

# 回授放大器實驗（一）

## 一、實驗目的

- (1)、瞭解基本回授放大器之觀念
- (2)、瞭解負回授對放大器的影響
- (3)、瞭解四大基本回授放大電路的型態

## 二、使用材料

### (一)、電壓串聯回授放大器（電壓放大器）

項目	編號	名稱	數量
工具		電烙鐵	1
電阻器	R <sub>s</sub>	1k	1
	R <sub>1</sub>	47k	1
	R <sub>E</sub>	2.2k	1
	R <sub>L</sub>	10k	2
可變電阻	VR1	10k	1
	VR2	1k	1
電容器	C1	10 $\mu$ F	2
電晶體	T <sub>r1</sub>	CS9013 或 2SC1312	1

### (二)、電流串聯回授放大器（互導放大器）

項目	編號	名稱	數量
工具		電烙鐵	1
電阻器	R <sub>S</sub> 、R <sub>E</sub>	1k	2
	R <sub>1</sub>	47k	1
	R <sub>2</sub> 、R <sub>L</sub>	4.7k	2
可變電阻	VR1	10k	1
電容器	C1	10 $\mu$ F	2
電晶體	T <sub>r1</sub>	CS9013	1

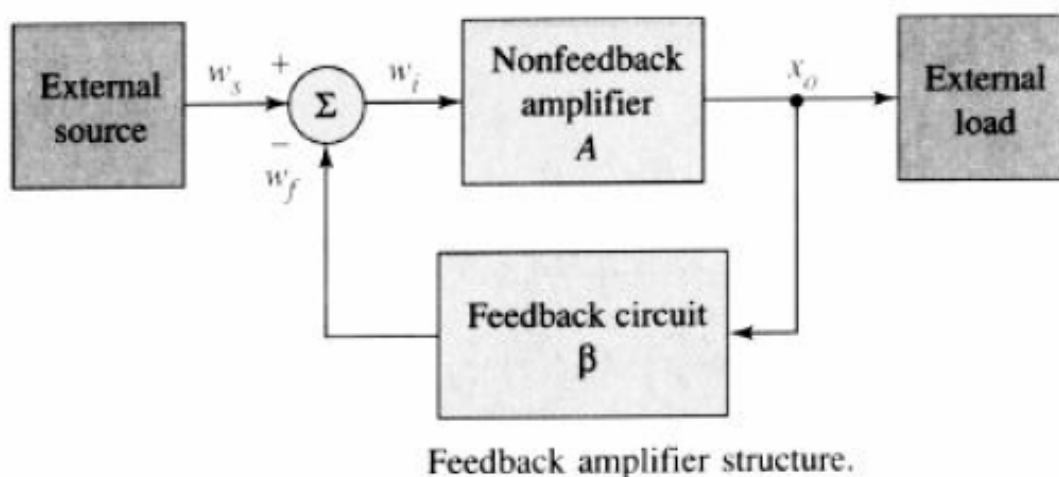
## 三、相關知識

### (一)、基本回授放大器之觀念

將放大器的輸出訊號取出一部分或全部分重新送回輸入電路，則稱為回授（feed back）或稱為反饋。具有此種回授網絡的放大系統及稱為回授放大器。當輸出信號經由回授網路加至輸入端時，如果回授信號與輸入信號相位相同時，則

兩個信號相加而波幅增大，且使電路增益增加者稱為正回授，他能使信號繼續放大而造成放大器的不穩定，於是產生振盪。回授信號與輸入信號相位相反時，則兩者信號相互抵消而波幅減小，且使電路增益降低者稱為負回授。負回授主要用來穩定電路之電壓增益，而正回授常用來產生振盪。

如圖一所示為基本回授放大器的方塊圖。圖中基本放大器的輸出信號 ( $V_o$  或  $I_o$ ) 接到取樣網路 (sampler network)，取樣網路將抽取一部分的輸出信號送到負載；而另一部分則送返道回授網路。回授網路再將此部分的回授信號送回輸入端的混合網路 (mixer network)，而與外加信號  $V_s$  混合或合併成爲一個差額信號  $V_i$  再送入基本放大器加以放大，而構成一回授放大器。藉此回授聯接可以減小電路之總電壓增益然而損失增益卻可得到較高得輸入阻抗與較低的輸出阻抗，更穩定了放大增益。



