

## 場效電晶體

### 重點整理

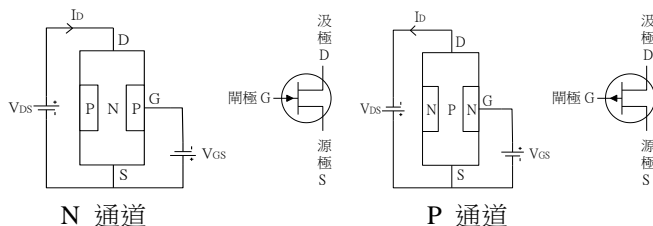
#### 1. 場效電晶體(FET)

##### (1) 接腳

三端點元件，源極(Source)多數載子流入通道的端點，汲極(Drain)多數載子流出通道的端點，閘極(Gate)利用閘極電場改變通道的寬度

##### (2) JFET

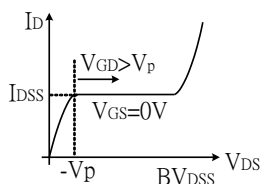
###### a. 構造



###### b. 工作原理

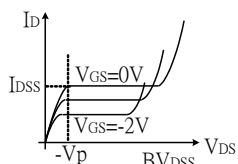
###### b.1 $V_{GS}=0$

- i.  $V_{DS}$  很小時，空乏區寬度相同， $I_D$  和  $V_{DS}$  成線性變化。
- ii.  $V_{DS}$  加大，靠近汲極端逆偏較大，空乏區較大，當  $V_{DS}=V_P$  (夾止電壓 Pinch-off Voltage)，靠近汲極夾止， $I_D$  不隨  $V_{DS}$  增加而改變，而是維持一定值，此時稱為夾止區， $I_D=I_{DSS}$ 。
- iii.  $V_{DS}$  繼續加大，FET 進入崩潰區。
- iv. 特性曲線

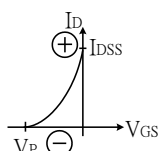


###### b.2 $V_{GS} \neq 0$

- i.  $V_{GS} > 0$ ，閘極失去控制
- ii.  $V_{GS} < 0$ ，若  $|V_{GS}|$  增加，更容易發生夾止、崩潰，在相同  $V_{DS}$  情形下， $I_D$  變小，在歐姆區可用不同  $V_{GS}$  得不同  $R_{DS}$ ，可用於 AGC (自動增益控制)
- iii.  $V_{DS}$  不大時，當  $V_{DS} > V_P$ ，通道完全被空乏區佔據， $I_D=0$
- iv. 特性曲線



###### c. 轉移特性曲線

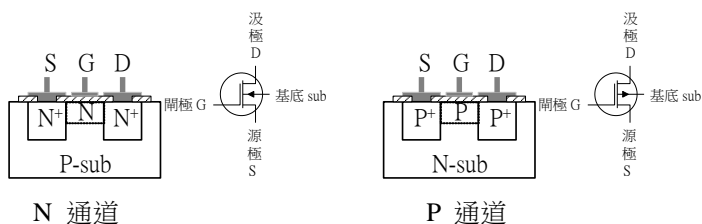


$$I_{DS} = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 \quad g_m = \frac{-2I_{DSS}}{V_P} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) = g_{m0} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)$$

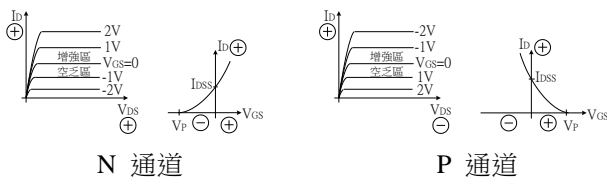
(3) MOSFET

a. DMOSFET (空乏型)

a.1 構造

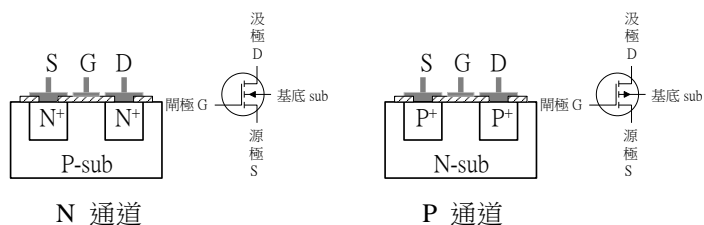


a.2 工作原理及轉移特性曲線

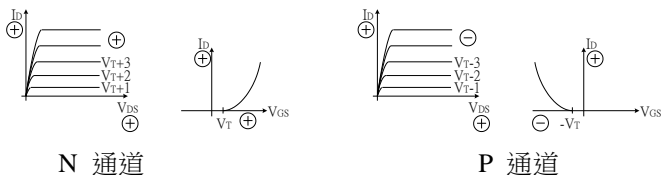


b. EMOSFET (增強型)

b.1 構造

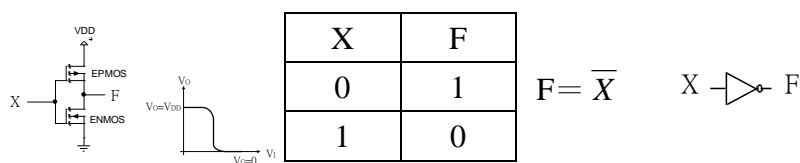


b.2 工作原理及轉移特性曲線

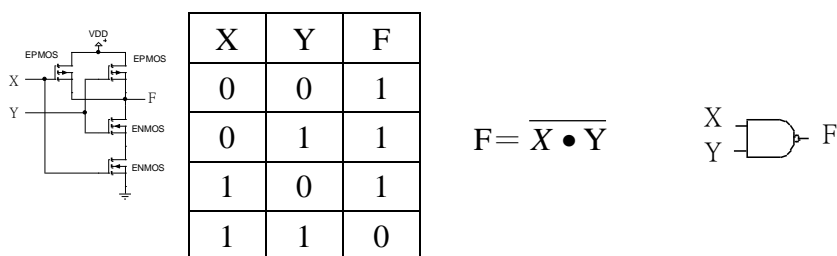


(4) CMOS(本身為一反相器)

a. 構造、工作原理及轉移特性曲線



b. NAND (反及閘)



