

# 實 習 十 四

## 單載子接面場效電晶體偏壓電路

### ◆ 實習目的

1. 學習各種接面場效電晶體偏壓電路之設計方法。
2. 藉由實習過程，以瞭解各種接面場效電晶體偏壓電路之特性。



# 相 關 知 識

- ◆ 為使場效電晶體 (Field Effect Transistor; FET) 可正常的工作，必須外加一些**直流電壓**，以提供 FET 工作時所需之**電源**，而此外加之直流電壓即稱為**偏壓** (Bias)。
- ◆ 因 FET 之**輸入阻抗相當高**，導致幾乎為**零之輸入電流**，因此 FET 不考慮**電流放大**之問題，而僅需討論**電壓放大**之問題，故 FET 的直流偏壓與小訊號放大之問題，比 BJT (雙載子接面電晶體) **簡單**。
- ◆ 當對 FET 施予**適當偏壓**，使 FET 操作於**飽和區**後，再依實際工作狀況，在輸出特性曲線上設定**工作點** (Operation Point)，接著配合外加負載所產生之**直流負載線** (DC Load Line)，便可分析電晶體之**交流工作**情況，以設計符合實際需要之電晶體放大器。
- ◆ **直流偏壓**乃是用來提供 FET 工作時所需之**電源**，此種偏壓純粹是一種**直流操作**，其目的乃為建立電路之**工作點**。當**交流訊號**輸入時，便可產生一個在工作點附近變化之**電壓與電流**，使 FET 能適當的將交流訊號作**完整而無失真的放大**。
- ◆ 而在分析 FET 之交流小訊號效前，首先討論 FET 之**直流負載線** (DC Load Line)、**工作點** (Operation Point)、**交流小訊號放大原理與等效電路**後，再討論 JFET 所構成的放大電路之**交流小訊號**特性。



## 接面場效電晶體 (JFET) 之直流偏壓電路分析

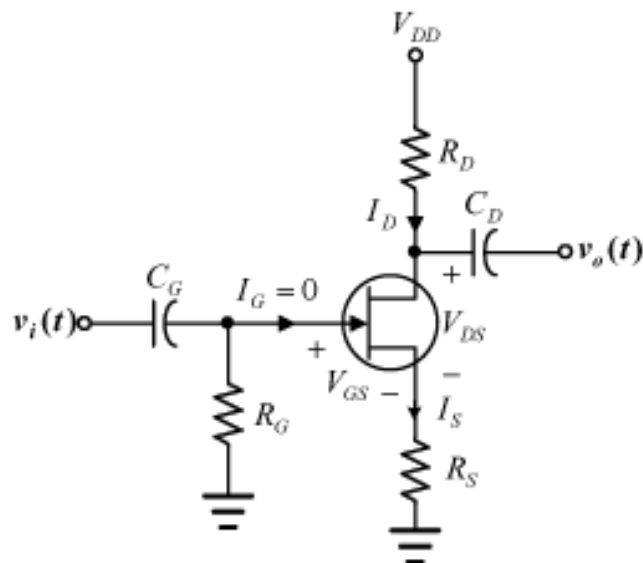
- ◆ 當對 FET 施予不同之**直流偏壓**後，可使其操作於截止區、歐姆區、飽和區與崩潰區等**四個不同工作區域**，以提供各種電子電路之不同應用。
- ◆ 本節將依不同電路連接方式與電子電路實際之需求，分成**共源極自偏壓電路**、**雙電阻分壓器偏壓電路**等 2 種常用之偏壓電路。



## 源極自偏壓電路

- ◆ 利用一個電阻  $R_D$  連接汲極與  $V_{DD}$  之正端，再將電阻  $R_G$  接地，並在源極與地間加上一個電阻  $R_S$ ，即可組成 JFET 之**單電源自偏壓電路**，如右圖所示。

