

實 習 十 二

雙載子接面電體交流小訊號放大電路（四）

—— 達靈頓對放大器

◆ 實習目的

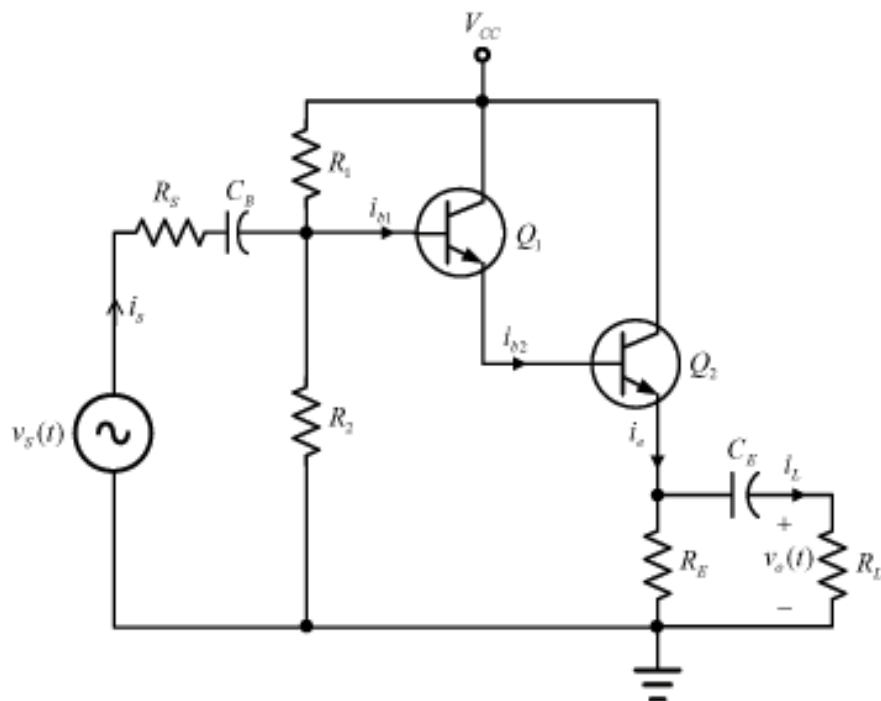
1. 藉由實習過程，以瞭解達靈頓放大器（共集極串級放大器）之交流小訊號特性。。
2. 藉由實習過程，以瞭解達靈頓放大器之實際應用。



相關知識

- ◆ 在某些實際的電子電路之應用上，需求極高電流增益，特別適用於以小電流來驅動高功率大電流之負載，本節將介紹一種共集極組態串接放大器電路，稱為達靈頓對 (Darlington pair) 電路來達成上述之需要。