	JFET(N)	JFET(P)	EMOS(N)	EMOS(P)	DMOS(N)	DMOS(P)
構造						
偏壓						
特性方程式	$I_{DS} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$ $g_m = \frac{-2I_{DSS}}{V_P} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)$		$I_{DS} = K(V_{GS} - V_T)^2$ $g_m = 2K(V_{GS} - V_T)$		$I_{DS} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$ $g_m = \frac{-2I_{DSS}}{V_P} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)$	
轉移特性曲線						
輸出特性曲線						

(2) FET 的方程式(夾止區、定電流區、飽和區)

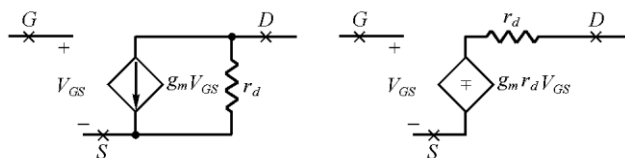
種類	JFET 和 DMOS	EMOS
汲源極電流 $I_{DS}$ ( $V_{GS}$ 與 $I_{DS}$ 的關係)	$I_{DS} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$	$I_{DS} = K(V_{GS} - V_T)^2$
互導 $g_m$ ( $V_{GS}$ 與 $g_m$ 的關係)	$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)$	$g_m = 2K(V_{GS} - V_T)$
工作區域判斷	<p>N 型, <math>V_{GD} &lt; V_P</math> 或 <math>V_{GD} &lt; V_t</math> 在飽和區、定電流區、夾止區; <math>V_{GD} &gt; V_P</math> 或 <math>V_{GD} &gt; V_t</math> 在三極體區、電壓控制電阻區、線性區、歐姆區、非飽和區。</p> <p>P 型, <math>V_{GD} &gt; V_P</math> 或 <math>V_{GD} &gt; V_t</math> 在飽和區、定電流區、夾止區; <math>V_{GD} &lt; V_P</math> 或 <math>V_{GD} &lt; V_t</math> 在三極體區、電壓控制電阻區、線性區、歐姆區、非飽和區。</p> <p>三極體區方程式 <math>I_D = \frac{I_{DSS}}{V_P^2} [2 \cdot (V_{GS} - V_P) \cdot V_{DS} - V_{DS}^2]</math></p> <p>三極體區方程式 <math>I_D = \frac{1}{2} \cdot \mu_n \cdot C_o \cdot \left(\frac{W}{L}\right) \times [2 \cdot (V_{GS} - V_P) \cdot V_{DS} - V_{DS}^2]</math></p>	
註	<p>1. 夾止電壓 <math>V_P</math> : 當 <math>V_{DS}</math> 很小, 增加 <math> V_{GS} </math> 使 <math>I_{DS} = 0</math> 時, 則此 <math>V_{GS}</math> 即為 <math>V_P</math>。</p> <p>2. 汲源極飽和電流 <math>I_{DSS}</math> : 當 <math>V_{GS} = 0</math>, 增加 <math>V_{DS}</math> 使 <math>I_{DS} = I_{DSS}</math> 時, 則此 <math>I_{DS}</math> 即為 <math>I_{DSS}</math>。</p>	

	<p>3.互導 <math>g_{m0}</math> : 當 <math>V_{GS} = 0</math> 時的 <math>g_m</math> , 又 <math>g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{ V_P }</math> 。</p> <p>4.臨界電壓 <math>V_T</math> : 與元件材料有關。常數 <math>K</math> : 一般為 <math>0.3mA/V^2</math> 。</p>
--	--

(3) 偏壓電路

	$\begin{cases} V_{GS} = -V_{GG} \\ I_D = I_{DSS} \times \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \end{cases}$	
	$\begin{cases} V_{GS} + I_D \times R_S = 0 \\ I_D = I_{DSS} \times \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \end{cases}$	
	$\begin{cases} V_{GG} = V_{GS} + I_D \times R_S \\ I_D = I_{DSS} \times \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \end{cases}$	
	$\begin{cases} V_{GG} = V_{GS} + I_D \times R_S \\ I_D = I_{DSS} \times \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \\ V_{GG} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{DD} \end{cases}$	
	$\begin{cases} V_{DD} = I_D \times R_D + V_{GS} \\ I_D = K \times (V_{GS} - V_T)^2 \end{cases}$	
	$\begin{cases} V_{GS} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times (V_{DD} - I_D \times R_D) \\ I_D = K \times (V_{GS} - V_T)^2 \end{cases}$	
	$\begin{cases} V_{GS} = 0 \\ I_D = I_{DSS} \times \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \end{cases}$	<p>零偏壓(僅有 DMOS)</p>

(4) 等效電路



(5) 參數討論

a.  $I_{DSS}$  :  $V_{GS}=0$  時之洩極飽和電流

b. 互導  $g_m = \left. \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \right|_{\Delta V_{DS}=0}$

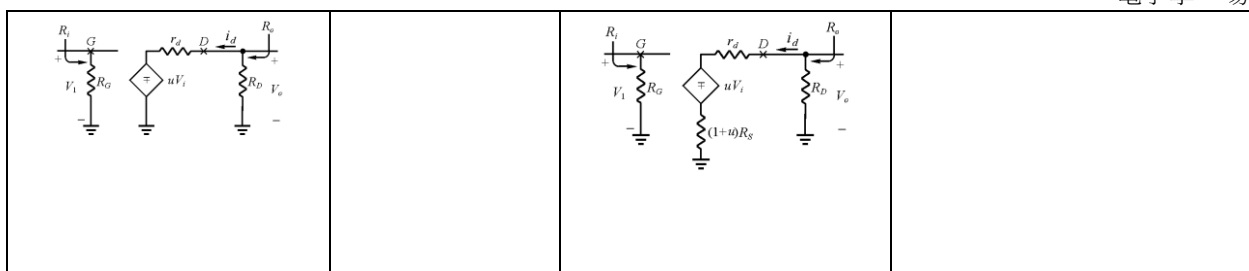
c. 洩極電阻  $r_d = \left. \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D} \right|_{\Delta V_{GS}=0}$

d. 放大因數  $\mu = \left. \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta V_{GS}} \right|_{\Delta I_D=0} = g_m \cdot r_d$

2. 場效電晶體的基本放大電路

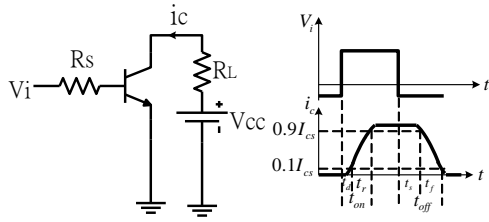
共源極(Common Source)CS :

