

# 實驗七之 2: JFET 電晶體認識與電路

## 一、實驗目的：

1. 熟悉 JFET 電晶體的結構與分類，及其靜態特性的測試。
2. 了解 JFET 電晶體電路靜態操作點分析與量測。

## 二、原理及說明：

JFET 為一種場效應電晶體，其乃在借加在閘極（GATE）上的電場來控制半導體內電場或電洞的運動。

(一) 接面場效應電晶體（JFET）的結構與特性：

結構如圖 1 所示，源集（Source）S 為多數載子進入端，汲極（Drain）D 為多數載子流出端。

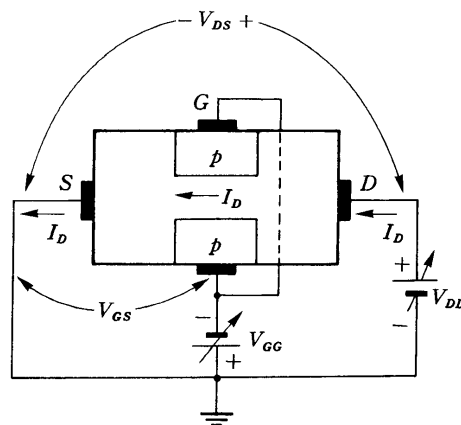


圖 1 N 通道型 JFET 基本操作模式

電場特性如圖 2 所示，利用用閘極與通道間的反偏壓控制通道的寬度，進而控制其電流。（ $V_{GS}$  必須反偏， $V_p$  為夾止電壓）

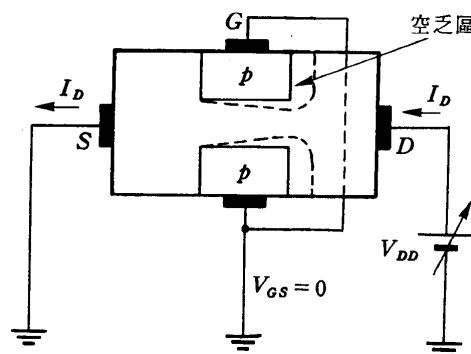


圖 2 N 通道型 JFET

其特性曲線如圖 3，當  $V_{gs}$  小於  $V_p$  時，且  $V_{gd}$  小於  $V_p$ ，則  $I_d$  與  $V_{ds}$  為線性關係乃為歐姆區。當  $V_{gs}$  小於  $V_p$  時，且  $V_{gd}$  大於  $V_p$ ，則  $I_d$  為定電流，此為飽和區。