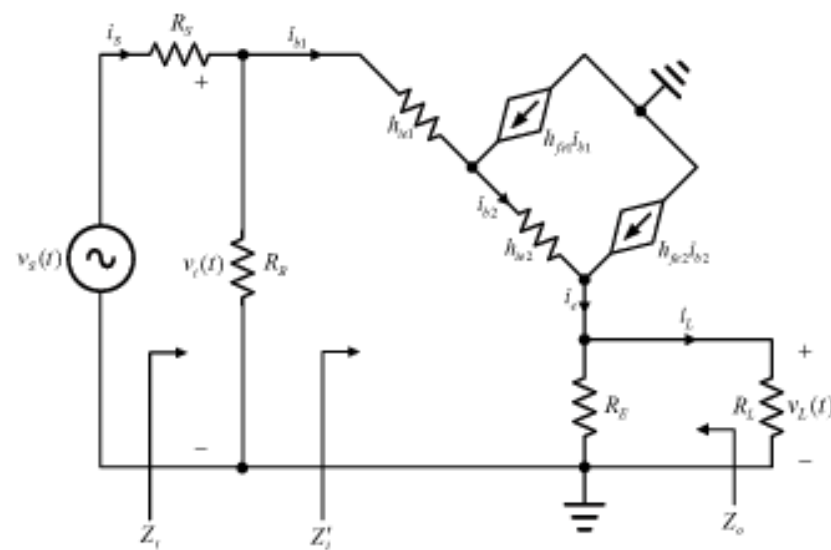
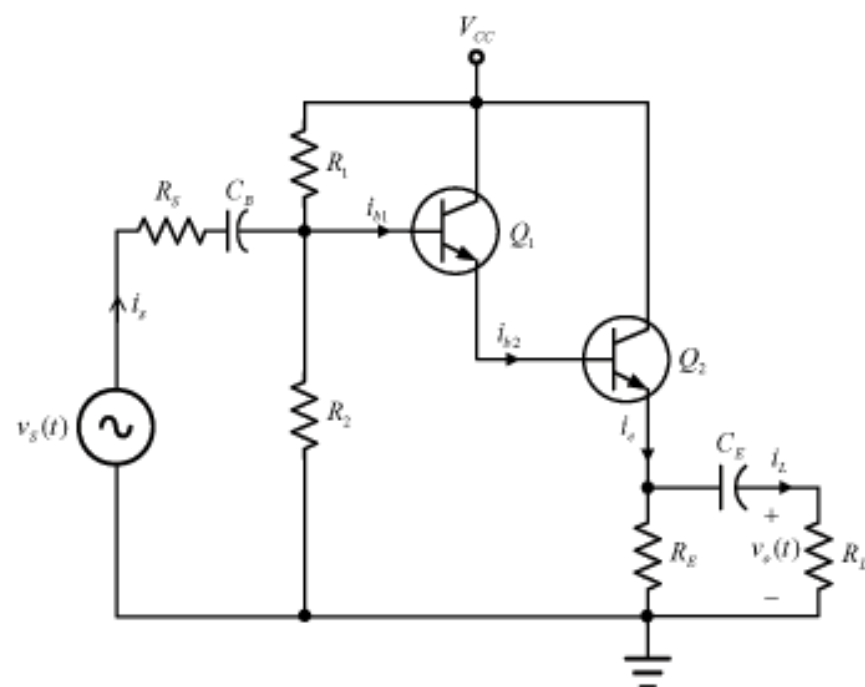
- ◆ 將兩個二個共集極放大器串連起來，而交流輸入訊號 $v_s(t)$ 由第一級電晶體之基極進入，再利用第一級電晶體之射極輸出來推動第二級電晶體的基



- ◆ 觀察右上圖可知，達靈頓對電路之輸入電阻與電流增益會產生累增效應，因此會具極高之輸入阻抗與電流增益。



- ◆ 若將所有耦合電容與旁路電容**短路**，並**移掉**所有之直流電源（即將**直流電源接地**）後，並以共集極組態之**簡化混合 h 參數小訊號模型**來取代電晶體後，即可得此**達靈頓對電路之小訊號等效電路**，如下圖所示。



- ◆ 利用上圖之**簡化混合 h 參數小訊號等效電路**，便可求出此放大器之 A_i 、 A_v 、 Z_i 與 Z_o 如下：



(a) **電流增益** A_i : 由右圖之**輸入迴路**可得

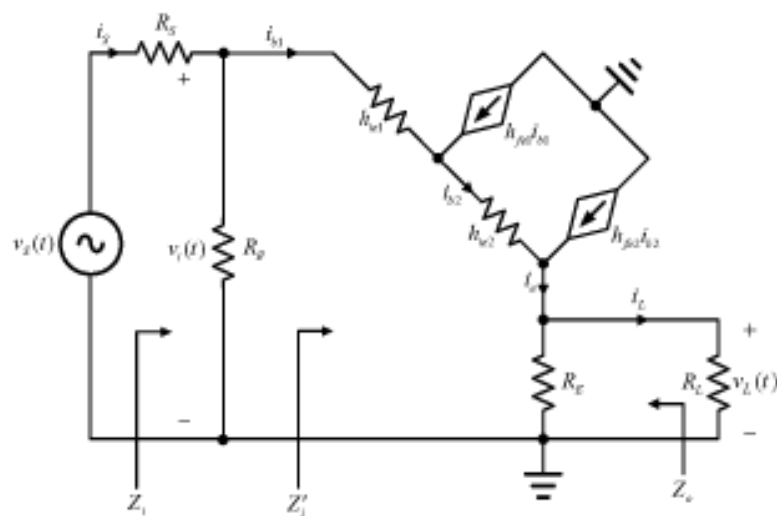
$$i_{b2} = (1 + h_{fe1}) \cdot i_{b1} \quad , \quad i_e = (1 + h_{fe2}) \cdot i_{b2}$$

