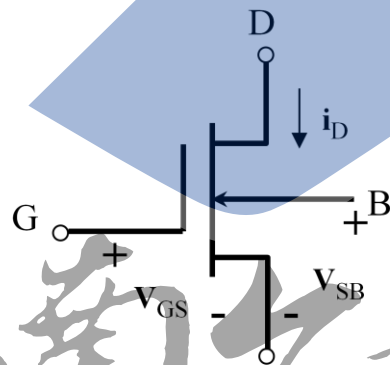
λ 為通道長度調變係數， $r_o = \left(\frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}}\right)^{-1}$ ，可得 $r_o = (\lambda I_D)^{-1}$ 。

2. 小訊號等效電路



左圖為 P 通道電晶體之小訊號等效電路；右圖為 N 通道電晶體之小訊號等效電路

3. 本體效應的模型



四端 NMOS 元件

如同第三張所提到的本體效應，當 MOSFET 的本體或基板沒有接至源極時，便會產生本體效應，此時 $V_{TN} = V_{TN0} + \gamma [\sqrt{2\phi_f + V_{SB}} - \sqrt{2\phi_f}]$ 需做修正， γ 為本體效應參數， ϕ_f 為半導體參數通常為 0.35V。

因 V_{SB} 具有交流成份，因此被誘發的門檻電壓也會具有交流成份，這使得 I_D 也具有交流成份，因此 g_m 需被重新定義為

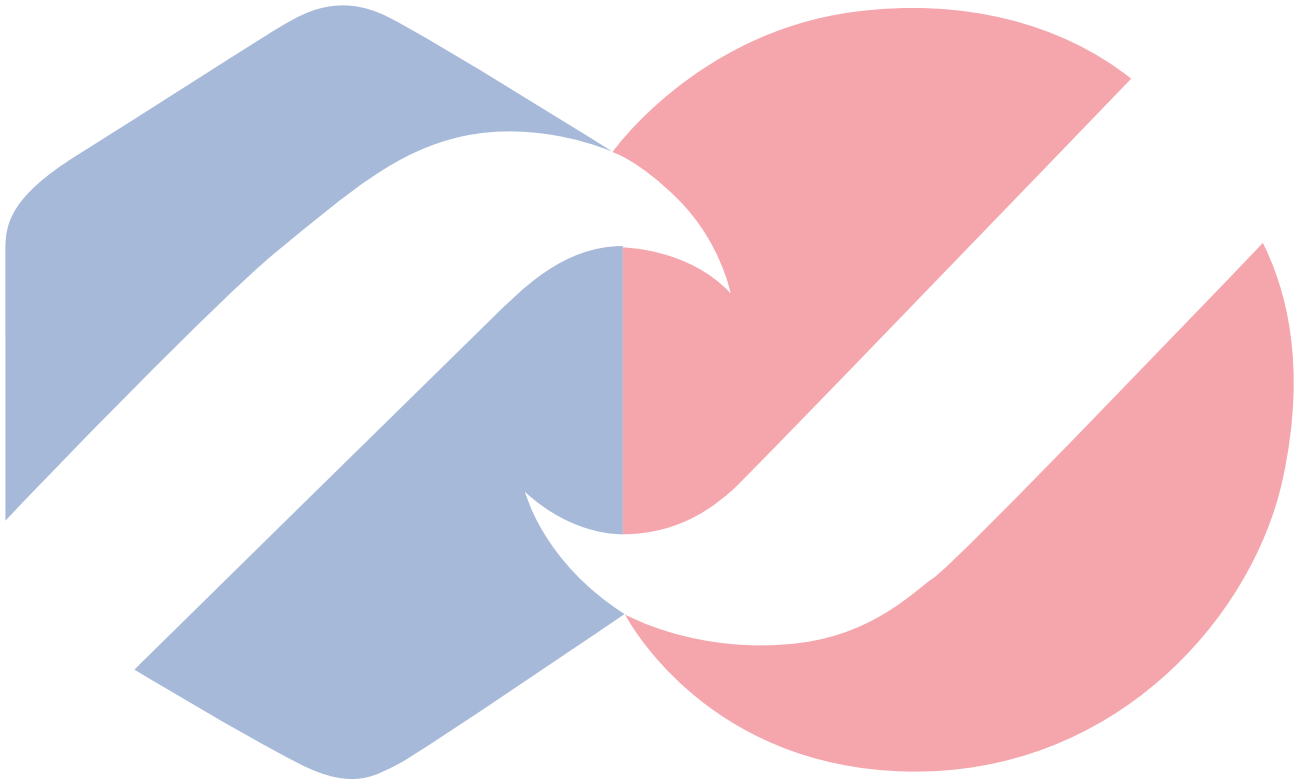
$$g_{mb} = \frac{\partial i}{\partial v_{BS}} = -\frac{\partial i_D}{\partial v_{SB}} = -\left(\frac{\partial i_D}{\partial V_{TN}}\right) \left(\frac{\partial V_{TN}}{\partial v_{SB}}\right) - \textcircled{1}$$

$$\frac{\partial i_D}{\partial V_{TN}} = -2k_n (V_{GS} - V_{TN}) = -g_m - \textcircled{2}$$

$$\therefore g_m = \frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}} = 2k_n (V_{GS} - V_{TN})$$

$$\frac{\partial V_{TN}}{\partial v_{SB}} = \frac{\partial[V_{TNO} + \gamma(\sqrt{2\phi_f + v_{SB}} - \sqrt{2\phi_f})]}{2v_{SB}} = \gamma \frac{1}{2} (2\phi_f + v_{SB})^{-\frac{1}{2}} = \frac{\gamma}{2\sqrt{2\phi_f + v_{SB}}} = \eta \quad \text{③}$$

②③代入①可得 $g_{mb} = -(-g_m) \eta$ ，If $\phi_f = 0.35$ 、 $\eta = 0.35V^{-\frac{1}{2}}$ ，得 $\eta = 0.23$ ($0 < \eta < 0.23$)



南台科技大學
Southern Taiwan University