- ◆ 因 JFET 之閘 - 源極必須加上**逆向偏壓**，才可調整通道之導電率，而此偏壓電路利用  $I_D$  流過  $R_S$  所產生之壓降，作為閘 - 源極逆向偏壓，故此種偏壓技術亦可稱為**源極自偏壓電路**。



- ◆ 對右圖之單電源自偏壓電路作**直流分析**，亦可分為**輸入迴路**與**輸出迴路**兩個部份來討論（對直流訊號而言，電容可視為開路狀態），以求解  $V_{GS}$ 、 $I_D$  與  $V_{DS}$  如下：



1. **輸入迴路**：因 JFET 的輸入電阻相當大，因此  $I_G$  可視為零，  
因此  $V_G$  亦可視為零，利用 KVL 於右圖之輸入迴路，可得

$$V_{GS} = -I_D \cdot R_S$$

當 JFET 操作於飽和區之  $I_D$  與  $V_{GS}$  關係為

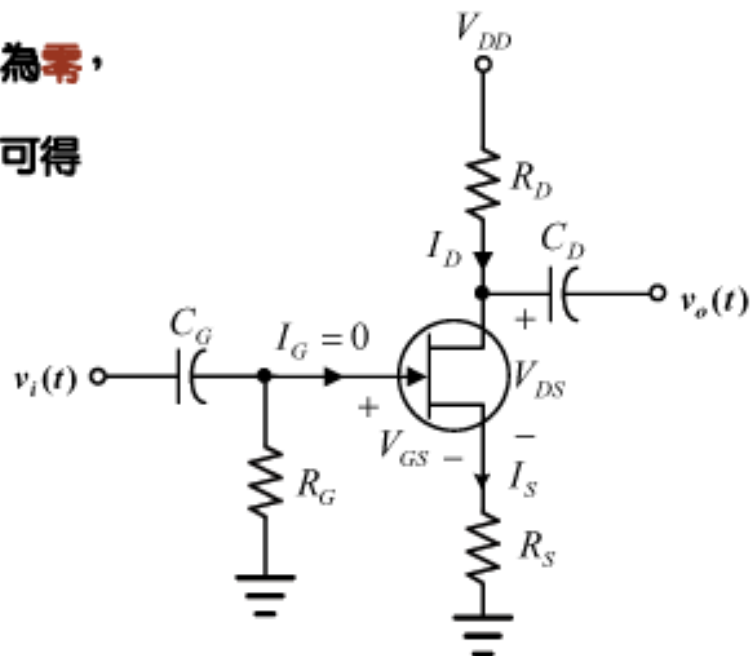
$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 + \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$$

將  $V_{GS} = -I_D \cdot R_S$  帶入上式，可得

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{I_D \cdot R_S}{V_P}\right)^2$$