整理上面兩式，可得達靈頓對電路之**電流增益** A_i 為

$$A_i = \frac{i_L}{i_s} = \frac{i_L}{i_e} \cdot \frac{i_e}{i_{b1}} \cdot \frac{i_{b1}}{i_s} = \frac{R_E}{R_E + R_L} \cdot \frac{R_B}{Z'_i + R_B} \cdot (1 + h_{fe1}) \cdot (1 + h_{fe2})$$

其中 $R_B = R_1 // R_2$, $Z'_i = h_{ie1} + (1 + h_{fe1}) \cdot h_{ie2} + (1 + h_{fe1}) \cdot (1 + h_{fe2}) \cdot (R_E // R_L)$ 。

註：觀察上式可知，達靈頓對電路之**電流增益相當高**。



(b) **電壓增益** A_v : 由下圖之輸出迴路可得

$$v_i = i_{b1} \cdot h_{ie1} + i_{b2} \cdot h_{ie2} + i_e \cdot (R_E // R_L) = i_{b1} \cdot [h_{ie1} + (1 + h_{fe1}) \cdot h_{ie2} + (1 + h_{fe1}) \cdot (1 + h_{fe2}) \cdot (R_E // R_L)]$$

$$v_L = i_e \cdot (R_E // R_L) = i_{b1} \cdot (1 + h_{fe1}) \cdot (1 + h_{fe2}) \cdot (R_E // R_L)$$

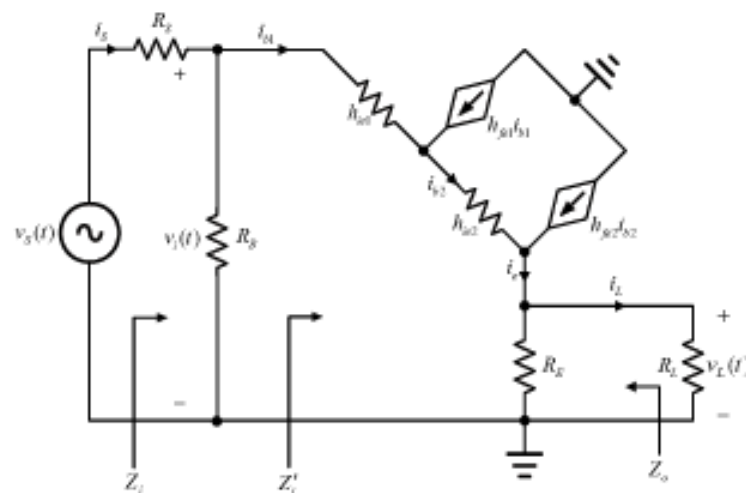
而達靈頓對電路之**電壓增益** $A'_v = \frac{v_L}{v_i} = \frac{(1 + h_{fe1}) \cdot (1 + h_{fe2}) \cdot (R_E // R_L)}{h_{ie1} + (1 + h_{fe1}) \cdot h_{ie2} + (1 + h_{fe1}) \cdot (1 + h_{fe2}) \cdot (R_E // R_L)}$ 。

註：觀察上式可知，達靈頓對電路之**電壓增益小於 1**，且與單級之共集極態放大器一樣，
電壓增益非常接近 1 (正值)。

觀察右圖之輸入迴路，可得達靈頓對放大器之**電壓增益** A_v (考慮 R_S 與 R_B) 為

$$A_v = \frac{v_L}{v_s} = \frac{v_L}{v_i} \cdot \frac{v_i}{v_s} = \frac{(1 + h_{fe1}) \cdot (1 + h_{fe2}) \cdot (R_E // R_L)}{h_{ie1} + (1 + h_{fe1}) \cdot h_{ie2} + (1 + h_{fe1}) \cdot (1 + h_{fe2}) \cdot (R_E // R_L)} \cdot \frac{Z_i''}{R_S + Z_i''}$$