圖一

## (二)、負回授對放大器的影響

### 1. 增益減少

因輸出側經回授網路去樣後之負回授信號，回送至輸入側與原輸入信號反相，因而使整體輸出有減少的趨勢，故加入負回授後，放大器之整體增益將比無負回授時爲低。

### 2. 降低放大率對電路元件參數的靈敏度

$$S_p^{A_f} = \frac{1}{1 + A\beta} S_p^A$$

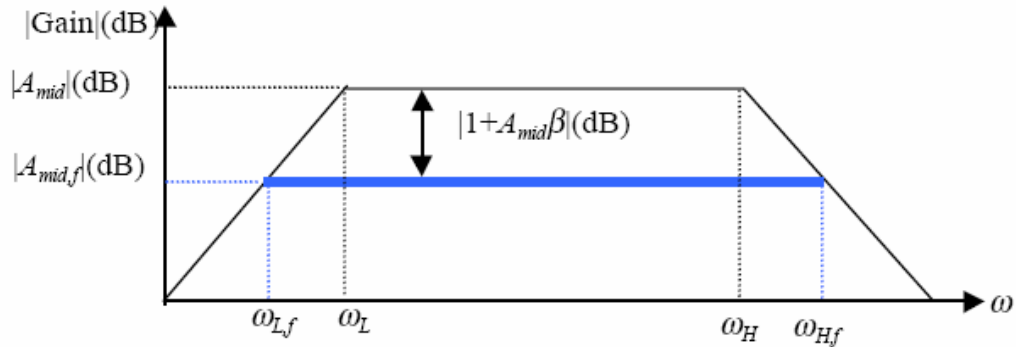
直接由靈敏度定義即可證明。

### 3. 增加頻寬

由圖二中  $f_{Hf}$  及  $f_{Lf}$  所示，故負回授放大器將增加其頻寬，此改善了放大器的頻率響應。

$$\omega_H \rightarrow (1 + A\beta)\omega_H$$

$$\omega_L \rightarrow \frac{\omega_L}{(1 + A\beta)}$$



圖二

#### 4. 減小放大器之非線性失真

由於放大器的非線性失真在負回授時減掉，或說真正的輸入訊號  $w_i$  變小。

#### 5. 改善輸入及輸出阻抗。

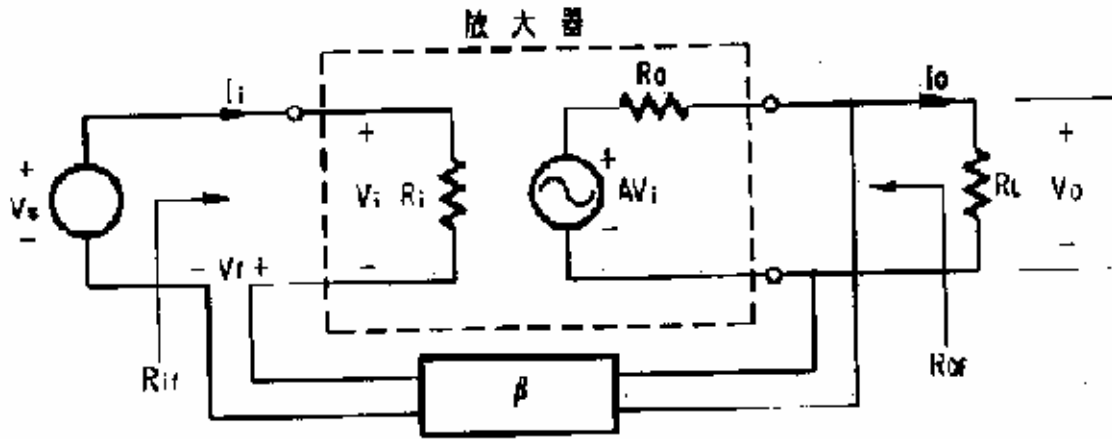
就輸入阻抗而言，若負回授信號與外加信號源串聯輸入，則輸入阻抗增加，反之，若並聯輸入，則阻抗減小。而輸出阻抗，若負回授信號是由輸出測並聯取出時，其輸出阻抗減少，反之，若為串聯取出時，其輸出阻抗增加。

### (三)、基本回授放大電路型態

本實驗先介紹其中兩種：

#### 1、電壓串聯回授放大器（電壓放大器）

回授網路的取樣信號為放大器的輸出電壓  $V_o$ ，經回授網路輸出電壓信號  $V_f$  與原輸入電壓源  $V_s$  作串聯接入，如圖所示。其增益  $A_v = V_o / V_i$ ，回授因數  $\beta = V_f / V_o$ 。電壓放大器的主要作用是將輸入電壓轉換成輸出電壓  $V_o$ 。



圖三

$$A \equiv \left. \frac{V_o}{V_i} \right|_{R_L \rightarrow \infty}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_i} = A \cdot \frac{R_L}{R_o + R_L}$$