無源極電阻		有源極電阻	
<p>交流等效(忽略<math>r_d</math>)</p> $V_o = -g_m \cdot V_{GS} \cdot R_D, V_i = V_{GS}$ $A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-g_m \cdot V_{GS} \cdot R_D}{V_{GS}} = -g_m \cdot R_D$ $R_i = R_G \parallel R_{GS} \cong R_G, R_o = R_D$ $A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{R_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_i} \times \frac{R_i}{R_o} = A_v \times \frac{R_i}{R_o}$ $g_m, r_d \text{ 法 } A_v = \frac{-(R_D \parallel r_d)}{\frac{1}{g_m}}$ $R_i = R_G \parallel R_{GS} \cong R_G, R_o = R_D \parallel r_d$		<p>交流等效(忽略<math>r_d</math>)</p> $V_i = V_{GS} + i_d \cdot R_S = V_{GS} + (g_m \cdot V_{GS}) \cdot R_S = (1 + g_m \cdot R_S) \cdot V_{GS}$ $V_o = -i_d \cdot R_D = -g_m \cdot V_{GS} \cdot R_D$ $A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-g_m \cdot V_{GS} \cdot R_D}{(1 + g_m \cdot R_S) \cdot V_{GS}} = \frac{-g_m \cdot R_D}{1 + g_m \cdot R_S}$ $R_i = R_G \parallel R_{GS} \cong R_G, R_o = R_D$ $g_m, r_d \text{ 法 } A_v = \frac{-\mu \cdot R_D}{R_D + r_d + (1 + \mu) \cdot R_S}$ $R_i = R_G \parallel R_{GS} \cong R_G, R_o = R_D \parallel (1 + \mu) \cdot R_S$	
<p>反射法 <math>S \rightarrow D</math></p> $i_d \cdot R_D + r_d \cdot (i_d - g_m \cdot V_{GS}) + i_d \cdot R_S = 0$ $V_{GS} = V_i - i_d \cdot R_S$ $i_d \cdot R_D + r_d \cdot [i_d - g_m \cdot (V_i - i_d \cdot R_S)] + i_d \cdot R_S = 0$ $i_d \cdot [R_D + r_d + (1 + g_m \cdot r_d) \cdot R_S] = g_m \cdot r_d \cdot V_i$ $\therefore i_d = \frac{g_m \cdot r_d \cdot V_i}{[R_D + r_d + (1 + g_m \cdot r_d) \cdot R_S]}$ $R_i = R_G, R_o = R_D \parallel [r_d + (1 + \mu) \cdot R_S]$ $A_v = \frac{-\mu \cdot R_D}{R_D + r_d + (1 + \mu) \cdot R_S}$		<p>反射法 <math>S \rightarrow D</math></p> $i_d \cdot R_D + r_d \cdot (i_d - g_m \cdot V_{GS}) + i_d \cdot R_S = 0$ $V_{GS} = V_i - i_d \cdot R_S$ $i_d \cdot R_D + r_d \cdot [i_d - g_m \cdot (V_i - i_d \cdot R_S)] + i_d \cdot R_S = 0$ $i_d \cdot [R_D + r_d + (1 + g_m \cdot r_d) \cdot R_S] = g_m \cdot r_d \cdot V_i$ $\therefore i_d = \frac{g_m \cdot r_d \cdot V_i}{[R_D + r_d + (1 + g_m \cdot r_d) \cdot R_S]}$ $R_i = R_G, R_o = R_D \parallel [r_d + (1 + \mu) \cdot R_S]$ $V_o = -i_d \cdot R_D = \frac{-\mu \cdot R_D \cdot V_i}{[R_D + r_d + (1 + \mu) \cdot R_S]}$ $A_v = \frac{-\mu \cdot R_D}{[R_D + r_d + (1 + \mu) \cdot R_S]}$	



共汲極(Common Drain)CD :	共閘極(Common Gate)CG :
<p>交流等效(忽略<math>r_d</math>)</p> $V_i = V_{GS} + V_o = V_{GS} + g_m \cdot V_{GS} \cdot R_S = (1 + g_m \cdot R_S) \cdot V_{GS}$ $V_o = g_m \cdot V_{GS} \cdot R_S, V_{GS} = V_i - V_o$ $A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{g_m \cdot R_S}{1 + g_m \cdot R_S}$ $R_i = R_G // R_{GS} \cong R_G, R_o = R_S // \frac{1}{g_m}$ $g_m, r_d \text{法} A_v = \frac{\mu \cdot R_S}{[R_D + r_d + (1 + \mu) \cdot R_S]}$ $R_i = R_G // R_{GS} \cong R_G, R_o = R_S // \frac{r_d + R_D}{1 + \mu}$	<p>交流等效(忽略<math>r_d</math>)</p> $A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-g_m \cdot V_{SG} \cdot R_D}{V_{SG}} = g_m \cdot R_D$ $R_i = R_S // \frac{1}{g_m}, R_o = R_D$ $g_m, r_d \text{法} A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{(1 + \mu) \cdot R_D}{R_D + r_d}$ $R_i = \frac{R_D + r_d}{1 + \mu} // R_S, R_o = R_D // r_d$
<p>反射法<math>D \rightarrow S</math></p> $i_d \cdot R_D + r_d \cdot (i_d - g_m \cdot V_{GS}) + i_d \cdot R_S = 0$ $V_{GS} = V_i - i_d \cdot R_S$ $i_d \cdot R_D + r_d \cdot [i_d - g_m \cdot (V_i - i_d \cdot R_S)] + i_d \cdot R_S = 0$ $i_d \cdot [R_D + r_d + (1 + g_m \cdot r_d) \cdot R_S] = g_m \cdot r_d \cdot V_i$ $\therefore i_d = \frac{g_m \cdot r_d \cdot V_i}{[R_D + r_d + (1 + g_m \cdot r_d) \cdot R_S]}$ $= \frac{\mu \cdot V_i}{1 + \mu} \cdot \frac{r_d + R_D + R_S}{r_d + R_D + R_S}$	<p>反射法<math>S \rightarrow D</math></p> $i_d \cdot R_D + r_d \cdot (i_d - g_m \cdot V_{GS}) + V_i = 0$ $V_{GS} = -V_{SG} = -V_i$ $\therefore i_d = \frac{-(1 + g_m \cdot r_d) \cdot V_i}{R_D + r_d} = \frac{-(1 + \mu) \cdot V_i}{R_D + r_d}$ $R_i = \frac{R_D + r_d}{1 + \mu} // R_S$ $R_o = r_d, R_o = R_D // R_o = r_d // R_D$ $V_o = -i_d \cdot R_D = \frac{(1 + \mu) \cdot R_D \cdot V_i}{R_D + r_d}$ $A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{(1 + \mu) \cdot R_D}{R_D + r_d}$
$R_i = R_G, R_o = R_S // \left[ \frac{r_d + R_D}{1 + \mu} \right]$ $V_o = i_d \cdot R_S = \frac{\mu \cdot V_i \cdot R_S}{r_d + R_D + R_S}$ $A_v = \frac{\mu \cdot R_S}{1 + \mu} \cdot \frac{r_d + R_D + R_S}{r_d + R_D + R_S}$	