其中 $Z_i'' = R_B // Z_i'$ 。



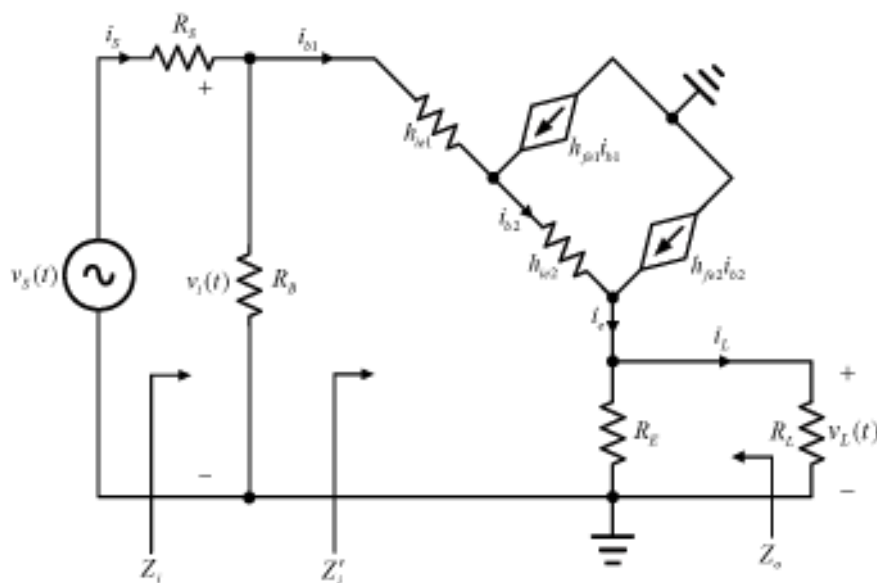
(c) **輸入阻抗** Z_i : 由下圖之**輸入迴路**可得輸入阻抗 Z'_i (不考慮 R_B) 為

$$Z'_i = \frac{v_i}{i_{b1}} = h_{ie1} + (1 + h_{fe1}) \cdot h_{ie2} + (1 + h_{fe1}) \cdot (1 + h_{fe2}) \cdot (R_E // R_L)$$

註 : 觀察上式可知，達靈頓對電路之**輸入阻抗相當高**，通常有**幾百萬歐姆**。

最後利用下圖之輸入迴路，可得達靈頓對放大器之**輸入阻抗** Z_i 為

$$Z_i = \frac{v_i}{i_{b1}} = R_B // Z'_i$$



(d) **輸出阻抗** Z_o :

根據定義可知，令 v_s 等於零，移去 R_L ，並在輸出端加上 v_2 ，即可得出放大器之輸出阻抗 Z_o 為

$$Z_o = \frac{v_2}{i_2} \Big|_{v_s = 0, R_L \rightarrow \infty}$$

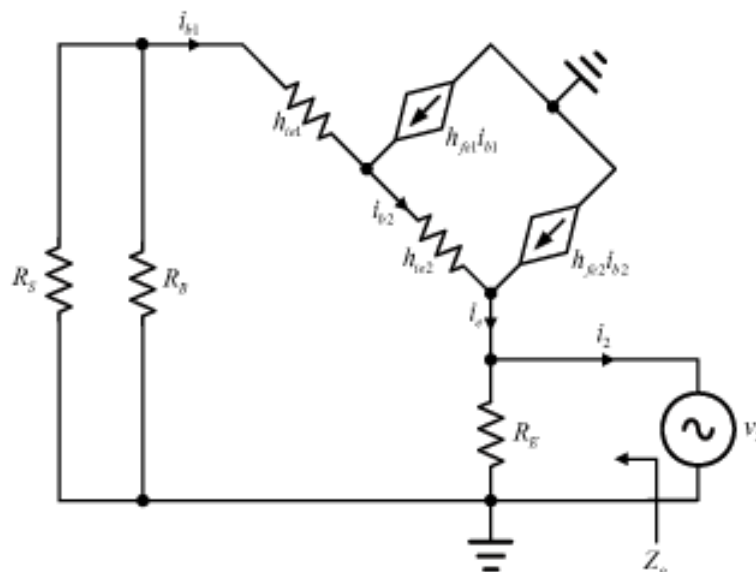
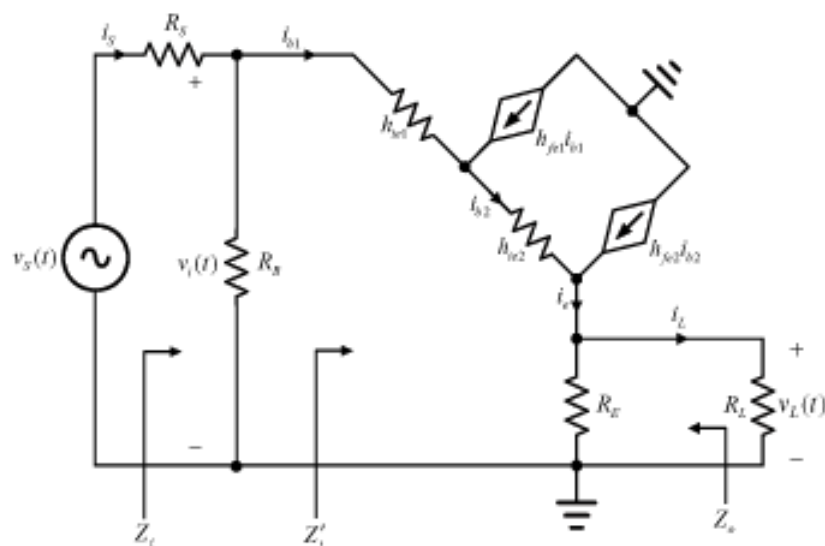
由上式之定義，重繪右圖之**等效電路**，如右下圖所示。觀察右圖可得**電流** i_{b2} 為