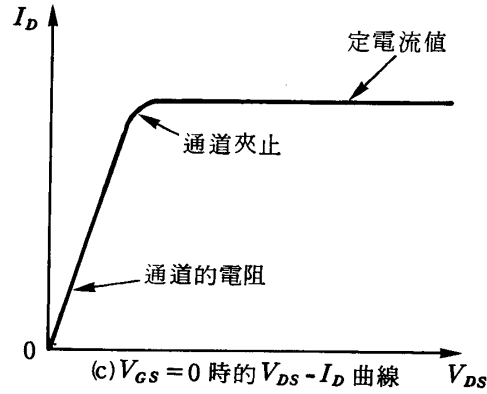


圖 3 JFET 的特性曲線

其  $I_D$  與  $V_{DS}$  之關係圖如圖 4，其中並以  $V_{GS}$  為參數。

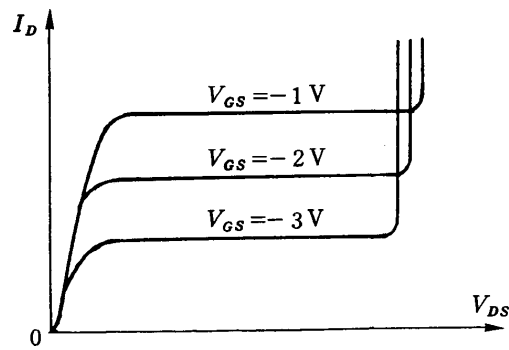


圖 4

(二) JFET 之特點：

1. 輸入阻抗極高。
2. 不易受輻射線影響。
3.  $I_D$  的溫度特性曲線之穩定性頗佳。

JFET 電路符號如圖 5 所示。

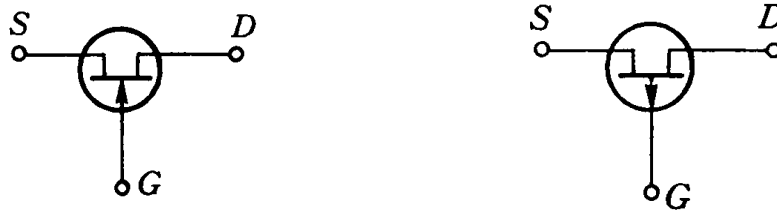


圖 5

(a) N 通道

(b) P 通道

(三) JFET 的偏壓法

圖 6 為 JFET 的偏壓原理圖

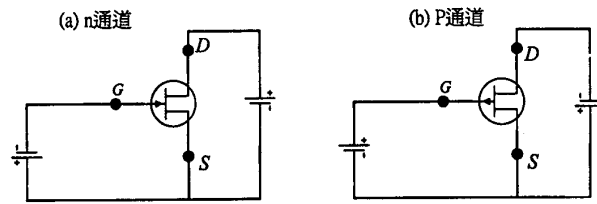


圖 6

偏壓的方式有兩種: (1) 固定偏壓 (2) 自偏壓 圖 7 以 N 型 JFET 為例來說明各種偏壓結構。

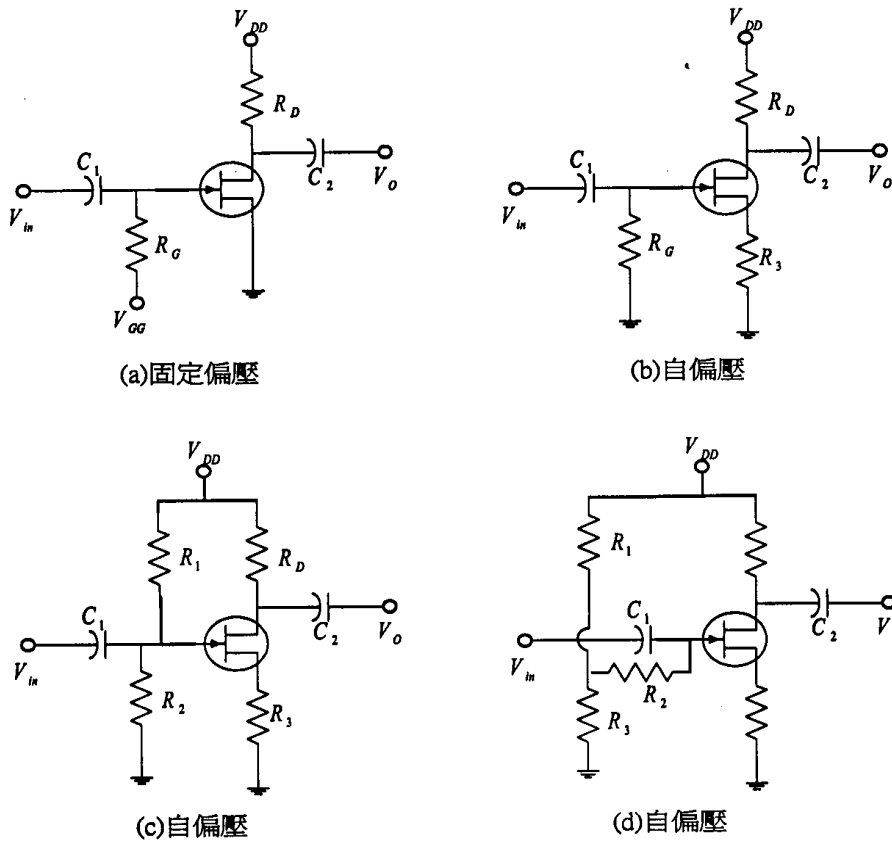


圖 7 偏壓法

在圖 7(a)中 FET 的工作點由  $R_G$  與  $V_{GG}$  來決定，圖 7(b)則由  $I_s$  流經  $R_s$  的電壓偏壓。圖 7(c)為自偏壓，除由  $I_s$  流經  $R_s$  的電壓偏來偏壓另由  $V_{DD}$  流經  $R_1, R_2$  提供一固定電壓  $V_{GS}$ 。圖 7(d) 亦為自偏壓電路，對直流而言與圖 7(c)同，對小訊號輸入其輸入阻抗因自帶式回授增益電路而增加。

(四) 小信號等效電路及三種模型

圖 8 所使示為 JFET 低頻的小信號模型等效電路，圖 9 所使示為 JFET 高頻的小信號模型等效電路。

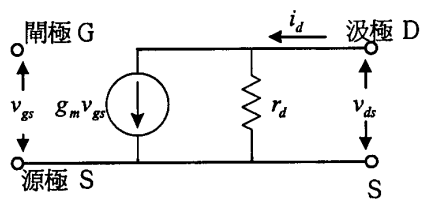


圖 8

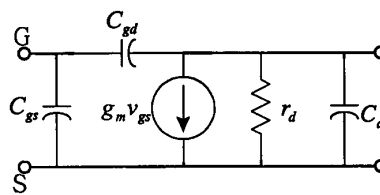
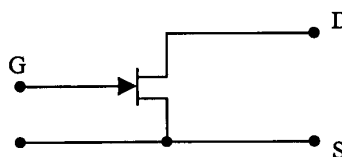


