

# 電子學

National Taiwan Normal University

講師：莊千儀

# 一、變壓器及其相關介紹

## ● 生活中常見變壓器



多規格萬用筆記型電腦變壓器

### 規格

輸入電壓：100V~240V  
47~63Hz

輸出電壓：15V /16V /18V  
/19V /20V /22V /24V等多種  
額定定壓

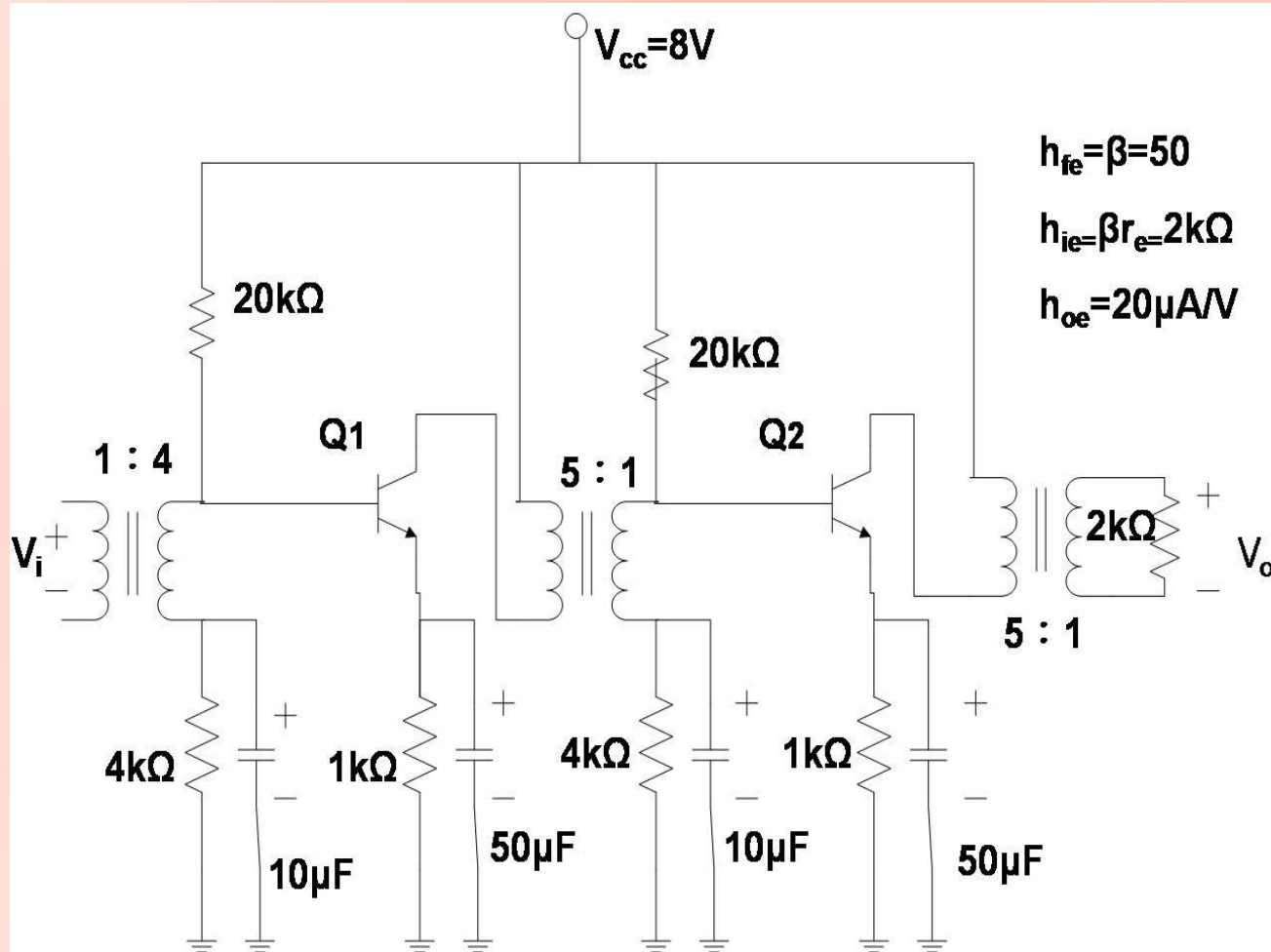
最大瓦數：90W

USB 輸出規格：5V，2A Max

過載保護：有、短路保護：有

# 一、變壓器及其相關介紹

## ● 變壓器耦合串級放大電路介紹



如圖所示為二級變壓器耦合的電晶體串級放大器，訊號源 $V_i$ 處用的是升壓變壓器，各級之間則是降壓變壓器。

(左圖為二級變壓器耦合串級放大)