$$i_{b2} = \frac{-(h_{ie1} + R_i) \cdot i_{b1} - v_2}{h_{ie2}}$$

將 $i_{b2} = (1 + h_{fe1}) \cdot i_{b1}$ 帶入上式可得

$$(1 + h_{fe1}) \cdot i_{b1} = \frac{-(h_{ie1} + R_i) \cdot i_{b1} - v_2}{h_{ie2}}$$

$$\rightarrow v_2 = -i_{b1} \cdot [h_{ie2}(1 + h_{fe1}) + (h_{ie1} + R_i)]$$



再觀察右下圖可得電流 i_2 為

$$\begin{aligned} i_2 &= \frac{v_2}{R_E} - i_{b2} - h_{fe2} \cdot i_{b2} = \frac{v_2}{R_E} - (1 + h_{fe2}) \cdot i_{b2} = \frac{v_2}{R_E} - (1 + h_{fe1}) \cdot (1 + h_{fe2}) \cdot i_{b1} \\ &= v_2 \left[\frac{1}{R_E} + \frac{(1 + h_{fe1}) \cdot (1 + h_{fe2})}{h_{ie2} \cdot (1 + h_{fe1}) + (h_{ie1} + R_i)} \right] \approx v_2 \left[\frac{1}{R_E} + \frac{(1 + h_{fe2})}{h_{ie2}} \right] \approx v_2 \left[\frac{h_{ie2} + (1 + h_{fe2}) \cdot R_E}{R_E \cdot h_{ie2}} \right] \end{aligned}$$

其中 $R_i = R_S // R_B$ 、 $i_{b1} = \frac{-v_2}{(h_{ie1} + R_i) + (1 + h_{fe2}) \cdot h_{ie2}}$ ，且假設 $h_{ie2}(1 + h_{fe1}) \gg (h_{ie1} + R_i)$ 成立。

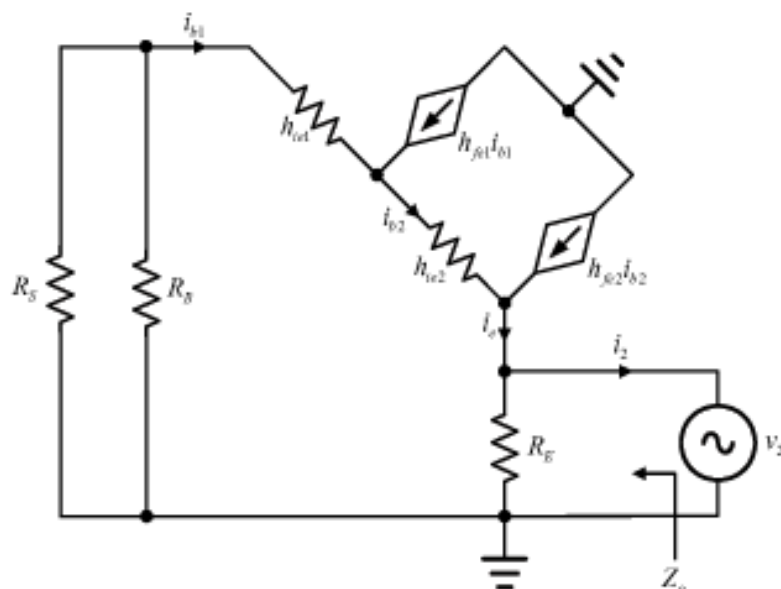
整理上式可得達靈頓對放大器之輸出阻抗

$$Z_o = \frac{v_2}{i_2} = \frac{R_E \cdot h_{ie2}}{h_{ie2} + (1 + h_{fe2}) \cdot R_E}。$$