圖 9

FET 的三種模型：

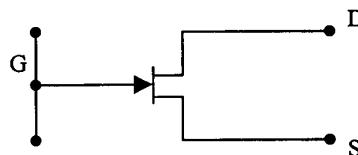
(1)源極接地(共源極 CS 模式)

源極為共同端  
閘極為輸入端  
汲極為輸出端



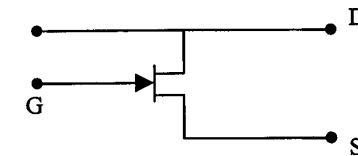
(2)閘極接地(共閘極 CG 模式)

閘極為共同端  
源極為輸入端  
汲極為輸出端



(3)汲極接地(共汲極 CS 模式)

汲極為共同端  
閘極為輸入端  
源極為輸出端



(五) JFET 的重要參數

JFET 的典型小訊號參數值之範圍於下表 1 中。

表 1 JFET 典型參數值

參數	接面場效電晶體
$g_m$	0.1-10 mA/V
$r_d$	0.1-1 M $\Omega$
$C_{ds}$	0.1-1 pf
$C_{gs}, C_{gd}$	1-10 pf
$r_{gs}$	$>10^8 \Omega$
$r_{gd}$	$>10^8 \Omega$

(六) 以三用電表測試 JFET

以三用電表測試 JFET 之步驟如下所述：

- (1) 三用電表置於  $R \times 1K\Omega$  檔測量，G-S 間具有二極體的性質，G-D 間亦具有二極體之性質。見圖 10。
- (2) 三用電表置於  $R \times 10\Omega$  檔測量，D-S 間猶如一數百  $\Omega$  以上之電阻器。將三用

電表之紅、黑棒對調，所測知電阻值不變。見圖 11。

- (3) 大部分 JFET 的 D-S 可以互換使用，但有的 JFET 在 D、S 互換使用時增益較低可使用下法判斷 D 和 S：三用電表置於  $R \times 10$  檔，紅、黑測試棒分別接於 JFET 的 G 極除外的兩腳，以手指壓住黑棒與閘極，此時三用電表會往低電阻方向移動。然後將紅、黑棒對調，再以手指壓住黑棒與閘極，此時三用電表亦會往低電阻方向移動。在兩次測試中，三用電表指針偏轉較大的，黑棒所接者為 D 極，紅棒所接者為 S 極。見圖 12。