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{A_v}{1 + \beta A_v}$$

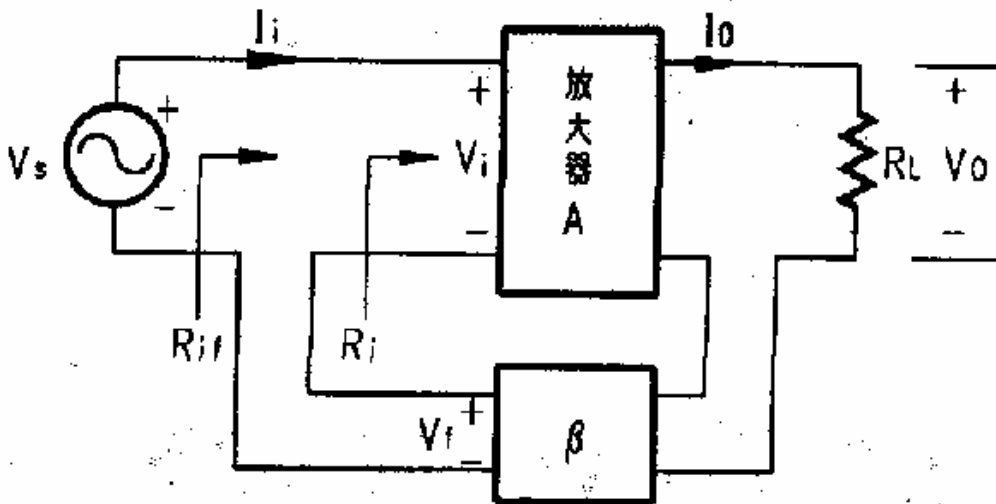
$$R_{if} = R_i(1 + \beta A_v)$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + \beta A}$$

$$R'_{of} = R_{of} \parallel R_L$$

## 2、電流串聯回授放大器（互導放大器）

回授網路的取樣信號為放大器的輸出電流  $I_o$ ，經回授網路輸出電壓信號  $V_f$  與原輸入電壓源  $V_s$  作串聯接入，如圖所示。其增益  $A = G_m = I_o / V_i$ ， $G_M = I_o / V_s$ ，回授因數  $\beta = V_f / I_o$ 。互導放大器的主要作用是將輸入電壓  $V_i$  轉換成輸出電流  $I_o$ 。



圖四

$$\beta \equiv \frac{V_f}{I_o}$$

$$A \equiv \frac{I_o}{V_i} \equiv G_M$$

$$G_{Mf} \equiv \frac{I_o}{V_s} = \frac{G_M}{1 + \beta G_M}$$

$$A_v \equiv \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{I_o} \frac{I_o}{V_i} = G_M R_L$$

$$A_{vf} \equiv \frac{V_o}{V_s} = \frac{A_v}{1 + \beta G_M}$$

$$R_{if} \equiv \frac{V_s}{I_i} = R_i (1 + \beta G_M)$$

$$R_{of} \equiv \frac{V}{I} = R_o (1 + G_m \beta)$$

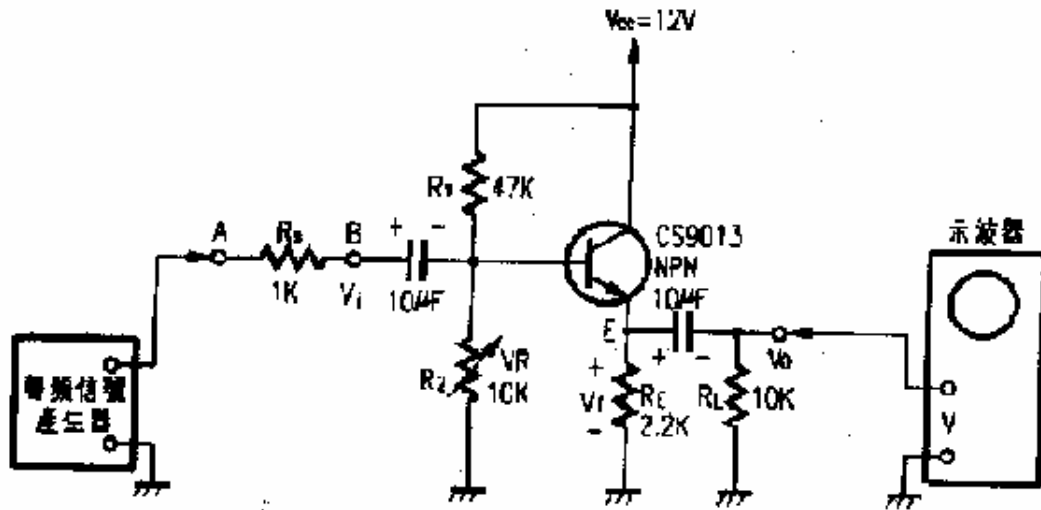
$$R'_{of} = R_{of} \parallel R_L$$

## 四、實習項目

(一)、電壓串聯回授放大器 (電壓放大器)