※ 反射法:  $\mu V_i$  及  $r_d$  在 D 端,  $S \rightarrow D$  乘  $(1 + \mu)$ ,  $D \rightarrow S$  除  $(1 + \mu)$ ,  $V_i$  為閘極至地電位,  $\mu = g_m \times r_d$   
 ※ 雙極性電晶體之交換時間



- $t_d$  : 延遲時間 (delay time), 0~10%
- $t_r$  : 上昇時間 (rise time), 10%~90%
- $t_s$  : 儲存時間 (storage time), 100%~90%
- $t_f$  : 下降時間 (fall time), 90%~10%
- $t_{on}$  : 導通時間 (turn on time),  $t_d + t_r$
- $t_{off}$  : 關閉時間 (turn off time),  $t_s + t_f$

※輸入阻抗：MOSFET ( $10^{15} \sim 10^{12}$ ) > JFET ( $10^{12} \sim 10^5$ ) > OPA ( $10^{10} \sim 10^7$ ) > 靴帶式 > 達靈頓 > 射極隨耦器

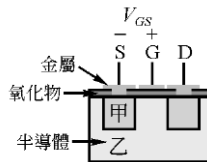
補充：米勒定理

	$I_1 = Y \times (V_1 - V_2) = Y \cdot V_1 \left(1 - \frac{V_2}{V_1}\right) \Rightarrow I_1 = Y_1 \cdot V_1$ $\Rightarrow Y_1 = Y \cdot \left(1 - \frac{V_2}{V_1}\right) \Rightarrow Z_1 = \frac{Z}{1 - A_v}$ $I_2 = Y \times (V_2 - V_1) = Y \cdot V_2 \left(1 - \frac{V_1}{V_2}\right) \Rightarrow I_2 = Y_2 \cdot V_2$ $\Rightarrow Y_2 = Y \cdot \left(1 - \frac{V_1}{V_2}\right) \Rightarrow Z_2 = \frac{Z}{1 - \frac{1}{A_v}}$	如右圖所示電路，試問何者電阻是利用米勒 (Miller) 效應來提升輸入阻抗？ (A) $R_1$ (B) $R_2$ (C) $R_3$ (D) $R_4$ 。



## 歷屆試題精選

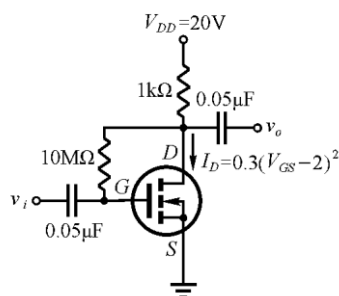
- ( ) 1. 下列金氧半場效電晶體(MOSFET)元件之電路符號，何者不是 N 通道型式？【93 四技二專】
- (A) (B) (C) (D)
- ( ) 2. MOSFET 元件之結構如圖所示，若此元件為增強型 N 通道 MOSFET，則圖中甲區與乙區分別為何者型式半導體？若要形成通道， $V_{GS}$  之條件為何？ (A) 甲區： $n^+$ 型，乙區：n 型， $V_{GS} > V_T$  (臨界電壓)  $> 0$  (B) 甲區： $n^+$ 型，乙區：p 型， $V_{GS} > V_T$  (臨界電壓)  $< 0$  (C) 甲區： $p^+$ 型，乙區：n 型， $V_{GS} > V_T$  (臨界電壓)  $> 0$  (D) 甲區： $n^+$ 型，乙區：p 型， $V_{GS} > V_T$  (臨界電壓)  $> 0$ 。【93 四技二專】



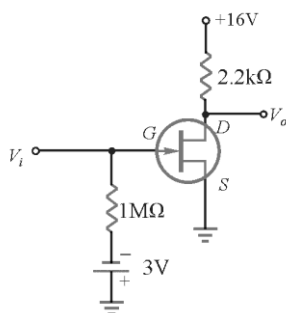
- ( ) 3. 某 N 通道接面型場效應電晶體(JFET)之夾止電壓(pinch-off voltage)  $V_P = -4V$  且源極電壓  $V_S = 0V$ ，則下列何者可工作於飽和區：(A)  $V_G = -5V, V_D = 1V$  (B)  $V_G = -2V, V_D = 1V$  (C)  $V_G = 0V, V_D = 0V$  (D)  $V_G = 0V, V_D = 5V$ 。【92 四技二專】
- ( ) 4. 有一個 P 通道增強型 MOSFET，其臨限電壓  $V_t = -2V$ ，假使其閘極(gate)接地而源極(source)接至  $+5V$ ，欲使此元件操作在飽和區(saturation)，則汲極(drain)之最高電壓為何？ (A) 7V (B) 5V (C) 3V (D) 2V。【91 四技二專】
- ( ) 5. 如下圖，求此 N 通道增強型 MOSFET 的直流偏壓  $V_{DS}$  最接近下列何值？ (A) 1.3V