2. **輸出迴路**：利用 KVL 於右圖之輸出迴路之可得

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



## 單電源自偏壓電路的直流分析之討論

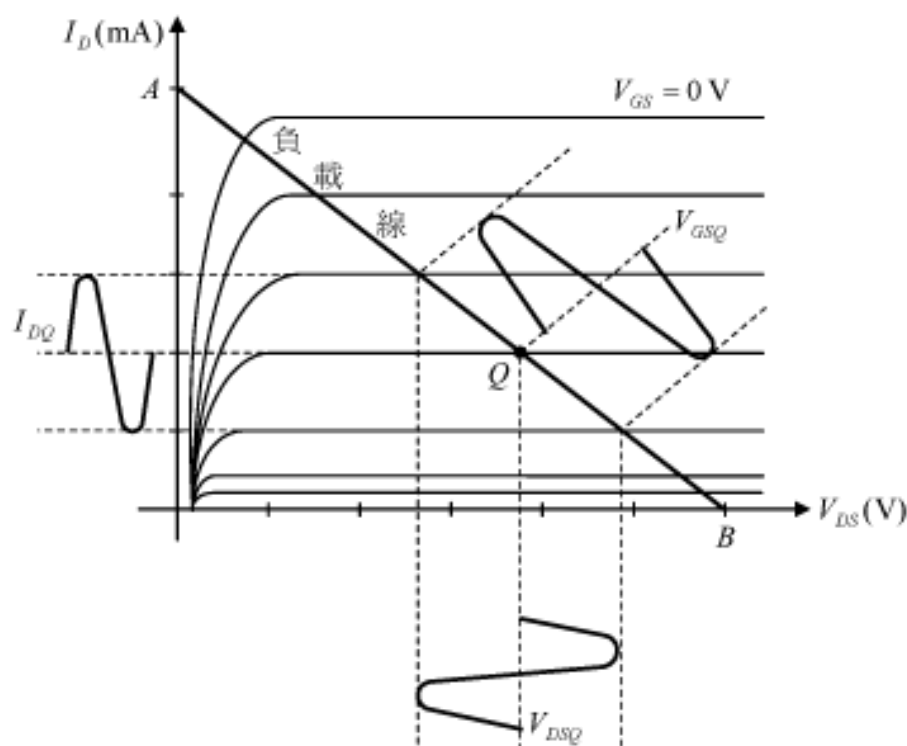
- ◆ 由前面計算可得  $V_{GS} = -I_D \cdot R_S$ 、 $I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{I_D \cdot R_S}{V_P}\right)^2$  與  $V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot (R_D + R_S)$  等三個方程式，欲得到  $V_{GS}$ 、 $I_D$  與  $V_{DS}$  之值，必須求解一元二次方程式，因此所得之  $I_D$  會有兩個解。
- ◆ 對  $n$  通道之 JFET 而言，僅有  $I_D$  為正值的解，可使  $V_{GS} < 0$ ，此  $I_D > 0$  之解方為正確，才會滿足 JFET 操作於飽和區之條件；而  $I_D$  為負值的解，會使  $V_{GS} > 0$ （不合），故此解可忽略（即此解為一元二次方程式的增根）。



# 直流負載線與工作點

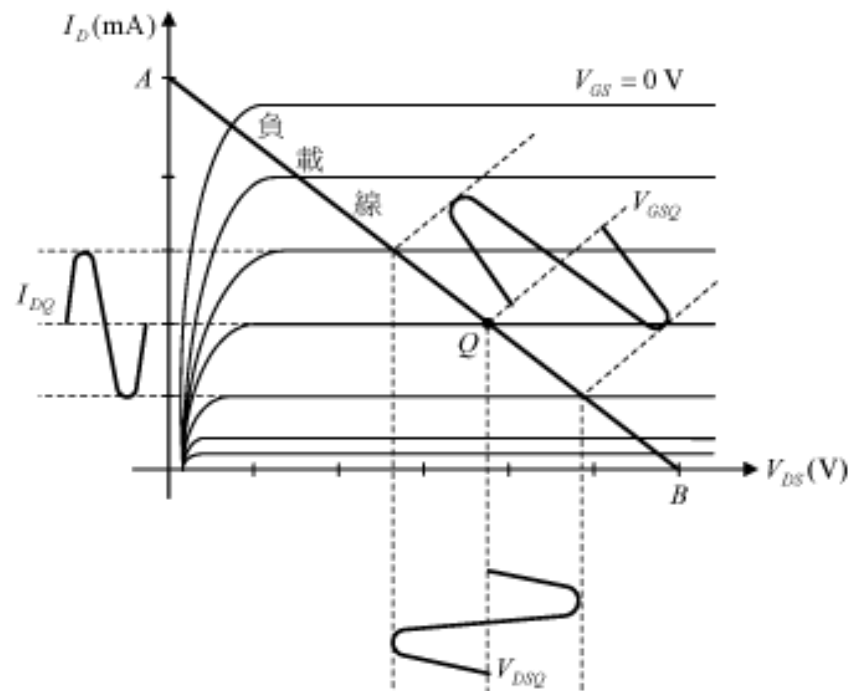
◆ 直流負載線 (DC Load Line) 是以電晶體電路之輸出電流與輸出電壓來決定所有可能之直線稱之，即利用偏壓電路之輸出方程式，連接輸出特性區線上的 **A 點** ( 令  $V_{DS} = 0$  所得之  $I_D$  ) 與 **B 點** ( 令  $I_D = 0$  所得之  $V_{DS}$  ) 等兩點所成之直線，而此直線為偏壓電路之最大直流負載線。