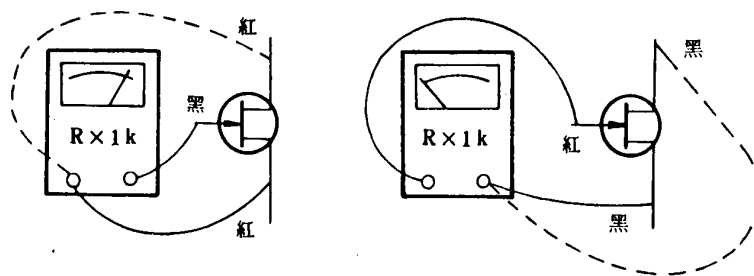


圖 10

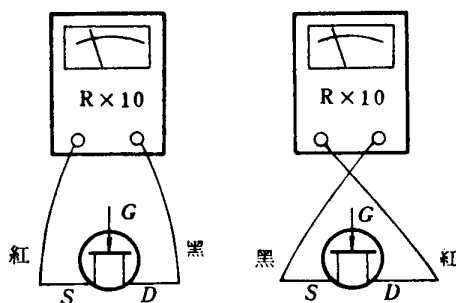


圖 11

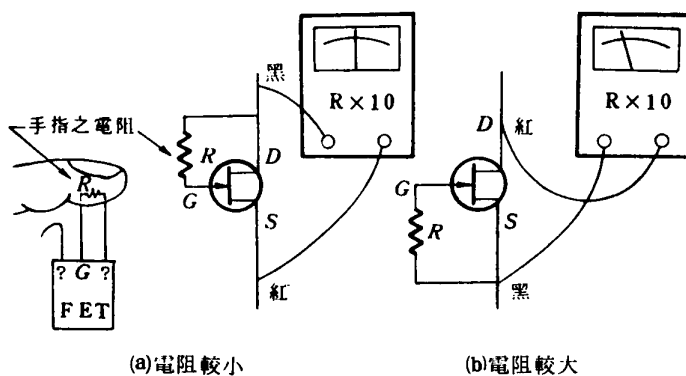


圖 12

### 三、實驗器材

- (1) 示波器

- (2) 信號產生器
- (3) 電源供應器
- (4) 三用電表
- (5) 二極體:1N4001                    x1
- (6) 電晶體:JFET 2SK30A            x1
- (7) 電阻:
  - 470Ω                                    x1
  - 1kΩ                                      x2
  - 2.2 kΩ                                  x1
  - 4.7 kΩ                                  x1
  - 10kΩ                                    x1
  - 47kΩ                                    x1
  - 1MΩ                                     x1
- (8) 可變電阻: 100kΩ,10kΩ        各 x1

#### 四、實驗步驟

工作一: JFET 極性的判別

- 1.上網查詢 JFET 2SK30A 之規格特性，為何種型態 JFET?
- 2.以電表判斷 JFET 為 N-通道或 P 通道，並找出“G”極。
- 3.以三用電表  $R \times 10\Omega$  檔測量 D、S 間之電阻值=\_\_\_\_\_Ω。將紅、黑棒互換再測，D、S 間之電阻值有無變化？
- 4.以圖 12 判斷 D 與 S 並繪出 JFET 實體圖，並將各腳標示出。

工作二:導電時通道電阻  $R_{DS(ON)}$  的測量

- 1.按圖 13 所示接妥電路，並將示波器接至 JFET 的 D 與 S 兩端。
- 2.調整低頻信號產生器使其輸出頻率為 1KHz，並使其 D、S 兩端有適當的振幅輸出。量測  $V_{DS} = \underline{\hspace{2cm}} \text{V}$ 。
- 3.以示波器測量  $V_{in} = \underline{\hspace{2cm}} \text{V}$ 。(信號產生器的有效輸出振幅)
- 4.由上述兩數據，得知  $R_{DS(ON)} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ 。

$$\left( V_{DS} = V_{IN} \cdot \frac{R_{DS(ON)}}{R_{DS(ON)} + R_D} \quad \therefore R_{DS(ON)} = \frac{V_{DS}}{V_{IN} - V_{DS}} \cdot R_D \right)$$