# 一、變壓器及其相關介紹

---

## ● 變壓器耦合串級放大電路介紹

升壓變壓器用來提高訊號準位，  
降壓變壓器則用來讓各級的負載  
作用與前一級的輸出阻抗匹配，  
目的為獲得最大的功率轉移。

# 一、變壓器及其相關介紹

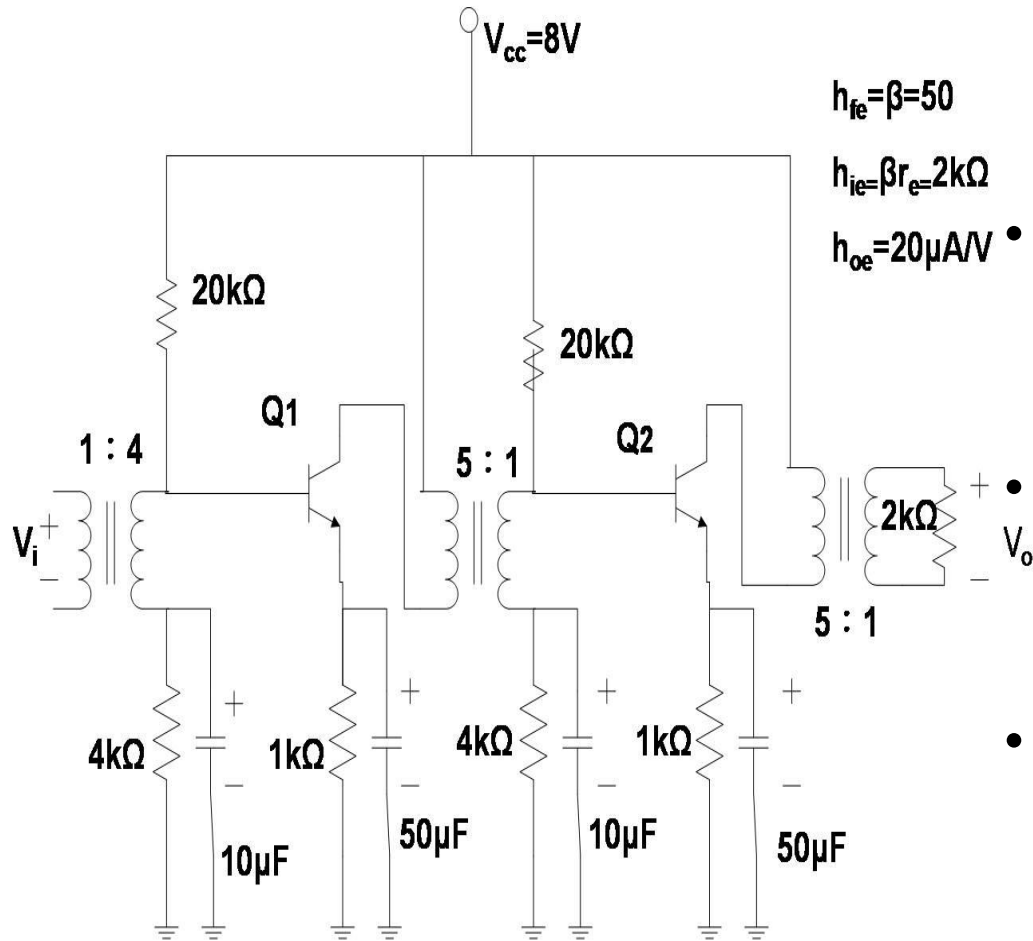
## ● RC與變壓耦合放大電路的比較

1. 在RC耦合放大器中，使用**耦合電容**來防止前一級的任何直流部分對下一級的偏壓有影響。在變壓器耦合放大器中，變壓器本身就能**隔絕直流**。
2. 在RC耦合放大器中，以電阻為負載會造成直流功率損耗，而使效率降低。在變壓器耦合放大器中，**變壓器初級線圈為放大器負載，其直流電阻趨於0** ( $X_L = 2f\pi L$ ，直流 $f \doteq 0$ ， $X_L \doteq 0$ )，直流功率損耗低，因此效率大大提高。

3. 效率：
$$\eta = \frac{P_{o(ac)}}{P_{i(dc)}} \times 100\%$$

# 一、變壓器及其相關介紹

## ● 變壓器耦合電路的缺點



- 電路體積要比RC耦合電路的尺寸大上許多 (由於變壓器體積較大)。
- 由於線圈的電感與線圈間的電容緣故，**頻率響應差**。
- 價格較RC耦合**電路貴**。

## 二、直流偏壓分析

當變壓器的線圈在直流電源下，視為短路，  
電晶體 $Q_1$ 為**分壓式偏壓法**，直流工作點可  
利用戴維寧求出 $V_{BB}$ 以及 $R_{BB}$ 。

$$V_{BB} = 8V \times \frac{4K\Omega}{20K\Omega + 4K\Omega} = 1.33V \quad R_{BB} = 20K\Omega // 4K\Omega = 3.33K\Omega$$

$$I_{B1} = \frac{V_{BB} - V_{BE1}}{R_{BB} + (1 + \beta)R_{E1}} = \frac{1.33V - 0.7V}{3.33K\Omega + (1 + 50) \times 1K\Omega} = 11.6\mu A$$

$$I_{E1} = (1 + \beta)I_{B1} = (1 + 50) \times 11.6\mu A = 0.592mA$$

$$V_{CE1} = V_{CC} - I_{E1}R_{E1} = 8V - 0.592mA \times 1K\Omega = 7.408V$$



## 二、直流偏壓分析

---

電晶體Q2的直流電路與Q1相同，  
所以第二級的直流工作點為：

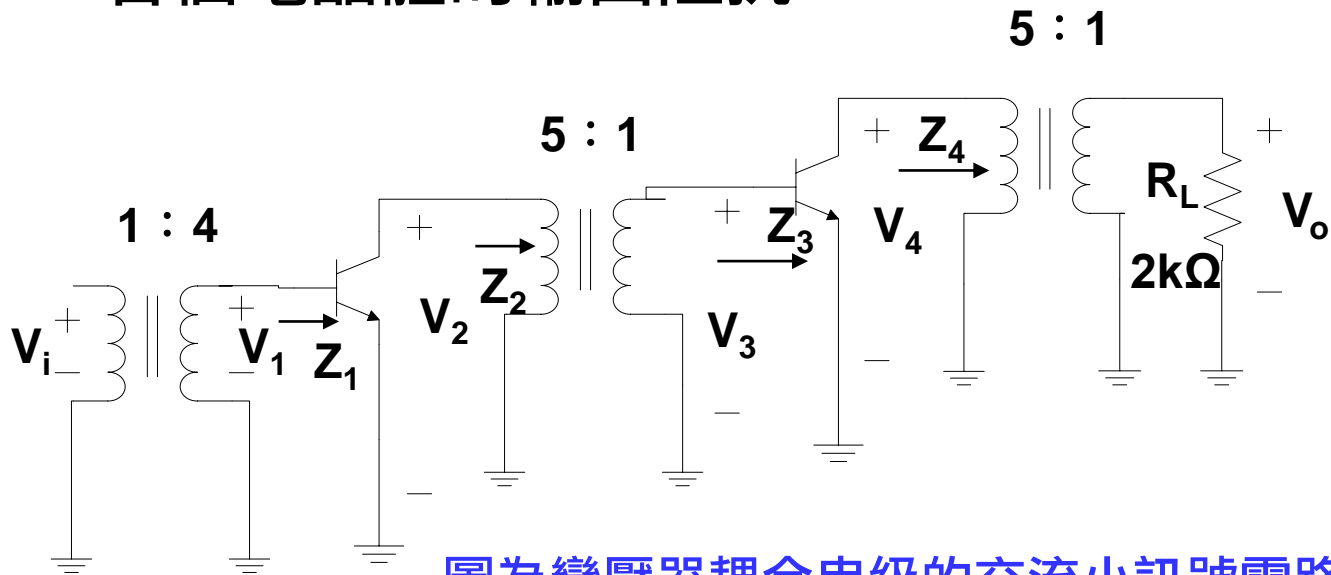
$$V_{BE2} = 0.7V \quad I_{B2} = 11.6\mu A$$