若 $(1 + h_{fe}) \cdot R_E \gg h_{ie2}$ 成立，則達靈頓對放大器之輸出

阻抗可簡化為 $Z_o = \frac{v_2}{i_2} = \frac{h_{ie2}}{(1 + h_{fe2})}。$

註：觀察上式可知，達靈頓對電路之輸出阻抗相當低，通常僅有幾十歐姆。



實習步驟與結果

(一) 達靈頓對放大器

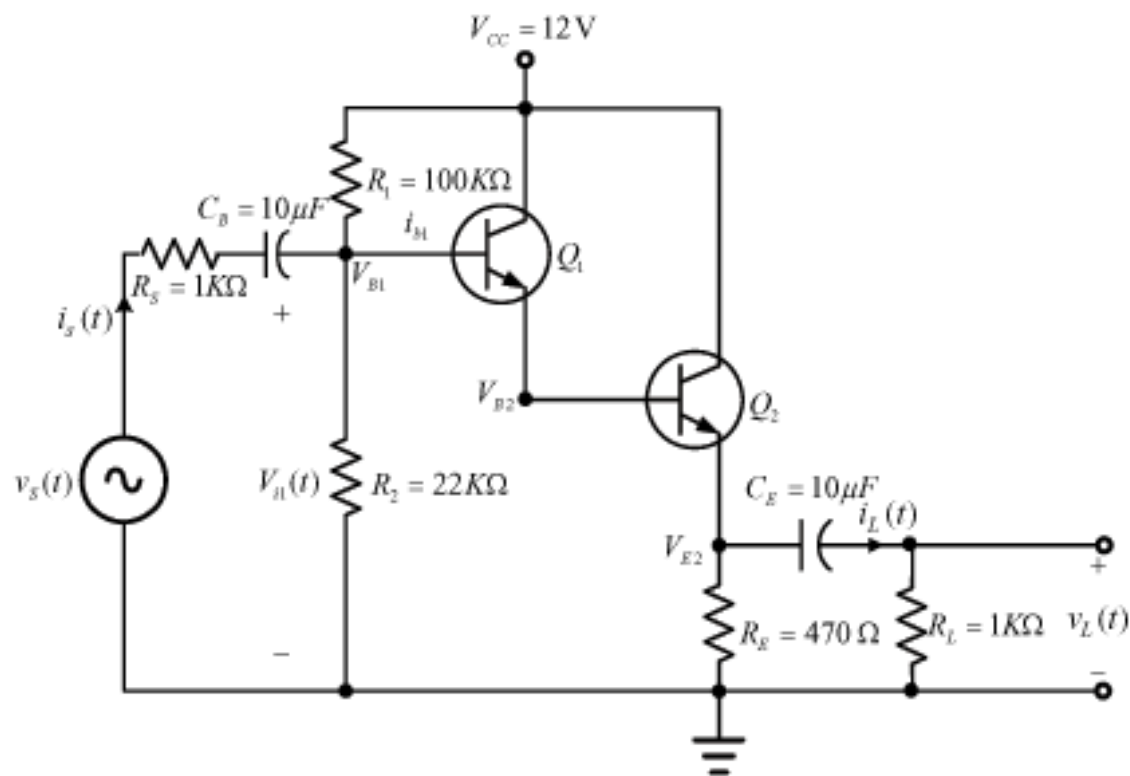


表 12-1 達靈頓對放大器之直流電壓

| 測 量 項 目 | 理 論 值 | 測 量 值 |
|----------------------|-------|-------|
| $V_{B1}(V)$ | 2.16 | 1.97 |
| $V_{B2} = V_{E1}(V)$ | 1.7 | 1.88 |
| $V_{E2}(V)$ | 1.2 | 1.34 |