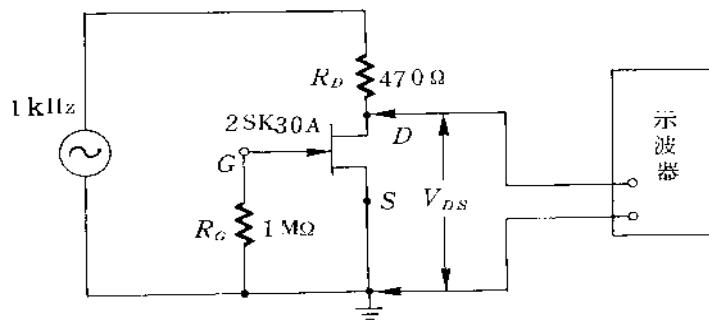


圖 13  $R_{DS(on)}$  的測量電路

工作三：JFET 的  $V_p$  測量

1. 按圖 14 所示接妥電路。
2. 調整電源供應器，使其輸出 10V。
3. 調整 VR 使  $I_D$  電流為 0(或最小)。以三用電表或示波器測量 G 與地之間電壓  $V_{GS}$ ，即為  $V_p = \underline{\hspace{2cm}}$  V。

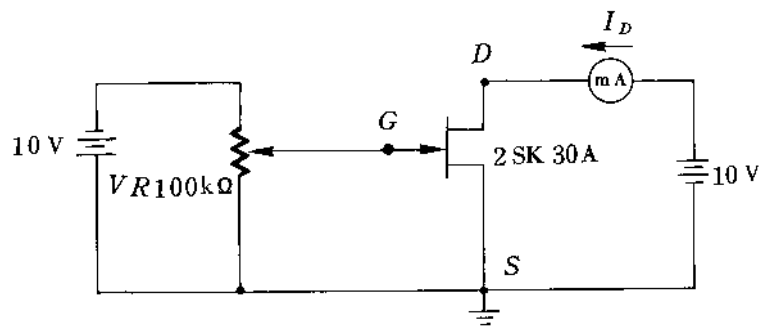


圖 14  $V_p$  的測量電路

工作四：輸出特性曲線的描繪

1. 按圖 15 所示接妥電路。
2. 調整 VR 使  $V_{GS} = 0\text{V}$ 。
3. 調整電源供應器以改變直流電源  $V_{DD}$ ，使  $V_{DS} = 0\text{V}$ 。
4. 測量汲極電流  $I_D$ ，填於表 2。
5. 依次改變  $V_{GS}$  與  $V_{DS}$  之值，分別紀錄  $I_D$  之值於表 2 各欄。
6. 依表 2 所得數據，以  $V_{GS}$  為參數，描繪 JFET 之輸出特性曲線於圖 16 中。
7. 比較電壓  $V_{GS}$  對電流  $I_D$  的影響。
8. 推論  $I_{DSS}$  數值。

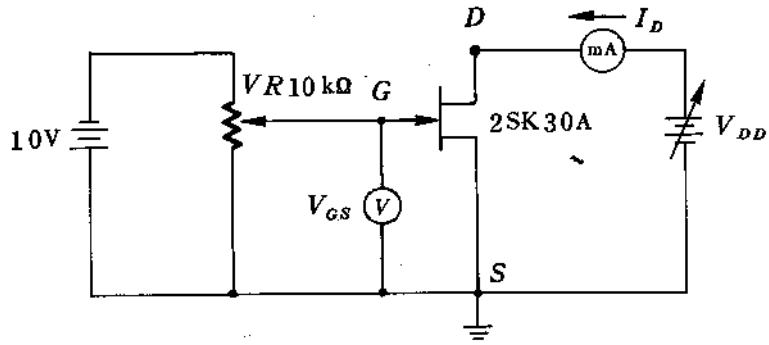


圖 15 輸出特性曲線電路圖

表 2

$V_{DS}$ $I_D$ $V_{GS}$	0V	0.2V	0.4V	0.6V	0.8V	1.0V	1.5V	2.0V	2.5V	3.0V	4.0V	5.0V	10V	15V
-0V														
-0.5V														
-1.0V														
-1.5V														
-2.0V														
-2.5V														
-3.0V														
-3.5V														
-4.0V														
-4.5V														