$$I_{E2} = 0.592mA \quad V_{CE2} = 7.408V$$



## 二、直流偏壓分析

- 將圖電路化成如所示的小訊號等效電路。
- 欲得**最大功率轉移**，阻抗 $Z_2$ 與 $Z_4$ 應等於各個電晶體的輸出阻抗。



圖為變壓器耦合串級的交流小訊號電路

## 二、直流偏壓分析

---

- 根據已知 $h_{oe}$ 值( $h_{oe}$ 表示電晶體的輸出導納)，可算出：

$$Z_o \cong \frac{1}{h_{oc}} = \frac{1}{20 \times 10^{-6}} = 50K\Omega$$

$$Z_4 = a^2 R_L = (5)^2 (2K\Omega) = 50K\Omega$$

- 每一級的輸入電阻為：

$$Z_1 = Z_3 \cong h_{ie} = 2K\Omega \quad Z_2 = (5)^2 (2K\Omega) = 50K\Omega$$

## 二、直流偏壓分析

---

根據圖2算出總電壓增益：

$$V_1 = \frac{N_2}{N_1} V_i = 4V_i$$

$$A_{v1} = \frac{-h_{fe} Z_L}{h_{ie}} = \frac{-h_{fe} \left( \cong \frac{1}{h_{oe}} // Z_2 \right)}{h_{ie}} = \frac{-50(50k\Omega // 50k\Omega)}{2k\Omega} = -625$$

$$V_2 = -625V_1 = -625(4V_i) = -2500V_i$$

$$V_3 = \frac{N_2}{N_1} V_2 = \frac{1}{5} V_2 = \frac{1}{5} (-2500V_i) = -500V_i$$

## 二、直流偏壓分析

---

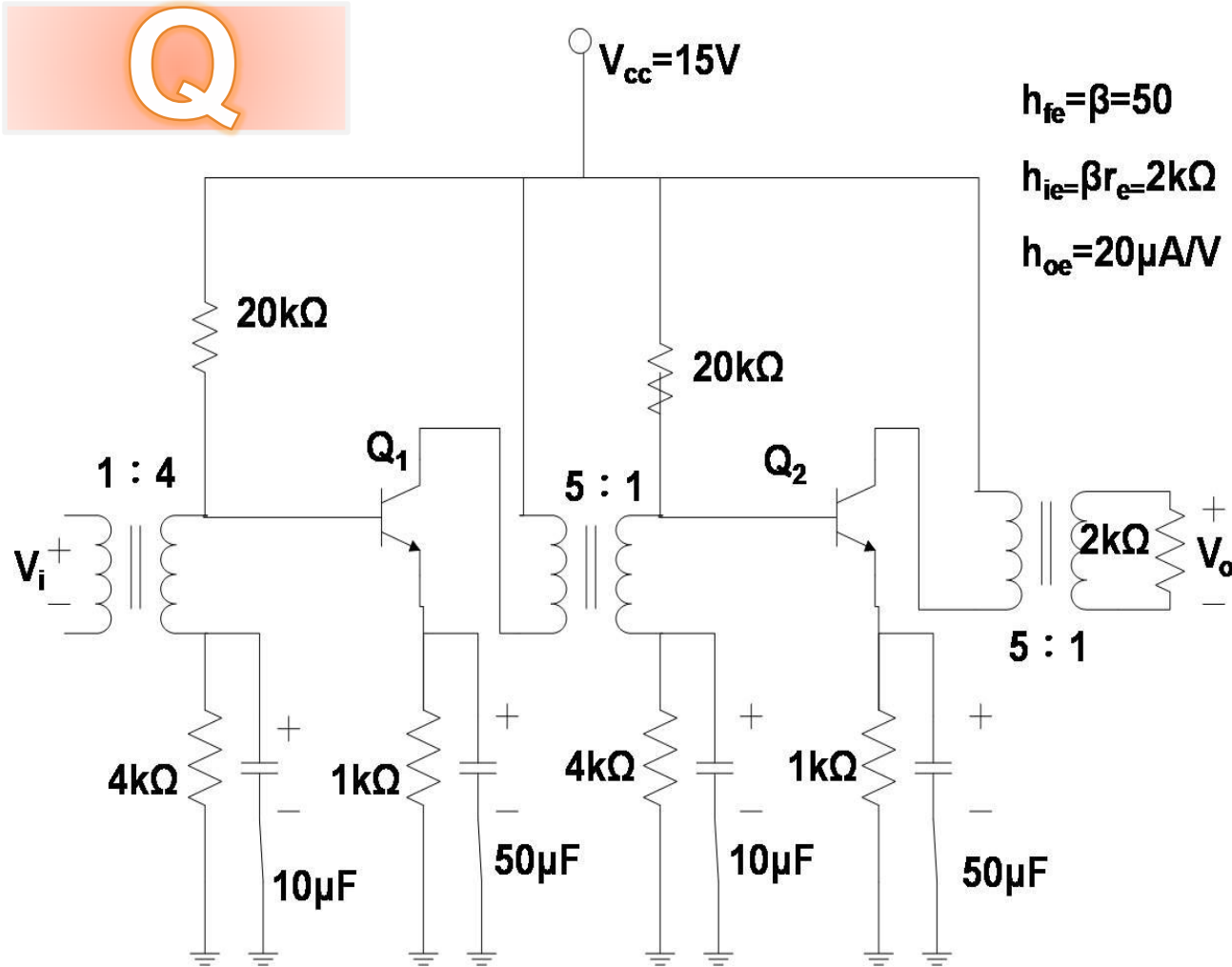
$$A_{v2} = \frac{-h_{fe}Z_L}{h_{ie}} V_i = \frac{-(50)(25k\Omega)}{2k\Omega} = -625 = \frac{V_4}{V_3}$$