表 12-2 達靈頓對放大器之交流電壓波形

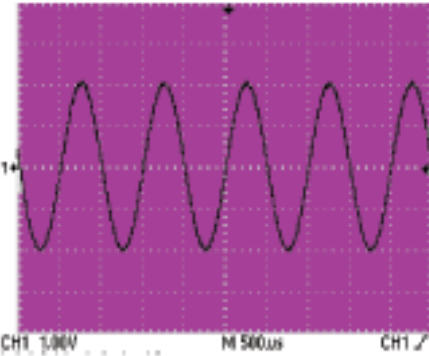
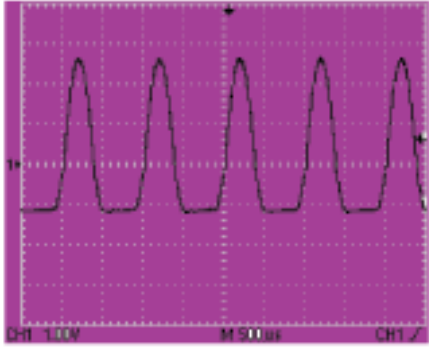
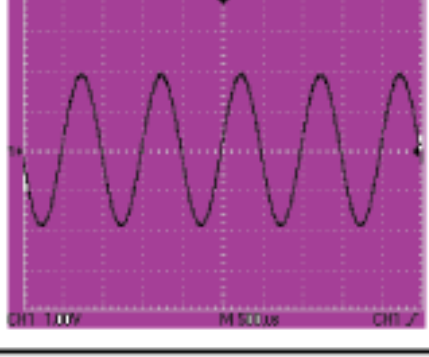
| | |
|--|---|
|  | <p>_____ Volts/DIV 峰值電壓： _____ V _____ Time/DIV 週期： _____ sec 頻率： _____ Hz</p> |
|  | <p>_____ Volts/DIV 峰值電壓： _____ V _____ Time/DIV 週期： _____ sec 頻率： _____ Hz</p> |
|  | <p>_____ Volts/DIV 峰值電壓： _____ V _____ Time/DIV 週期： _____ sec 頻率： _____ Hz</p> |



表 12-3 達靈頓對放大器的電壓與電流增益

| 測 量 項 目 | 理 論 值 | 測 量 值 |
|---|-------------|------------|
| $i_s(t) = \frac{v_s(t) - v_{i1}(t)}{R_S}$ | $107 \mu A$ | $80 \mu A$ |
| $i_L(t) = \frac{v_o(t)}{R_L}$ | $2.5 mA$ | $1.81 mA$ |
| $A_i = \frac{i_L(t)}{i_s(t)}$ | 23.3 | 22.6 |
| $A_v = \frac{v_L(t)}{v_s(t)}$ | 0.95 | 0.91 |
| $A_p = A_v \times A_i$ | 22.1 | 20.5 |