(B)4.3V (C)8.3V (D)10.3V。【91 四技二專】



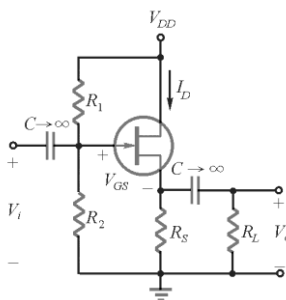
- ( ) 6. 下列敘述何者是錯誤的？ (A)二極體的逆向飽和電流隨著溫度的增加而增加 (B)在  $P$  型半導體中，電洞為少數載子，而自由電子為多數載子 (C)用三用電表可以量出電晶體是屬於  $NPN$  型或  $P$  型 (D)BJT 電晶體是屬於雙極性元件而場效電晶體(FET)是屬於單極性元件 (E)外加逆向偏壓還未加到崩潰電壓之前，FET 空乏區的寬度隨著外加逆向偏壓增加而加大。【89 四技推甄電子】
- ( ) 7. 有關場效應電晶體(FET)之敘述下列何者錯誤？ (A)一般可分成 JFET 及 MOSFET 二類 (B)可分成  $N$  通道及  $P$  通道兩種 (C)MOSFET 又分成空乏型及增強型兩種 (D)輸入阻抗較雙極性電晶體為低。【88 四技電子】
- ( ) 8. 下列那一種元件是單靠一種載子來傳送電流？ (A)FET (B)雙極性電晶體 (C)二極體 (D)SCR。【87 四技電子】
- ( ) 9. 下列敘述何者不正確？ (A)BJT 電晶體為雙極性電晶體 (B)MOSFET 電晶體為單極性電晶體 (C)一般 BJT 電晶體的基極輸入阻抗比 MOSFET 電晶體閘極的輸入阻抗小 (D)MOSFET 電晶體為一種電流控制元件。【88 四技推甄】
- ( ) 10.  $P$  通道場效應電晶體 (FET)之電荷載子為 (A)電子 (B)主載子為電洞、副載子為電子 (C)主載子為電子、副載子為電洞 (D)電洞。【87 電子保甄】
- ( ) 11. 場效應電晶體 (FET)是利用 (A)磁場 (B)電場 (C)電磁場 (D)壓電 之效應控制電流的元件。【82 四技電子】【87 電子保甄】【86 夜二專電子南】【88 南區夜二專電機】【89 南區夜二專電子】
- ( ) 12. 對  $P$  型之 JFET 而言，假設夾止電壓  $V_p = 5V$ ， $V_{SG} = -3V$ ，則當  $V_{SD}$  為下列何者時，此 JFET 會操作在夾止區？ (A)  $-1V$  (B)  $1V$  (C)  $-3V$  (D)  $3V$ 。【86 二技電子學】
- ( ) 13. 某一接面型場效應電晶體(JFET)有  $8mA$  的  $I_{DSS}$  和  $-4V$  的  $V_p$ ，已知汲極電流為  $2mA$ ，則其  $V_{GS}$  等於 (A)  $2V$  (B)  $1V$  (C)  $-1V$  (D)  $-2V$ 。【87 四技電機】
- ( ) 14. 對一接面場效應電晶體(JFET)而言，當其工作在飽和區時之  $i_D$  電流為何？  
 (A)  $i_D = K \cdot (V_{GS} - V_T)^2$  (B)  $i_D = I_S \cdot e^{v_{BE}/\eta V_T}$  (C)  $i_D = I_{DSS} \cdot (1 - \frac{V_{GS}}{V_p})^2$   
 (D)  $i_D = 2K \cdot (V_{GS} - V_T)$ 。【88 四技電子】
- ( ) 15. 如圖所示電路，場效電晶體之  $I_{DSS} = 10$  毫安， $V_p = -4.5$  伏特，則汲極電流為 (A)  $1.11$  毫安 (B)  $10.0$  毫安 (C)  $20.0$  毫安 (D)  $27.77$  毫安。【89 四技保甄電機】



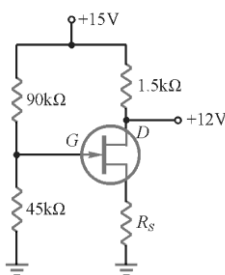
- ( ) 16. 同上題電路，閘極電池從 3 伏特變化為 1.5 伏特，則汲-源電壓為 (A)1.63 伏特 (B)2.75 伏特 (C)4.25 伏特 (D)6.23 伏特。 【89 四技保甄電機】

- ( ) 17. 如圖之電路中，已知接面場效應電晶體的參數為  $I_{DSS} = 10mA$ ， $V_p = -5V$ ， $r_d = 1.25M\Omega$ ，圖中  $V_{DD} = 15V$ ，其他元件值為  $R_1 = 1M\Omega$ ， $R_2 = 150k\Omega$ ， $R_S = 15k\Omega$ 。若  $I_D = 0.4mA$ ，試求  $V_{GS} = ?$  (A) - 5V (B) - 4V (C) - 3V (D) - 6V。

【87 二技電子電路】

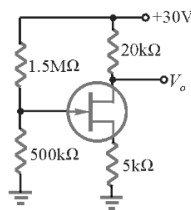


- ( ) 18. 若要圖中的  $V_{GS} = -2V$  且  $V_D = 12V$ ，則  $R_S$  應為 (A)1.82k  $\Omega$  (B)2.5k  $\Omega$  (C)3.5k  $\Omega$  (D)4.6k  $\Omega$ 。【89 四技保甄電機】



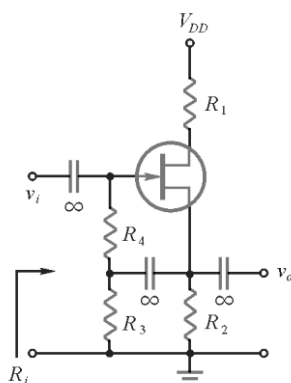
- ( ) 19. N-JFET，設  $I_{DSS} = 12mA$ ， $V_p = -4V$ ，則在  $V_{GS} = -1.5V$  時，該 FET 之互導  $g_m$  為 (A)6.0mA/V (B)3.75mA/V (C)2.5mA/V (D)1.25mA/V (E)無法求出。 【89 四技推甄電機】【89 北區夜二專電機】

- ( ) 20. 如圖所示電路，若  $g_m = 10mA/V$ ， $r_d = 1M\Omega$ ，求放大因數  $\mu$  之值？ (A)10 (B)100 (C)1000 (D)10000。



- ( ) 21. 如圖所示電路，試問何者電阻是利用米勒(Miller)效應來提升輸入阻抗？ (A)  $R_1$  (B)  $R_2$   
(C)  $R_3$  (D)  $R_4$ 。

【90 年四技電子-統一入學測驗】



- ( ) 22. 與雙極性接面電晶體相比，下列何者不是場效應電晶體(FET)的主要優點？ (A)輸入阻抗極高 (B)不易受輻射的影響 (C)操作速度比較快 (D)熱穩定度較佳。