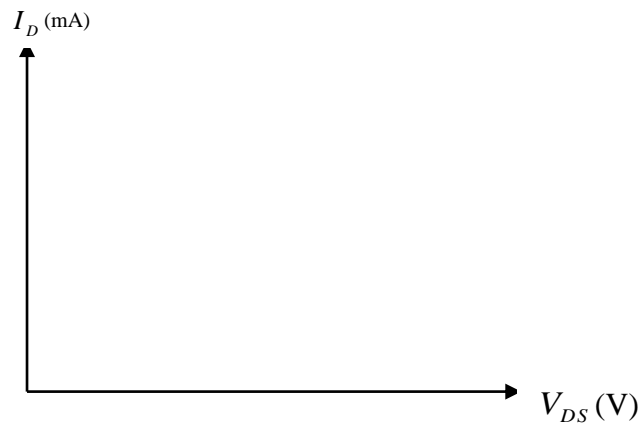


圖 16 輸出特性曲線



工作五：以示波器觀測 JFET 的輸出特性曲線

1. 按圖 17 所示接妥電路，示波器以 X-Y 操作模式測試。
2.  $V_{GS}$  先置於 0V 的位置，此時示波器將顯現一曲線。將此一曲線繪於圖 18 中。
3. 將  $V_{GS}$  朝 -10V 的方向逐漸調整(每次改變 1V)，則示波器的曲線將逐漸向下移動，直到曲線成水平為止，此時之  $V_{GS}$  即為夾止電壓  $V_p$ ，測量後之結果  $V_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{V}$ 。
4. 從  $V_{GS} = 0\text{V}$  至  $V_{GS} = V_p$  之間，在圖 18 繪出五條  $V_{DS} - I_D$  的曲線，並在曲線上標明  $V_{GS}$  及電流電壓刻度。
5. 在  $V_{GS} = -1\text{V}$  時，最大值  $I_D = \underline{\hspace{2cm}} \text{mA}$ 。並與公式 (1) 式所計算結果比較，計算值  $I_D = \underline{\hspace{2cm}} \text{mA}$ 。