$$V_4 = -625V_3 = -625(-500V_i) = 312.50 \times 10^3 V_i$$

$$V_L = \frac{1}{5} V_4 = \frac{1}{5} (312.50 \times 10^3 V_i)$$

$$A_{vT} = \frac{V_L}{V_i} = 62.50 \times 10^3$$

## 二、直流偏壓分析



- 求圖3電路中的
- (1) 直流工作點。
  - (2) 輸入阻抗 $Z_i$ 。
  - (3) 輸出阻抗 $Z_o$ 。
  - (4) 電壓增益 $A_v$ 。
  - (5) 電流增益 $A_i$ 。

圖3 二級變壓器耦合串級放大電路

**Q**

## 二、直流偏壓分析

A

(1) 直流工作點，第一級 $Q_1$ 的計算

$$V_{BB} = 15V \times \frac{4K\Omega}{20K\Omega + 4K\Omega} = 2.5V$$

$$R_{BB} = 20K\Omega // 4K\Omega = \frac{20k\Omega \times 4k\Omega}{20k\Omega + 4k\Omega} = 3.33K\Omega$$

$$I_{B1} = \frac{V_{BB} - V_{BE1}}{R_{BB} + (1 + \beta)R_{E1}} = \frac{2.5V - 0.7V}{3.33k\Omega + (1 + 50) \times 1K\Omega} = 33.13\mu A$$

$$I_{E1} = (1 + \beta)I_{B1} = (1 + 50) \times 33.13\mu A = 1.69mA$$

$$V_{CE1} = V_{CC} - I_{E1}R_{E1} = 15V - 1.69mA \times 1K\Omega = 13.31V$$

A

## 二、直流偏壓分析

A

第二級 $Q_2$ 的計算：由於 $Q_2$ 之直流偏壓電路與 $Q_1$ 相同因此得到

$$\rightarrow I_{B2} = 33.13 \mu A \quad I_{E2} = 1.69 \text{mA} \quad V_{CE2} = 13.31 \text{V}$$

(2)輸入阻抗 $Z_i$

$$Z_i = a^2 Z_1 = a^2 h_{ie} = \left( \frac{1}{4} \right)^2 \times 2 \text{k}\Omega = 0.125 \text{k}\Omega = 125 \Omega$$

(3)輸出阻抗 $Z_o$

$$Z_o = 50 \text{k}\Omega$$

A



## 二、直流偏壓分析

A

### (4) 電壓增益 $A_v$

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_4} \bullet \frac{V_4}{V_3} \bullet \frac{V_3}{V_2} \bullet \frac{V_2}{V_1} \bullet \frac{V_1}{V_i} \\ &= \frac{1}{a} \times \frac{-h_{fe2} \left( 50k\Omega // \frac{1}{h_{oe2}} \right)}{h_{ie2}} \times \frac{1}{a} \times \frac{-h_{fe1} \left( 50k\Omega // \frac{1}{h_{oe1}} \right)}{h_{ie1}} \times a \\ &= \frac{1}{5} \times \frac{-(50)(50k\Omega // 50k\Omega)}{2k\Omega} \times \frac{1}{5} \times \frac{-(50)(50k\Omega // 50k\Omega)}{2k\Omega} \times 4 \\ &= \frac{1}{5} \times (-625) \times \frac{1}{5} \times (-625) \times 4 = 62500 = 62.50 \times 10^3 \end{aligned}$$

A

## 二、直流偏壓分析

A

(5) 電流增益  $A_i$

$$\begin{aligned} A_i &= \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_o}{i_{c2}} \bullet \frac{i_{c2}}{i_{b2}} \bullet \frac{i_{b2}}{i_{c1}} \bullet \frac{i_{c1}}{i_{b1}} \bullet \frac{i_{b1}}{i_i} \\ &= a \times h_{fe2} \times (-a) \times h_{fe1} \times \frac{1}{a} \\ &= 5 \times 50 \times (-5) \times 50 \times \frac{1}{4} = -15625 \end{aligned}$$

A

## 二、直流偏壓分析

---

### 歷屆試題演練

有一變壓器之初級與次級圈數比為 $10:1$ ，  
若次級圈接上一個 $8$ 的負載，則從初級看  
入的阻抗應為

- (A)80    (B)160    (C)540    (D)800

### 歷屆試題演練

## 二、直流偏壓分析

---

### 歷屆試題解答

$$R_L' = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \times R_L = (10)^2 \times 8 = 800\Omega$$

Ans: (D)

### 歷屆試題解答

# 三、接面場效電晶體

---

## ● 接面場效電晶體實體零件



型號：K30A (N通道)

由左至右分別為：

S(源級)

G(閘極)

D(汲極)

# 三、接面場效電晶體

---

## ● 接面場效電晶體介紹

- 雙極性接面電晶體(BJT)導通時，包含**電子**和**電洞**的移動。
- 場效電晶體的電流僅由**多數載子**決定，**P通道**為**電洞流**，**N通道**為**電子流**，所以場效電晶體也稱為**單極性電晶體**。