(二) 達靈頓對放大器之應用

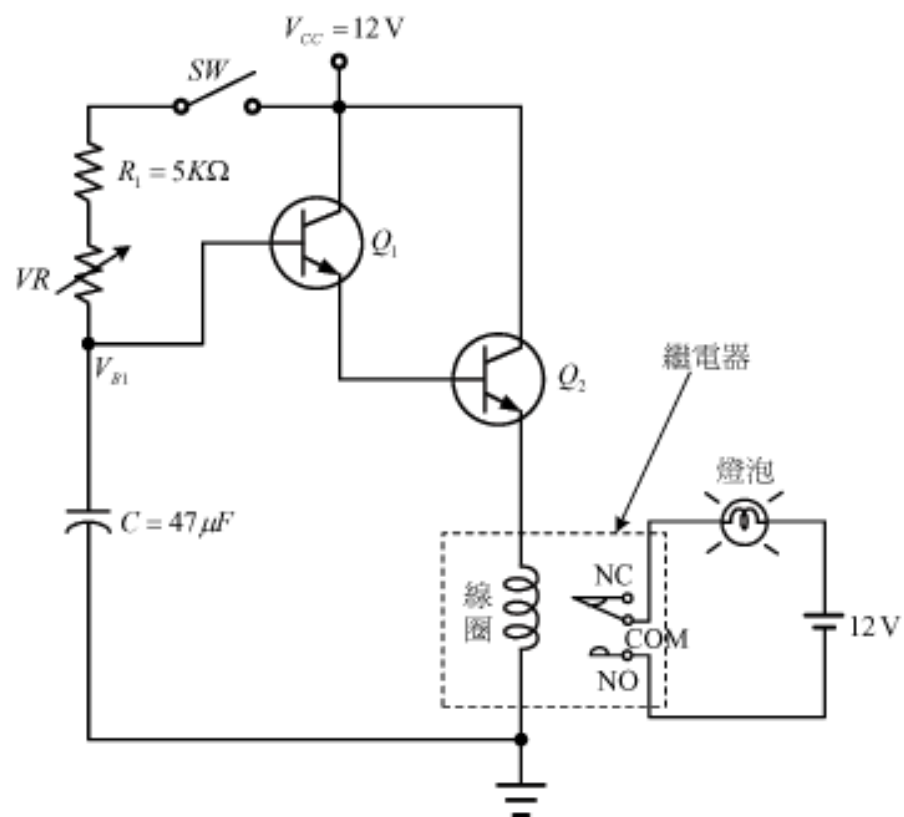


表 12-4 達靈頓對放大器 RC 延遲時間

$$C = 47\mu F$$

| $VR (\Omega)$ | 1K | 5K | 20K | 50K | 100K | 500K | 1M |
|---------------|----|----|-----|-----|------|------|-----|
| 延續時間 (Sec) | 0 | 0 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 2 | 3.8 |

導通時間(sec)

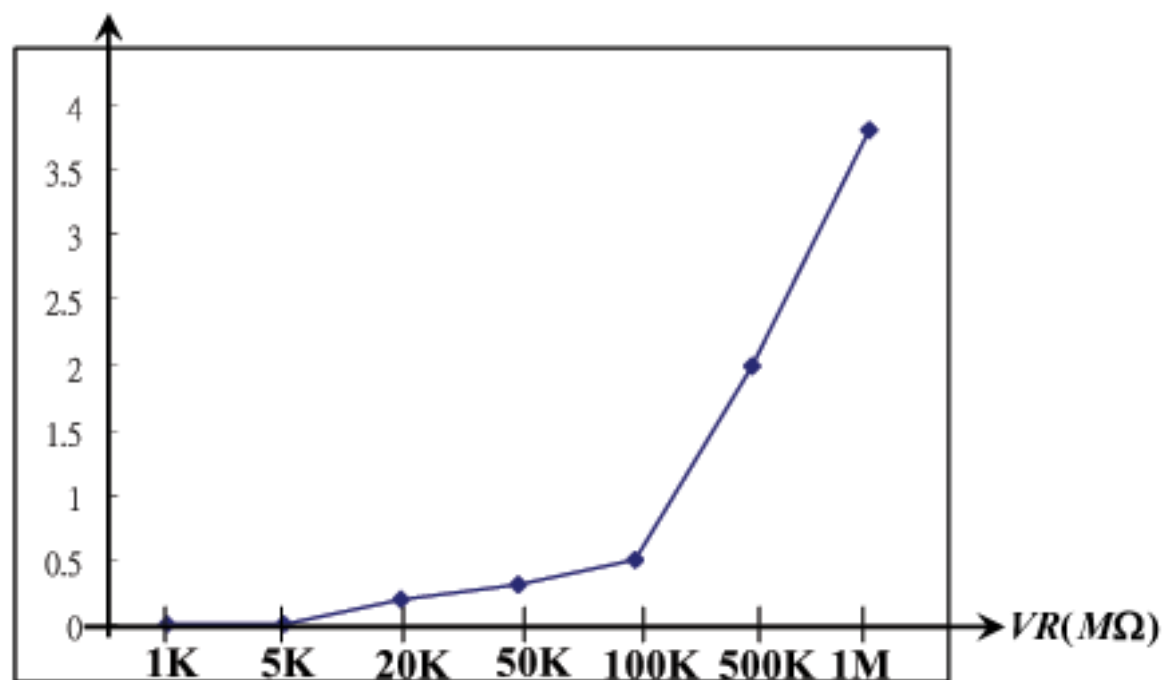


表 12-5 達靈頓對放大器 RC 延遲時間

$$C = 100\mu F$$

| $VR (\Omega)$ | 1K | 5K | 20K | 50K | 100K | 500K | 1M |
|---------------|----|----|-----|-----|------|------|-----|
| 延續時間 (Sec) | 0 | 0 | 0.3 | 0.6 | 1 | 4 | 7.2 |

導通時間(sec)