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right)^2 \quad (1)$$

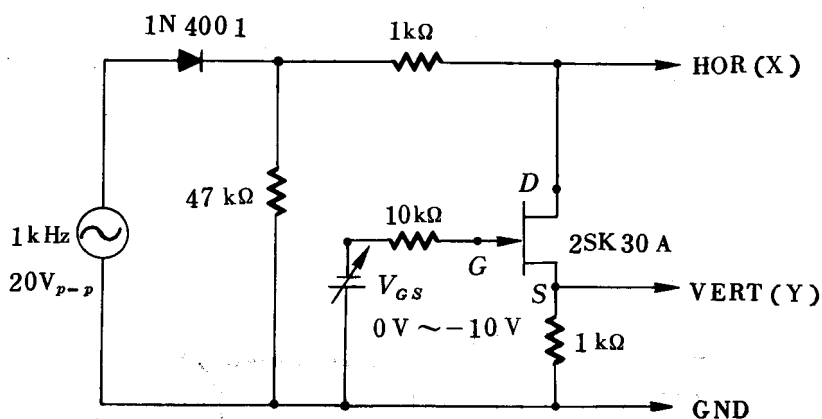


圖 17 輸出特性曲線之觀測

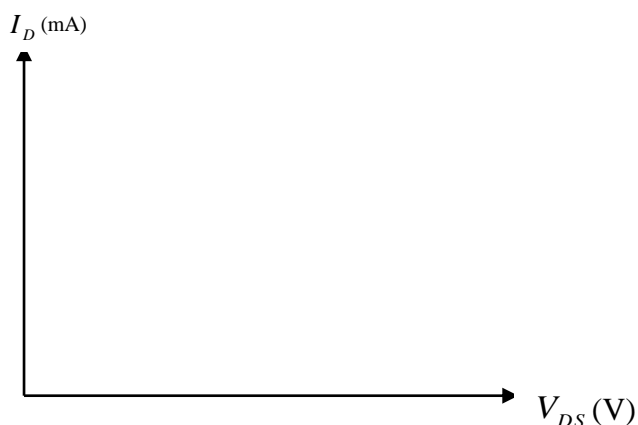


圖 18 輸出特性曲線

工作六：輸入阻抗  $Z_{IN}$  的測量

1. 按圖 19 所示接妥電路。
2. 調整電源供應器以改變直流電源  $V_{DD}$ ，使  $V_{DS} = 10\text{V}$ 。

3. 調整低頻信號產生器使其輸出頻率為 1KHz，並使其 D、S 兩端的電壓

$$V_{DS1(ms)} = 1V \text{ 輸出。}$$

4. 以  $1M\Omega$  的電阻值取代  $R_1$ ，觀測 D 與 S 兩端的電壓  $V_{DS2(ms)}$  並記錄於表 3 中。

5. 分別以  $2.2k\Omega$  及  $4.7k\Omega$  取代  $R_D$ ，並重複步驟 2、3、4。

6. 由於  $R_1(1k\Omega) \ll Z_{IN}$ ，可忽略不計，故  $V_{GS1} \approx V_{IN}$ 。但  $R_1(1M\Omega)$  較接近  $Z_{IN}$ ，故必須加以考慮。等效電路如圖 20。

$$7. V_{DS2} = A_V \cdot V_{GS2} = A_V \cdot \frac{V_{IN} \cdot Z_{IN}}{R_1 + Z_{IN}}, \text{ 而 } A_V = \frac{V_{DS1}}{V_{GS1}} \cong \frac{V_{DS1}}{V_{IN}}$$

$$\therefore V_{DS2} = \frac{V_{DS1}}{V_{IN}} \cdot \frac{V_{IN} \cdot Z_{IN}}{R_1 + Z_{IN}} = V_{DS1} \cdot \frac{Z_{IN}}{R_1 + Z_{IN}}, \text{ 故 } Z_{IN} = \frac{R_1 V_{DS2}}{V_{DS1} - V_{DS2}}$$

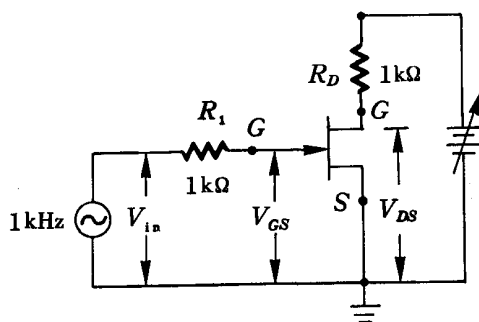


圖 19  $Z_{IN}$  的測量

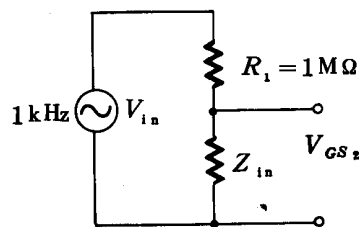


圖 20 等效電路

表 3

$R_D$	$1k\Omega$	$2.2k\Omega$	$4.7k\Omega$
測量值			
$V_{DS2}$			
$Z_{IN}$			

## 五、問題討論

1. 試說明 N-通道之 JFET 的  $V_{GS}$  必須為 0 或負值的理由？
2. 試說明如何以三用電表判定 JFET 為 N-型或 P-型？
3. 比較 JFET 與 BJT 的優、缺點？
4. 試解釋參數  $V_p$  的物理意義。
5. 將所量測電晶體參數代入圖 19 中的電晶體模型電路去做計算，分析其電路節點電壓是否與量測結果一致。