# 三、接面場效電晶體

---

## ● 結構與符號

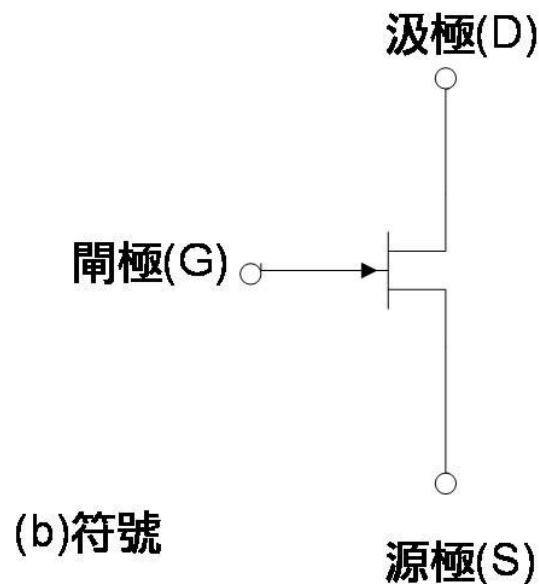
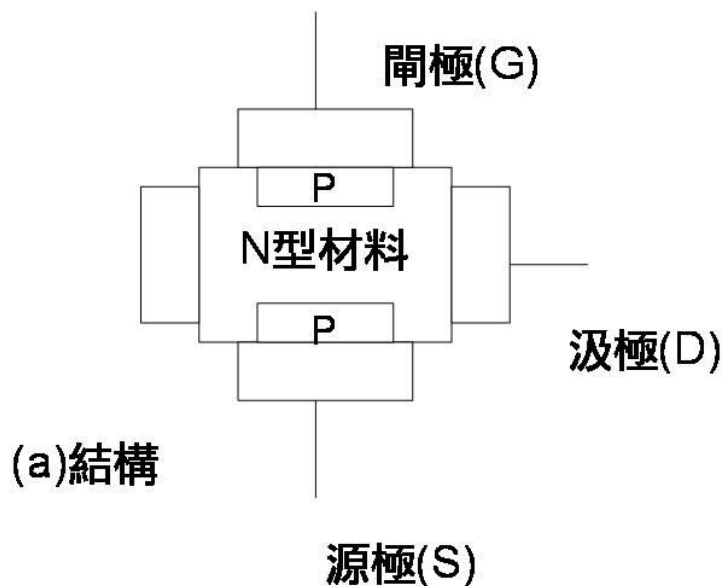
- 接面場效電晶體 (junction field effect transistor , **JFET**) 。
- **源極**(source , **S**)與**汲極**(drain , **D**) :  
兩端各以歐姆接觸的方式接出 。
- **閘極**(gate , **G**) :  
中間部分以擴散方式做成一環狀的  
P或N型區而形成 。
- 因形成一環狀的P-N接合面，故為其名 。



# 三、接面場效電晶體

## ● N通道JFET的結構與符號

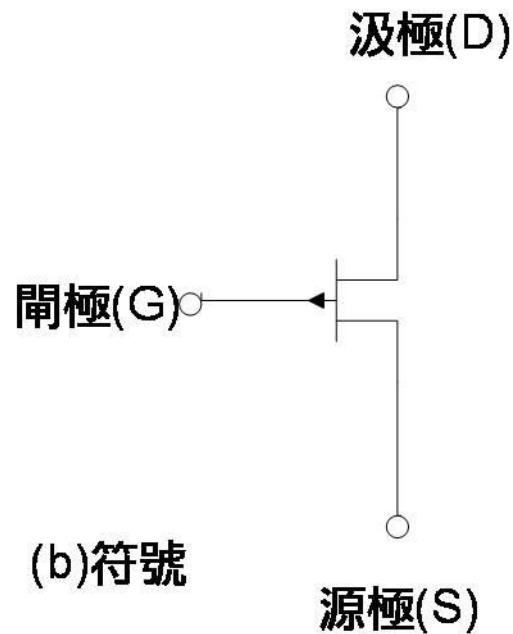
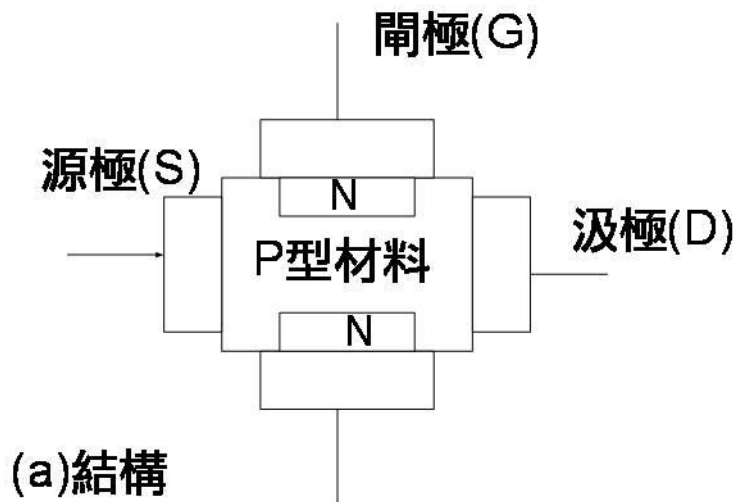
- 以N型半導體作為中間部分通道，而以P型物質擴散成一環狀閘極。(P型閘極N通道)
- 結構與符號：