◆ 接著利用偏壓電路直流分析所得之  $V_{GS}$  與直流負載線之**交點**，即稱為電晶體電路之**工作點** (Operation Option) 或稱為**靜態點** (Quiescent Point; **Q 點** )，如右圖所示。





- ◆  $Q$  點之選擇與  $V_{GS}$  有相當密切之關係，在許多情況下， $Q$  點之選擇應盡量接近**直流負載線之中心點**，以容許電晶體放大器作**最佳交流操作**為原則，即此選擇可使電晶體產生最佳放大效果。
- ◆ 相同的，若  $Q$  點太靠近**截止區**或**飽和區**，則電晶體在進行交流操作時，輸出波形易發生**失真**現象。當使用 FET 來處理**交流訊號**放大工作時，輸出特性曲線、直流負載線與工作點之選擇方式，大致上與 BJT 相似。



- ◆ 觀察上圖可知，若對電晶體電路施予適當之**偏壓**，以建立電路之**工作點**後，若加入  $v_{gs}$  後，則  $v_{gs}$  會以  **$Q$  點為中心作等量之變化** (即  $v_{GS} = V_{GSQ} + v_{gs}$ )。當電晶體操作於**飽和區**時，則  $V_{DS}$  與  $I_D$ ，亦會產生**等量變化** ( $v_{DS} = V_{DSQ} + v_{ds}$ ,  $i_D = I_{DQ} + i_d$ )，其中  $v_{gs}$ 、 $v_{ds}$  與  $i_d$  皆為**交流小訊號**。

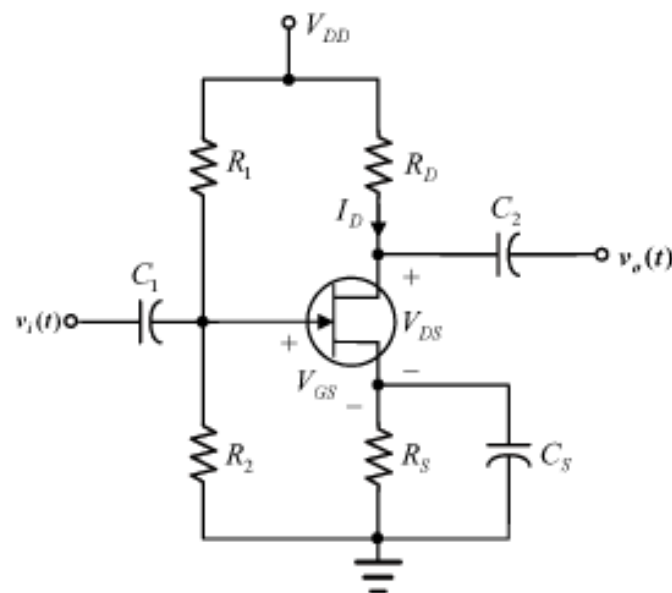




## 雙電阻分壓器偏壓電路

◆ 為了提供一個較具彈性與穩定之 FET 偏壓技術，利用  $R_1$  連接閘極與  $V_{DD}$  之正端，而使用  $R_2$  連接閘極與地，即使用電阻器分壓原理，以提供閘 - 源極所需之逆向偏壓，此種技術是利用雙電阻器分壓式偏壓電路，如右圖所示。