【87 四技電機】【87 南區夜二專電機】

- ( ) 23.  $N$  通道增強型 MOSFET 欲使之導通，則閘極源極間電壓( $V_{GS}$ )應加何種偏壓？ (A)0V  
(B)負電壓 (C)小於臨界電壓 $V_T$ 之正電壓 (D)大於臨界電壓( $V_T$ )之正電壓。

【87 四技電子】

- ( ) 24. 下列對於場效電晶體(FET)的敘述何者是錯誤的？ (A)輸入阻抗相當高，所以閘極(Gate)與源極(Source)間可以說是開路(open) (B)接面場效電晶體(JFET)不需外加電壓即已經有通道存在 (C)所有類型的金氧半場效電晶體(MOSFET)都需外力壓才会有通道存在 (D)P 通道的 MOSFET，其基體會(substrate)是使用 N 型材質 (E)是於電壓控制元件。

【89 四技推甄電子】

- ( ) 25. 當增強型 MOSFET 工作於飽和區時，除了  $V_{GS} \geq V_t$  條件外，下列何者亦為必要條件？  
(A)  $V_{GD} \geq V_{DS} + V_t$  (B)  $V_{DS} \leq V_{GS} - V_t$  (C)  $V_{GD} \leq V_t$  (D)  $V_{DS} = 0V$ 。

【89 二技電子電路】

- ( ) 26. 接面場效電晶體(JFET)用作線性放大器時，汲極電源電壓為 (A)+ $V_{DD}$  (B) -  $V_{DD}$  (C) 零電壓 (D)視 P 或 N 通道而定。  
( ) 27. JFET 作放大元件時，工作於 (A)電阻區 (B)飽和區 (C)截止區 (D)崩潰區。  
( ) 28. JFET 汲、源極間通道的有效寬度隨著  $V_{GS}$  逆向偏壓增加而減小，當  $V_{GS} = V_P$  時通道寬度降為零， $V_P$  稱為 (A)截止電壓 (B)崩潰電壓 (C)峰值反向電壓 (D)夾止電壓。

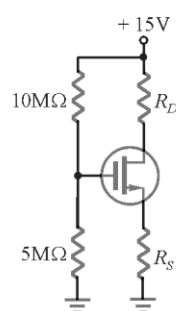
- ( ) 29. 場效應電晶體(FET)的放大因數 $\mu$ 的定義為 (A)  $\frac{\Delta V_{DS}}{\Delta V_{GS}}$  (B)  $-\frac{\Delta V_{DS}}{\Delta V_{GS}}$  (C)  $\frac{\Delta V_{DS}}{\Delta V_{GS}} \Big|_{I_D = K}$   
 (D)  $-\frac{\Delta V_{DS}}{\Delta V_{GS}} \Big|_{I_D = K}$ 。

- ( ) 30. - N 通道增強型 MOSFET 的臨界電壓(threshold voltage) $V_T = 2V$ ，其閘極(gate)之電壓為 3V 且源極(source)接地，則當汲極(drain)之電壓為何時此元件工作在三極管區(triode region)? (A)0.5V (B)1.5V (C)2.5V (D)3.5V。

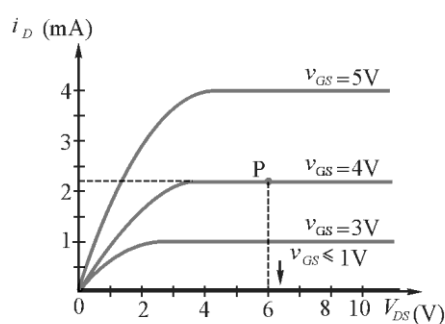
【89 二技電子學】

- ( ) 31. 圖 2 中的金氧半場效電晶體為 N 通道增強型，其  $i_D - v_{DS}$  特性曲線如圖 3 所示。請問此電晶體之臨界電壓(threshold voltage) $V_T$  為 (A) - 1V (B)0V (C)1V (D)2V。

【87 二技電子學】



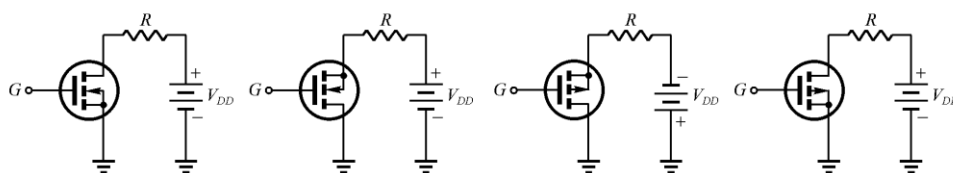
圖一



圖二

- ( ) 32 有一增強型 PMOSFET，其臨界電壓(threshold voltage)為  $-0.2V$ ，若直流汲極電壓  $V_D = 2V$ ，直流源極電壓  $V_S = 5V$ ，直流閘極電壓  $V_G = 1.2V$ ，則該 PMOSFET 處於何種工作區? (A)線性區 (B)飽和區 (C)截止區 (D)逆向工作區。 【90 年二技電子電路-統一一入學測驗】

- ( ) 33. 如圖為四組 MOSFET，其所連接之電池  $V_{DD}$  那一組為正確? (A)(a)組 (B)(b)組 (C)(c)組 (D)(d)組。



(a)組

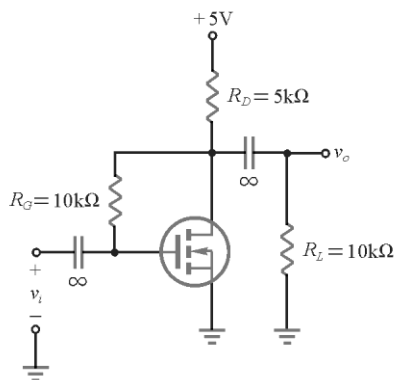
(b)組

(c)組

(d)

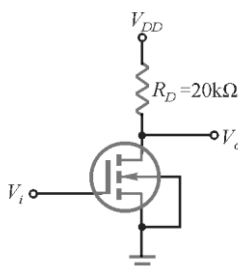
組

- ( ) 34. 如圖所示電路，假設通道 MOSFET 電晶體工作點之  $I_D = 0.6mA$ ，臨界(threshold)電壓  $V_T = 1V$ ，電容值視為無窮大，試求其小訊號電壓增益  $v_o / v_i$  為何? (A) - 10 (B) - 8 (C) - 6 (D) - 4。【90 年四技電子-統一一入學測驗】