# 三、接面場效電晶體

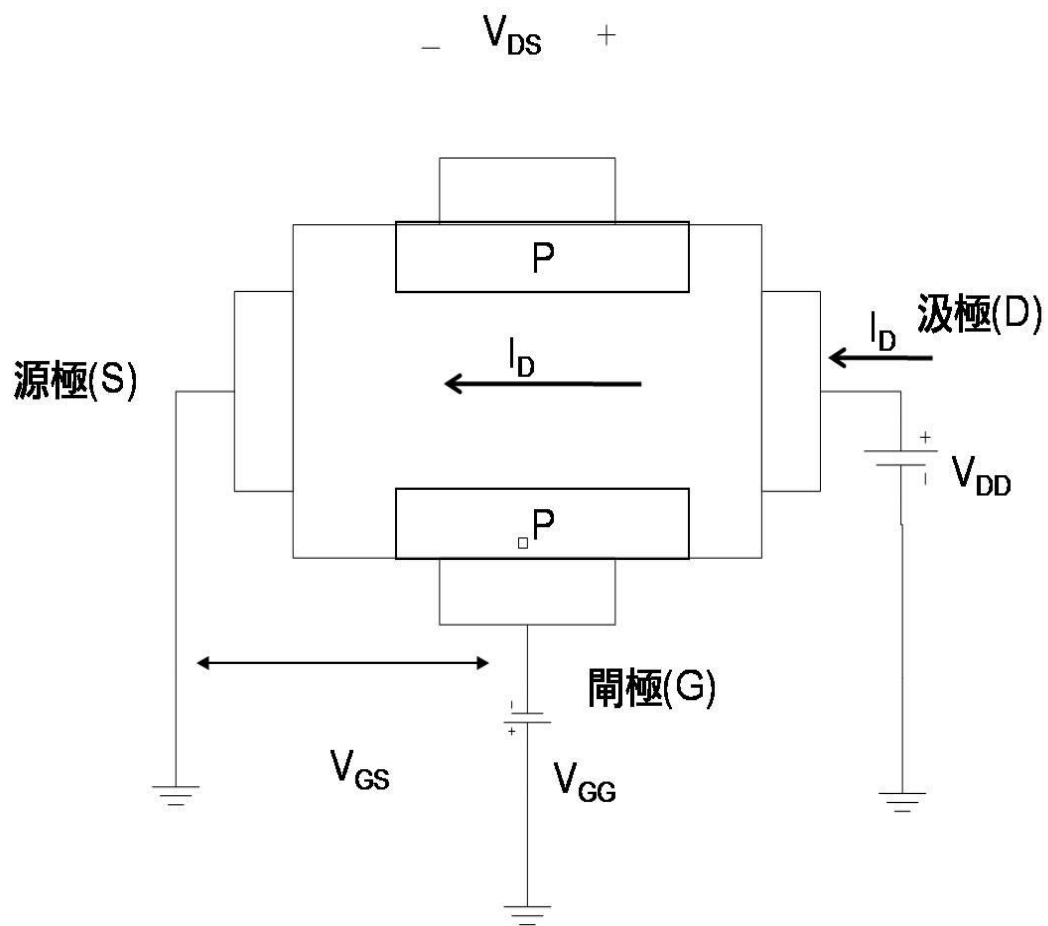
## ● P通道JFET的結構與符號

- 以P型半導體作為中間部分通道，而以N型物質擴散成一環狀閘極。(N型閘極P通道)
- 結構與符號：



# 三、接面場效電晶體

## 基本動作原理

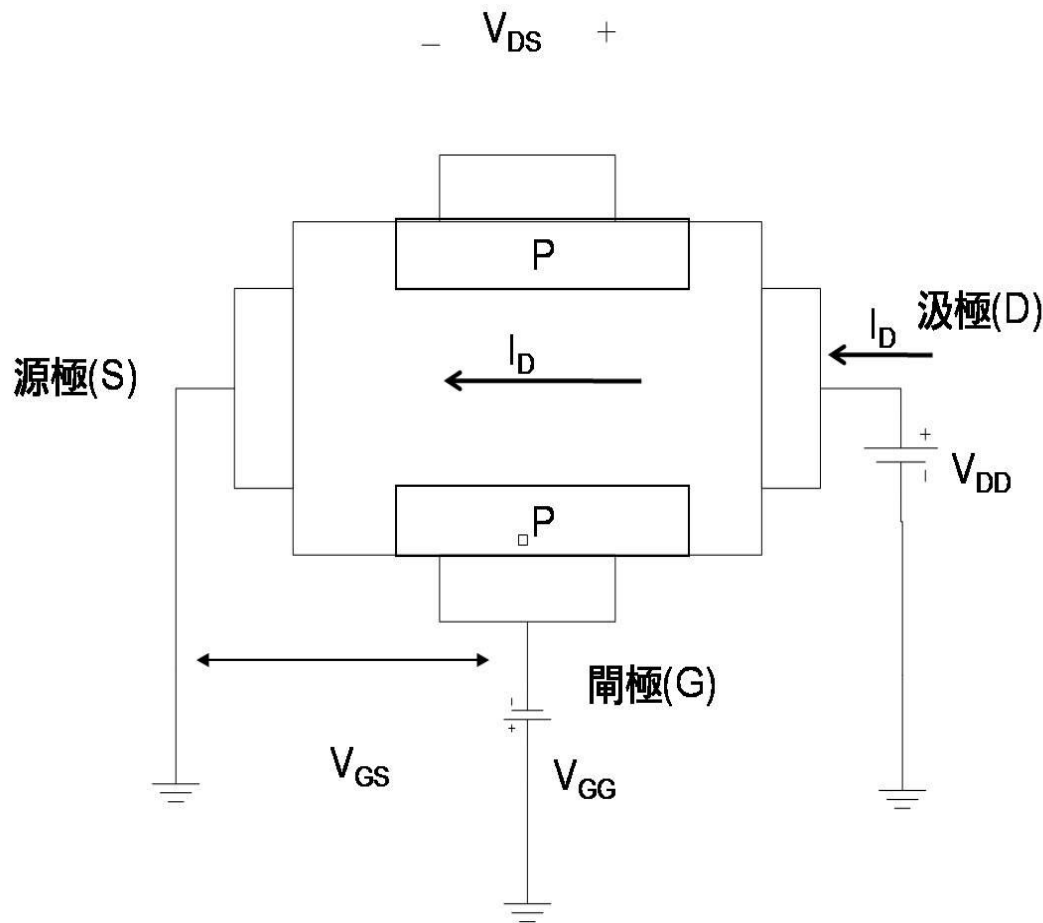


電源電壓 $V_{DD}$ 在汲極(D)和源極(S)之間提供一個壓降 $V_{DS}$ ，而產生電流 $I_D$ 由汲極 (D)流向源極(S)。(實際上在N通道中電子是由源極(S)流向汲極(D)，圖中 $I_D$ 流向為慣用電流方向。)