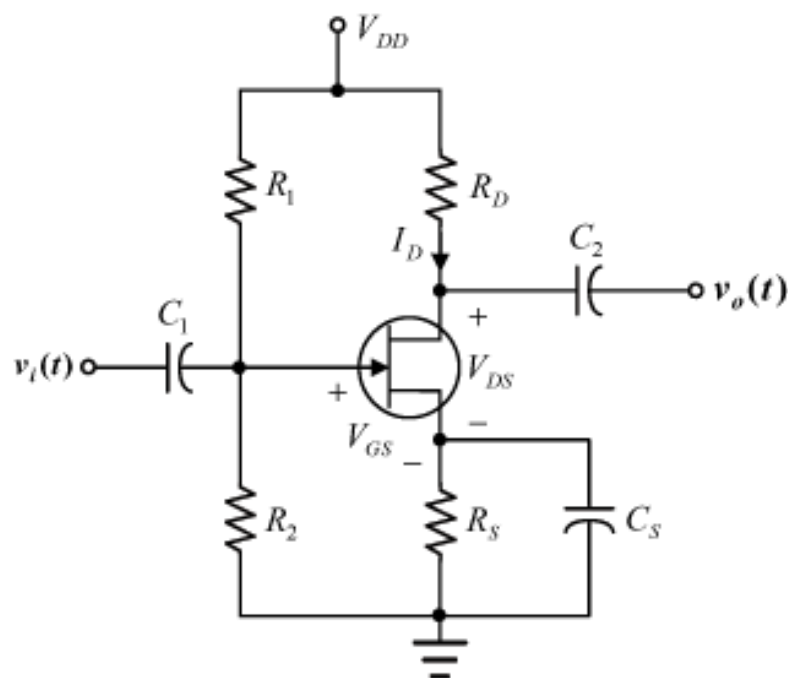
◆ 汲極電阻  $R_D$  與源極電阻  $R_S$  分別用來提供輸出所需電壓與電流，而交連電容  $C_1$  與  $C_2$  是用來阻隔直流訊號，只允許交流訊號在輸入與輸出間傳遞。



◆ 雖然  $R_1$  與  $R_2$  之電阻值僅需考慮彼此間之比例關係；實際上，選用這兩個電阻值亦應加以留意。若為使放大器具有較高輸入電阻，而選用太大電阻值之  $R_1$  與  $R_2$ ，可能會使反向飽和電流隨溫度變化，而影響到工作點的穩定性，因此  $R_1$  與  $R_2$  之電阻，通常選用  $100\text{K}\Omega$  至  $1\text{M}\Omega$  間較為恰當。



- ◆ 在源極與地間加上  $R_S$ ，可產生自偏壓及溫度補償的作用之負回授功用。雖然將負回授應用於電晶體放大電路，可能會導致交流增益降低，但卻可獲得更穩定之直流偏壓。
- ◆ 連接於源極與地間之旁路電容  $C_S$  可提高偏壓電路穩定度，即對直流訊號而言， $C_S$  可視為開路，因此  $R_S$  可產生負回受機制，以提高直流偏壓之穩定度；對交流訊號而言， $C_S$  可視為短路，因此  $R_S$  無法產生負回授機制，故電路之交流增益不會受到影響。

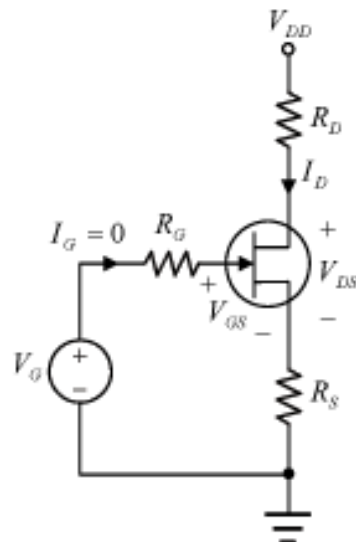
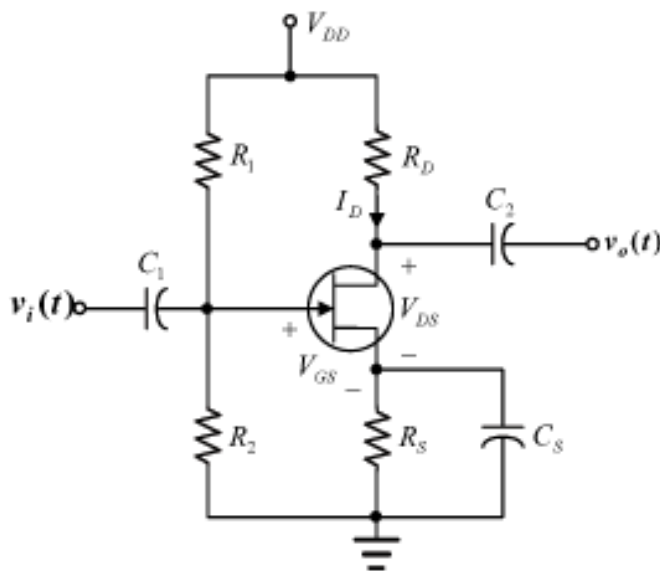