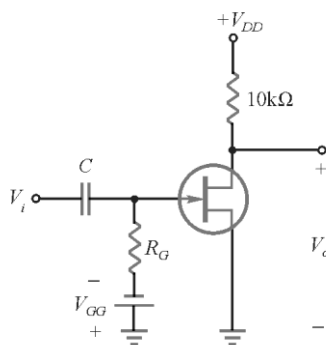
- ( ) 35. 如圖之共源極放大器，設  $g_m = 1\text{mA/V}$ ， $r_d = 20\text{k}\Omega$ ，其電壓增益為何？ (A) - 10 (B) - 20 (C) 10 (D) 20。

【88 四技電子】【89 夜二專中區電子】【89 四技聯招電子】



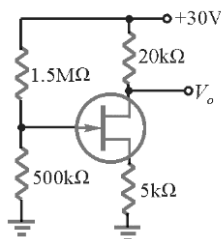
- ( ) 36. 如圖所示為共源極放大器，若場效應電晶體參數  $r_d = 30\text{k}\Omega$ ， $g_m = 2\text{mA/V}$  則此電路的中頻電壓增應  $V_o/V_i$  為多少？ (A) - 60 (B) 60 (C) - 15 (D) 15。

【88 四技電機】



- ( ) 37. 如圖所示電路，若  $g_m = 10\text{mA/V}$ ， $r_d = 1\text{M}\Omega$ ，求放大因數  $\mu$  之值？ (A) 10 (B) 100 (C) 1000 (D) 10000。

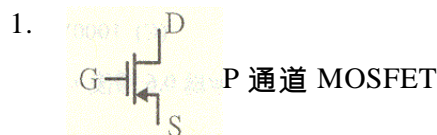
【87 電機保甄】



- ( ) 38. 同上題電路，電路的放大倍數為 (A)4 (B) - 4 (C)  $\frac{1}{4}$  (D)  $-\frac{1}{4}$ 。【87 電機保甄】
- ( ) 39. JFET 共源極放大器中， $g_m=10\text{mS}$ ，輸出阻抗為  $100\text{K}\Omega$ ，負載為  $25\text{K}\Omega$ ，當輸入為  $0.5\text{mV}$  時，其輸出電壓為 (A)-100mV (B)-150mV (C)-200mV (D)-250mV。
- ( ) 40. 下列何者為正確的增強型 PMOS 電晶體特性曲線？
- (A) (B) (C) (D)
- ( ) 41. 下列關於 MOSFET 的敘述，何者為錯誤？ (A) MOSFET 有空乏型及增強型兩種型式 (B) MOSFET 有 N 通道及 P 通道兩種 (C) MOSFET 是電流控制元件 (D) MOSFET 之閘極與源極間直流電阻很大 【94 四技二專】
- ( ) 42. MOSFET 之輸入阻抗比 JFET 高，主要原因為何？ (A) 材質好 (B) 接觸面小 (C) 通道摻雜濃度低 (D) 有一層二氧化矽 ( $\text{SiO}_2$ ) 絕緣 【94 四技二專補考】
- ( ) 43. 下列敘述何者錯誤？(A) FET 具高輸入阻抗 (B) FET 的源極與汲極可以對調使用(C) FET 增益與頻帶寬之乘積大於 BJT (D) FET 受輻射的影響較 BJT 小 【95 四技二專】

### 歷屆試題解答

1. (B) 2. (D) 3. (D) 4. (D) 5. (C) 6. (B) 7. (D) 8. (A) 9. (D) 10. (D)  
 11. (B) 12. (D) 13. (D) 14. (C) 15. (A) 16. (D) 17. (B) 18. (C) 19. (B) 20. (D)  
 21. (D) 22. (C) 23. (D) 24. (C) 25. (C) 26. (D) 27. (B) 28. (D) 29. (D) 30. (A)  
 31. (C) 32. (A) 33. (A) 34. (D) 35. (A) 36. (C) 37. (D) 38. (B) 39. (A) 40. (C)  
 41. (C) 42. (D) 43. (C)



2. 增強型 N 通道 MOSFET 甲區：n<sup>+</sup>型，乙區：p 型， $V_{GS} > V_T$  (臨界電壓)  $> 0$
3. N 通道飽和區判斷式： $V_{GD} < V_P$   
 $V_G = 0\text{V}$ ， $V_D = 5\text{V}$ ， $V_{GD} = V_G - V_D = -5\text{V} < V_P = -4\text{V}$ ，(A) 選項中  $V_G = -5$ ， $V_D = 1$   
 $V_{GD} = -6$  但  $V_{GS} < V_P$  夾止，不合
4. P 通道飽和區判斷式： $V_{GD} > V_T$   
 $V_G = 0\text{V}$ ， $V_S = 5\text{V}$ ， $V_{GD} = 0\text{V} - V_D < V_P = -2\text{V} \Rightarrow V_D < 2\text{V}$

$$5. \begin{cases} V_{GS} = 20 - I_D \times 1K\Omega \\ I_D = 0.3 \times (V_{GS} - 2)^2 \end{cases}$$

可得  $I_D = 11.7mA$

$$V_{DS} = 20 - 11.7 \times 1K\Omega = 8.3V$$

6. 在 P 型半導體中，電洞為多數載子，而自由電子為少數載子

7. 輸入阻抗較雙極性電晶體為高

8. FET 是單靠一種載子來傳送電流

9. MOSFET 電晶體為一種電壓控制元件

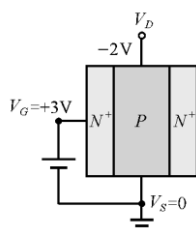
10. P 通道場效應電晶體 (FET) 之電荷載子為電洞

11. 場效應電晶體 (FET) 是利用電場之效應控制電流的元件。

12. (1)  $V_{SG} = -3V \Rightarrow V_S = 0V, V_G = +3V$

(2)  $V_P = 5V \Rightarrow V_{GD} = 5V \Rightarrow V_D \leq -2V$

(3)  $V_{DS} \leq -2V \Rightarrow V_{SD} \geq 2V$ ，選 3V



$$13. I_D = I_{DSS} \times \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \Rightarrow 2mA = 8mA \times \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right)^2$$