圖4 N通道JFET的基本工作情形

# 三、接面場效電晶體

## 基本動作原理



閘極(G)施加一逆向偏壓  $V_{GG}$ ，於P-N接合面將產生一**空乏區**，空乏區N側為正離子，P側為負離子，電力由正離子發出而終於負離子建立起一電場，所以在空乏區內無電流載子(電子或電洞)，**傳導係數為0**。

圖4 N通道JFET的基本工作情形

# 三、接面場效電晶體

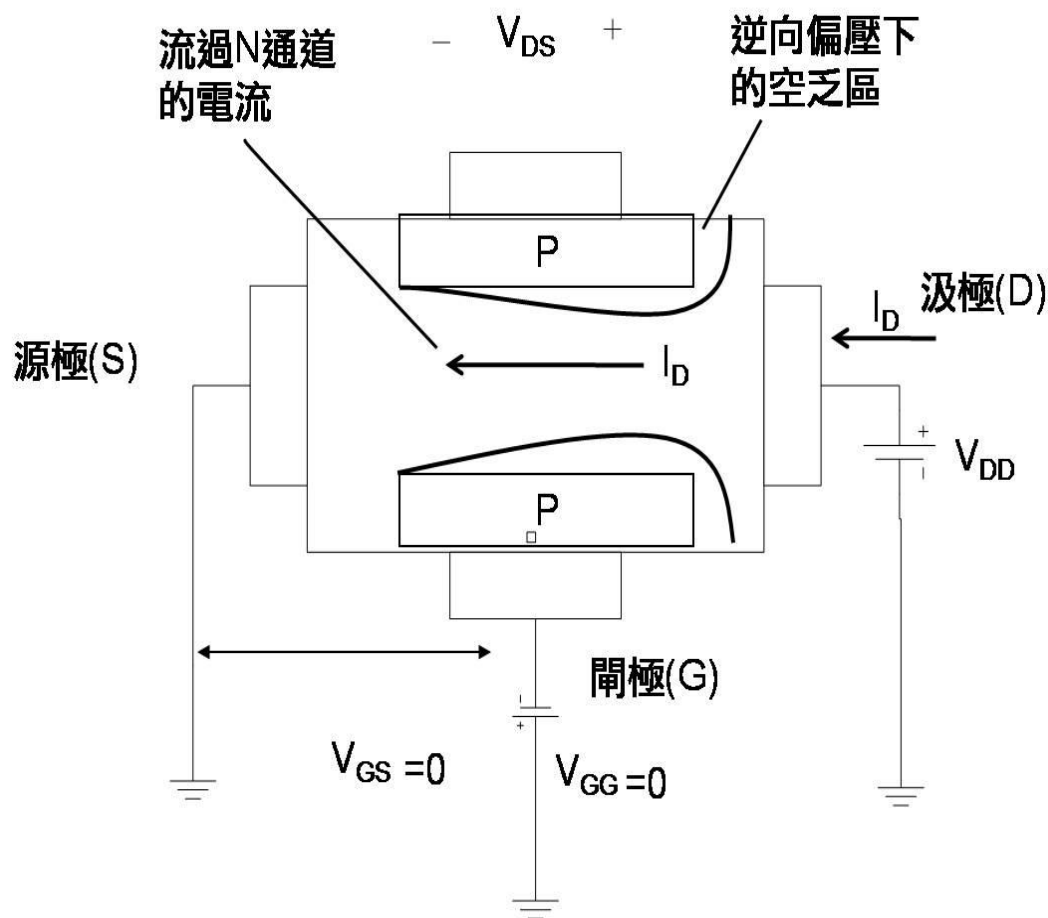
---

## ● 基本動作原理

- 改變逆向偏壓 $V_{GG}$ 大小→改變空乏區寬度→控制有效通道截面積→控制電流 $I_D$ 大小  
( $I_D = f(V_{GS})$ )。
- 所以FET屬電壓控制型元件。(由閘極電壓控制汲極電流)