## 分壓器偏壓電路之直流分析

- ◆ 對左下圖之偏壓電路作**直流分析**時，所有電容皆可視為**開路狀態**，因此可假設  $C_1$ 、 $C_2$  與  $C_S$  開路，接著將輸入迴路用**戴維寧等效電路**來取代，可得到雙電阻分壓式電晶體偏壓電路之**等效電路**，如**右下**

■ 所示，其中  $R_G = R_1 \parallel R_2, V_G = \frac{R_2 \cdot V_{DD}}{R_1 + R_2}$ 。

- ◆ 對右圖之接面場效電晶體偏壓電路作直流分析，可分為**輸入迴路**與**輸出迴路**兩個部份來討論（對直流訊號而言，電容可視為開路狀態），以求解  $V_{GS}$ 、 $I_D$  與  $V_{DS}$  如下：



1. **輸入迴路**：因 JFET 的輸入電阻相當大，因此  $I_G$  可視為零，

故利用 KVL 於右圖之輸入迴路，可得

$$V_{GS} = V_G - V_S = \frac{R_2 \cdot V_{DD}}{R_1 + R_2} - I_D \cdot R_S$$

其中  $V_G = \frac{R_2 \cdot V_{DD}}{R_1 + R_2}$ ,  $V_S = I_D \cdot R_S$ 。

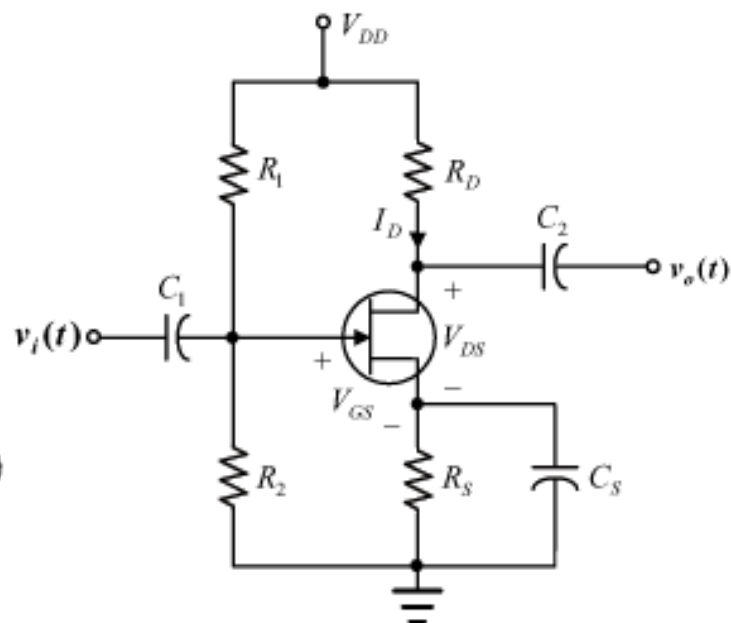
當 JFET 操作於飽和區之  $I_D$  與  $V_{GS}$  關係為

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 + \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2, \text{ 將 } V_{GS} \text{ 帶入右式, 可得}$$