$$\Rightarrow V_{GS} = -2V$$

14. 接面場效應電晶體工作在飽和區時  $i_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$

$$15. I_D = I_{DSS} \times \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \Rightarrow I_D = 10mA \times \left(1 - \frac{-3V}{-4.5}\right)^2$$

$$\Rightarrow I_D = 1.11mA$$

$$16. I_D = I_{DSS} \times \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \Rightarrow I_D = 10mA \times \left(1 - \frac{-1.5V}{-4.5}\right)^2$$

$$\Rightarrow I_D = 4.44mA$$

$$V_{DS} = 16 - 4.44mA \times 2.2K\Omega = 6.23V$$

17. (1) 令在夾止區內

$$(2) V_{GS} = V_G - V_S = \left[15V \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}\right] - I_{DS} \times R_S$$

$$= \left[15V \times \frac{150k}{1M + 150k}\right] - 0.4 \times 15 = -4V$$

$$(3) \text{check: } V_{DS} = V_{DD} - I_{DS} \times R_S = 15V - 6V = 9V$$

$$\Rightarrow \begin{matrix} V_{DS} \\ +9V \end{matrix} > \begin{matrix} -V_P \\ 5V \end{matrix} + \begin{matrix} V_{GS} \\ -4V \end{matrix}, \text{ 確定在夾止區內，無誤。}$$

18. (1)  $V_G = 15V \times \frac{45k}{90k + 45k} = 5V$   
 (2)  $V_{GS} = V_G - V_S \Rightarrow -2V = 5V - V_S \Rightarrow V_S = 7V$   
 (3)  $I_{DS} = \frac{15V - 12V}{1.5k\Omega} = 2mA$   
 (4)  $R_S = \frac{V_S}{I_{DS}} = \frac{7V}{2mA} = 3.5k\Omega$

19.  $g_m = \frac{-2I_{DSS}}{V_P} \times \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)$   
 $g_m = \frac{-2 \times 12}{-4} \times \left(1 - \frac{-1.5}{-4V}\right) = 3.75mA/V$

20.  $\mu = g_m \times r_d = 10000$

21. (1)  $R_4$  稱為「靴帶式電路」，亦為米勒效應。

(2)  $A_v \leq 1$ 。

(3)  $Z_i = \frac{Z}{1 - A_v} = \frac{R_4}{1 - A_v} = (\text{很大倍}) \times R_4$ ，提昇輸入阻抗。

22. 場效應電晶體(FET)操作速度比較慢

23. N 通道增強型 MOSFET 欲使之導通閘極源極間電壓( $V_{GS}$ )大於臨界電壓( $V_T$ )之正電壓

24. 空乏型金氧半場效電晶體(MOSFET)未加偏壓即有通道存在

25. 飽和區條件： $V_{DS} > V_{GS} - V_t$

$\Rightarrow V_{DS} - V_{GS} > -V_t$

$\Rightarrow V_{DG} > -V_t$

$\Rightarrow -V_{DG} < V_t$

$\Rightarrow V_{GD} < V_t$

26. 接面場效電晶體(JFET)用作線性放大器時，汲極電源電壓視 P 或 N 通道而定

27. JFET 作放大元件時，工作於飽和區(夾止區)

28. 當  $V_{GS} = V_P$  時通道寬度降為零， $V_P$  稱為夾止電壓

29.  $\mu = - \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta V_{GS}} \Big|_{I_D = K}$

30. 三極體區條件： $V_{DS} < V_{GS} - V_t$

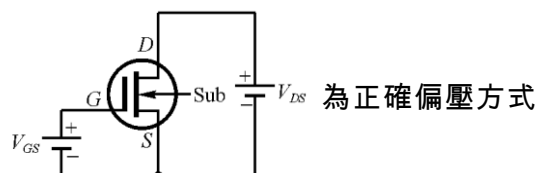
$\Rightarrow V_{DS} < 3V - 2V$

$\Rightarrow V_{DS} < 1V$ ，選 0.5V

31. 由圖可知最低產生通道之臨界電壓(threshold voltage) $V_t$  為 1V

32. 判別式  $V_{GD} > V_t$  在飽和區  $\Rightarrow V_{GD} = 1.2 - 2 = -0.8V < V_t \Rightarrow$  在三極體區

33.



34. (1) 直流分析



$$0.6\text{mA} = K \times [V_{GS} - 1]^2 \dots\dots\dots \textcircled{\phi}$$

$$V_{GS} = V_{DS} = 5\text{V} - 0.6\text{mA} \times 5\text{k}\Omega = 2\text{V} \dots\dots\dots \textcircled{\phi}$$

$$\Rightarrow K = 0.6\text{m} \frac{\text{A}}{\text{V}^2}$$

(2) 交流分析

$$\Rightarrow \begin{cases} g_m = 2 \times 0.6\text{m} \times [2-1] = 1.2\text{mS} \\ A_v = -1.2\text{m}\Omega \times (\infty // 5\text{k}\Omega // 10\text{k}\Omega) = -4\text{倍} \end{cases}$$

35.  $A_v = -g_m \times (r_d // R_D) = -10\text{倍}$

36.  $A_v = -g_m \times (r_d // R_D) = -2\text{m} \times (30\text{k}\Omega // 10\text{k}\Omega) = -15\text{倍}$

37.  $\mu = r_d \times g_m = 10\text{ms} \times 1\text{M} = 10^4$

38. 
$$A_v = -g_m \times \frac{r_d \times R_D}{r_d + R_D + (1 + \mu)R_S} \doteq \frac{-g_m R_D}{1 + g_m R_S} \doteq$$

$$\frac{-10\text{m} \times 20\text{k}}{1 + 10\text{m} \times 5\text{k}} = \frac{-200}{51} = -4\text{倍} \doteq \frac{-R_D}{R_S}$$

39.  $A_v = -10\text{mS} \times (100\text{K} // 25\text{K}) = -200$

$$V_o = -200 \times 0.5\text{mV} = -100\text{mV}$$

40. 增強型 PMOS 電晶體  $V_{GS} < 0$ ,  $I_{DS} < 0$

41. MOSFET 是電壓控制元件

42. MOSFET 之輸入阻抗比 JFET 高，主要原因為何有一層二氧化矽 ( $\text{SiO}_2$ ) 絕緣

43. FET 增益與頻帶寬之乘積小於 BJT