# 三、接面場效電晶體

## 基本動作原理

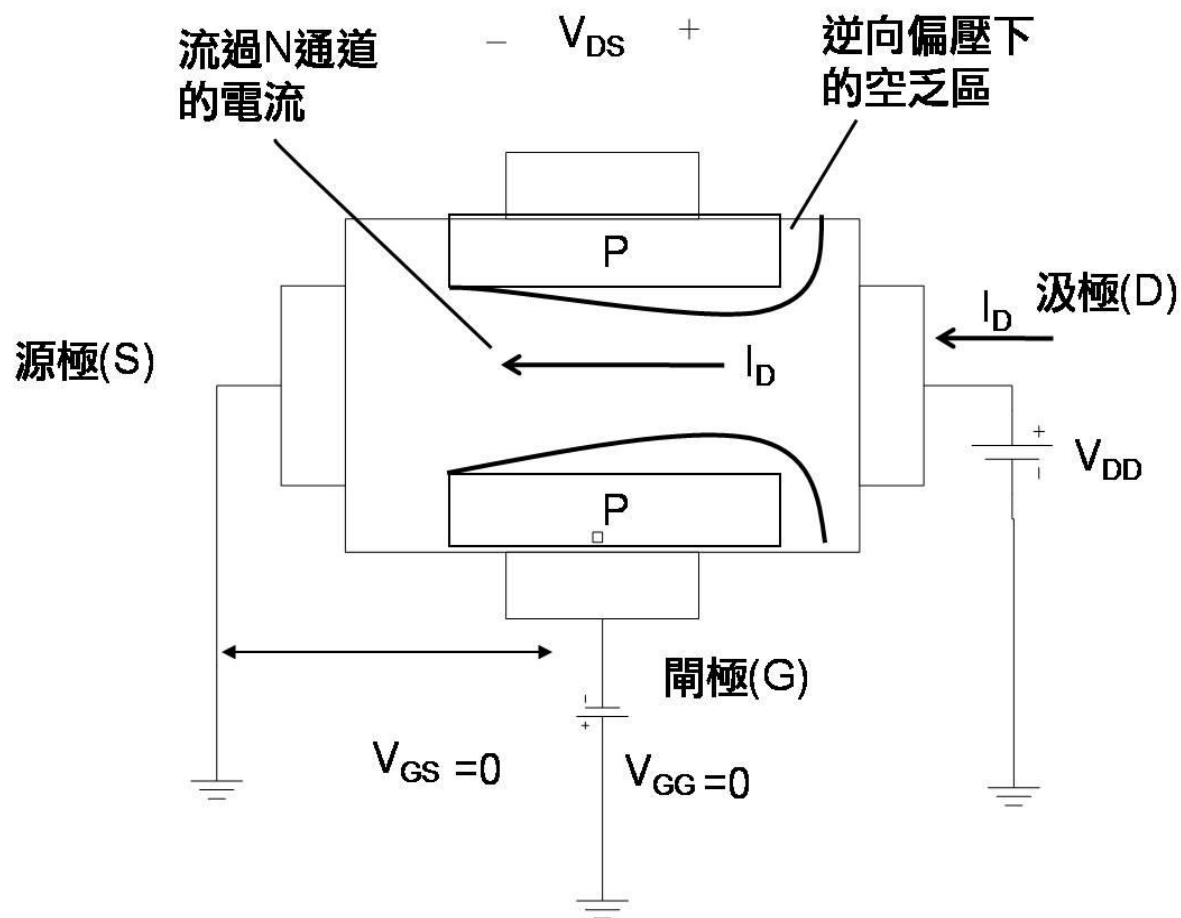


如圖5，在閘、源極(G、S)兩端的逆向偏壓為 $V_{GG}$ ，閘、汲極間的逆向偏壓為 $V_{GG} + V_{DD}$ ，因此沿著汲極到源極方向P-N接面所受的逆向偏壓不相等，以致於空乏區的寬度也不相等。

圖5  $I_D$ 隨 $V_{DS}$ 作線性變化時通道的情形( $V_{GS}=0$ )

# 三、接面場效電晶體

## 基本動作原理



越接近汲極(D)，  
逆向偏壓越大，  
遠離則越小。  
逆向偏壓越大，  
空乏區越厚，  
有效通道就越窄。

圖5  $I_D$ 隨 $V_{DS}$ 作線性變化時通道的情形( $V_{GS}=0$ )



### 三、接面場效電晶體

---

#### Q&A

Q: 簡述接面場效電晶體(JFET)的工作原理。

A: 改變逆向偏壓 $V_{GG}$ 的大小，控制空乏區的寬度。

#### Q&A

### 三、接面場效電晶體

---

#### Q&A

下列何者利用單一載子工作，又稱為單極性電晶體？

- (A)NPN電晶體
- (B)PNP電晶體
- (C)場效電晶體
- (D)發光二極體。

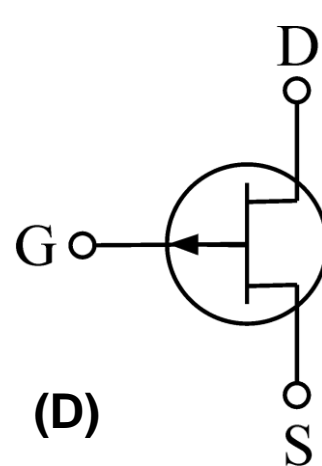
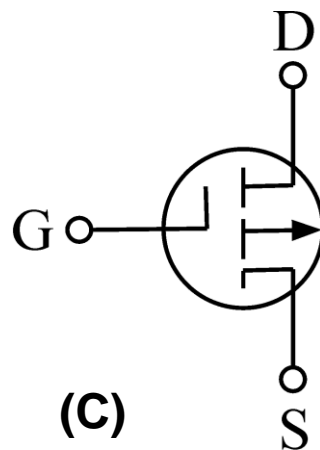
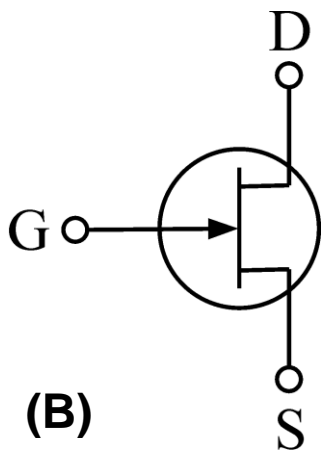
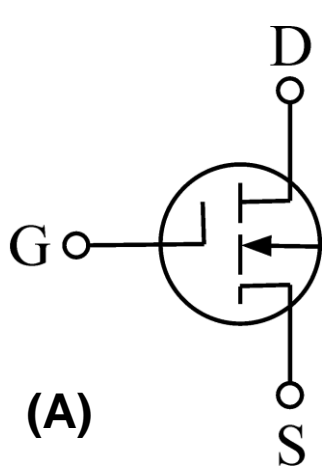
ANS: (C)

#### Q&A

### 三、接面場效電晶體

#### 歷屆試題演練

下列何者為N通道接面場效電晶體(JFET)的電路符號？



#### 歷屆試題演練

### 三、接面場效電晶體

---

#### 歷屆試題解答

詳解：(A)增強型NMOS

(C)增強型PMOS

(D)P通道JFET

Ans: (B)

歷屆試題解答