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 + \frac{1}{V_P} \cdot \left(\frac{R_2 \cdot V_{DD}}{R_1 + R_2} - I_D \cdot R_S\right)\right)^2$$

2. **輸出迴路**：利用 KVL 於右圖之輸出迴路之可得

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



## 分壓器偏壓電路的直流分析之討論

- ◆ 由前面計算可得  $V_{GS} = \frac{R_2 \cdot V_{DD}}{R_1 + R_2} - I_D \cdot R_S$ 、 $I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{I_D \cdot R_S}{V_P}\right)^2$  與  $V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot (R_D + R_S)$  等三個方程式，欲得到  $V_{GS}$ 、 $I_D$  與  $V_{DS}$  之值，必須求解一元二次方程式，因此所得之  $I_D$  會有兩個解。
- ◆ 對  $n$  通道之 JFET 而言，僅有  $I_D$  為正值的解，可使  $V_{GS} < 0$ ，此  $I_D > 0$  之解方為正確，才會滿足 JFET 操作於飽和區之條件；而  $I_D$  為負值的解，會使  $V_{GS} > 0$ （不合），故此解可忽略（即此解為一元二次方程式的增根）。



# 實習步驟與結果

## (一) 共源極自偏壓電路

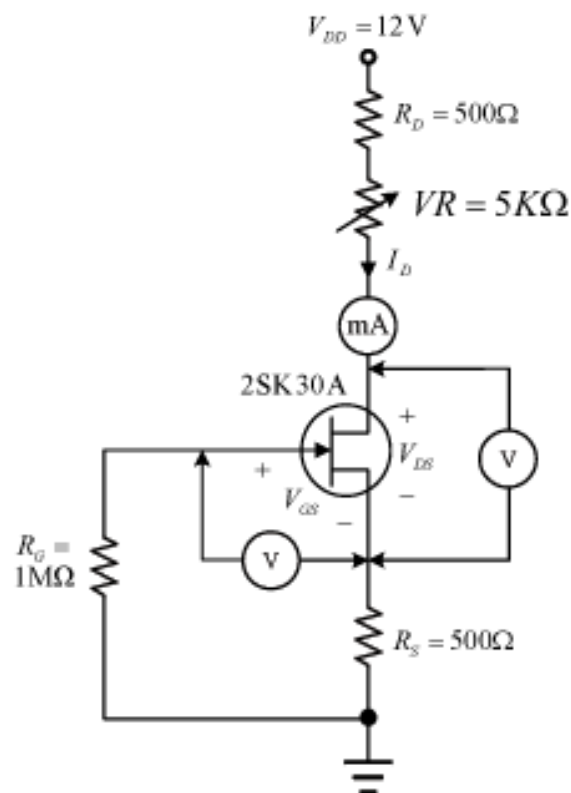
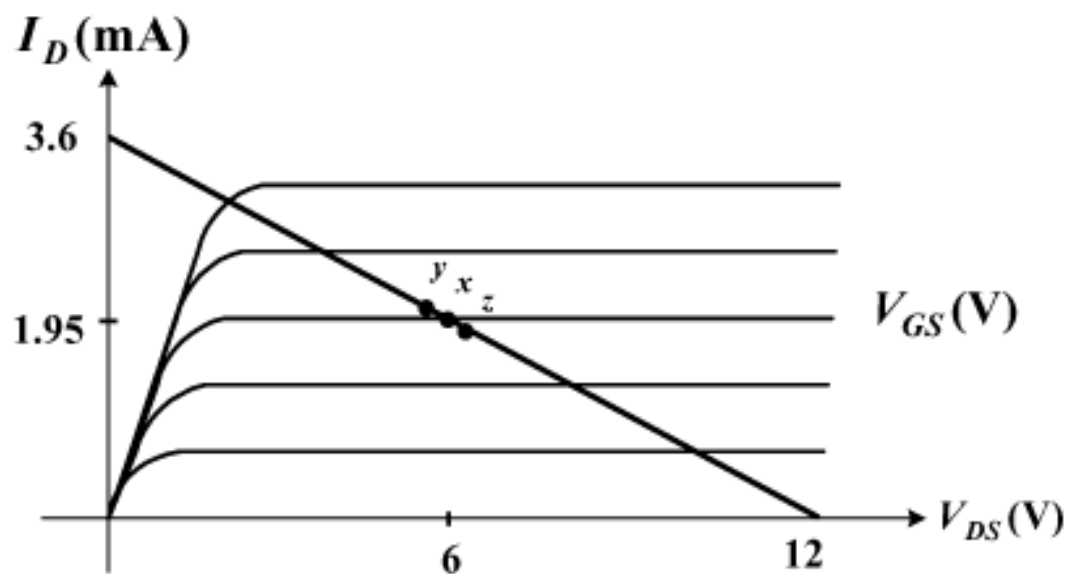


表 14-1 共源極自偏壓電路之  $I_D$  與  $V_{DS}$  值

汲極電阻  $(R_D + VR) = \underline{2.55 \text{ K}} \Omega$

偏壓參數	$I_{DSS}$	$V_{GS(off)}$	$V_{GS}$	$I_D$	$V_{DS}$
測量狀況					
測量值	3.6mA	-2V	-0.9V	1.95mA	6V
理論值			-0.86V	1.72mA	6.75 V
加熱後之值			-0.88V	1.93mA	6.12V





## (二) 電阻分壓器偏壓電路

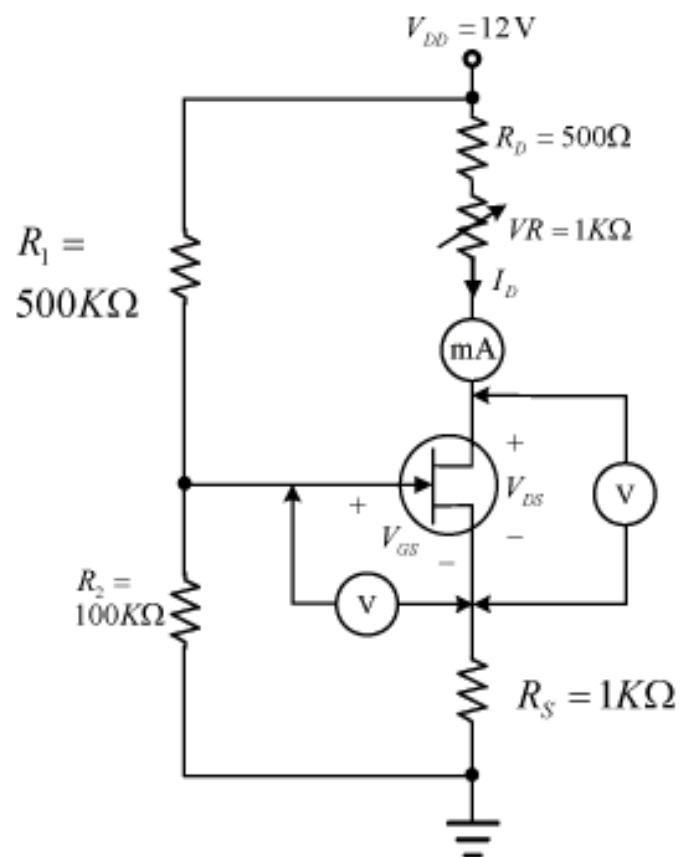


表 14-2 電阻分壓器偏壓電路之  $I_D$  與  $V_{DS}$  值

汲極電阻值  $(R_D + VR) = \underline{0.761K} \text{ } K\Omega$

測量狀況 \ 偏壓參數	$I_{DSS}$	$V_{GS(off)}$	$V_{GS}$	$I_D$	$V_{DS}$
測量值	3.6mA	-2V	-0.602 V	2.64mA	6V
理論值			-0.57V	2.52mA	6.2 V
加熱後之值			-0.59V	2.62 mA	6.05V