射極隨耦器

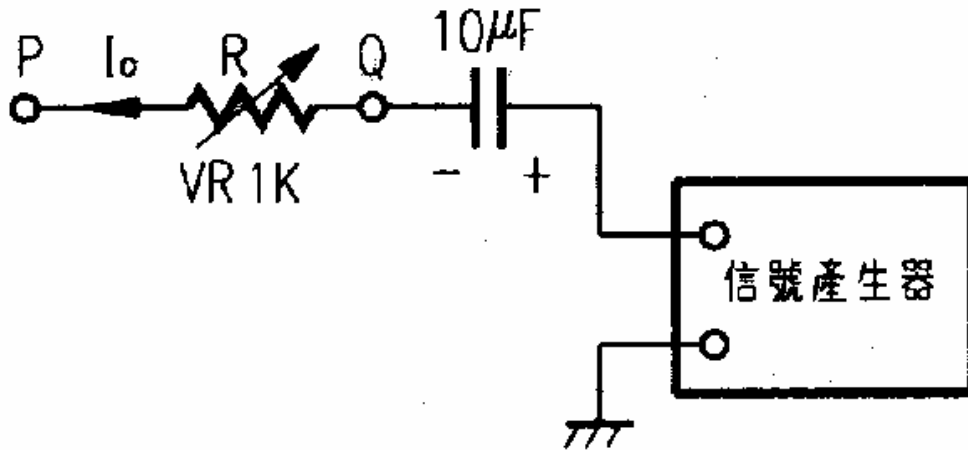
1. 如圖五，接好電路。



圖五

2. 聲頻信號產生器暫不接上，調整 VR10k 可變電阻器，並測量 E 點流電壓  $V_E$ ，使  $V_E \approx \frac{1}{2} V_{CC}$ 。
3. 接上聲頻信號產生器，並調整使輸出為 10kHz，觀察示波器上之波形並漸漸增加聲頻信號產生器之輸出振幅，直至示波器上顯示最大不失真之正弦波，此時  $V_o = \underline{\hspace{2cm}} V_{p-p}$ 。
4. 輸出電流  $I_e = \frac{V_o}{R_E} = \underline{\hspace{2cm}} mA_{p-p}$ 。
5. 以示波器在測量 A 點之信號  $V_A = \underline{\hspace{2cm}} V_{p-p}$ 。
6. 再以示波器測量 B 點之信號  $V_B = \underline{\hspace{2cm}} V_{p-p}$ 。
7. 輸入電流  $I_b = \frac{V_A - V_B}{R_s} = \underline{\hspace{2cm}} \mu A_{p-p}$ 。
8. 電壓增益  $A_{vf} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_B} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
9. 電流增益  $A_{if} = \frac{I_e}{I_b} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
10. 功率增益  $A_p = A_{vf} \times A_{if} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
11. 由 B 點看入之輸入阻抗  $R_{if} = \frac{V_B}{I_b} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
12. 同時觀察  $V_i$  及  $V_o$  之波形，以確定相位關係為  $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

13. 若調整信號產生器，使其輸出振幅增加，則輸出波形有何影響？  
 \_\_\_\_\_ 原因為 \_\_\_\_\_
14. 恢復不失真之波形，在調整 VR10k，以改變其工作點，則輸出波形有何影響？  
 \_\_\_\_\_ 其原因為 \_\_\_\_\_
15. 將 B 點接地，並將信號產生器連接如圖六所示，調整信號產生器輸出為 10kHz，1V<sub>p-p</sub> 正弦波，並將 P 點連接於放大器輸出端。



圖六

16. 以示波器測量 P 點之電壓為  $V_P = \underline{\hspace{2cm}} V_{p-p}$ ，Q 點之電壓為  $V_Q = \underline{\hspace{2cm}} V_{p-p}$ 。以上步驟應適當調整 VR1K 之電位器，以能觀察出  $V_P$  及  $V_Q$  之差異即可，再將 VR 取下，並量度其值 R， $R = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
17. 計算 P 點之電流  $I_o = \frac{V_Q - V_P}{R} = \underline{\hspace{2cm}} mA$ 。
18. 輸出阻抗  $R'_{of} = \frac{V_P}{I_o} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
19. 將各步驟結果重新紀錄於下表，並假設電晶體之  $\beta = 100$ ， $h_{ie} = 1k$ ，計算其理論值，並比較之。

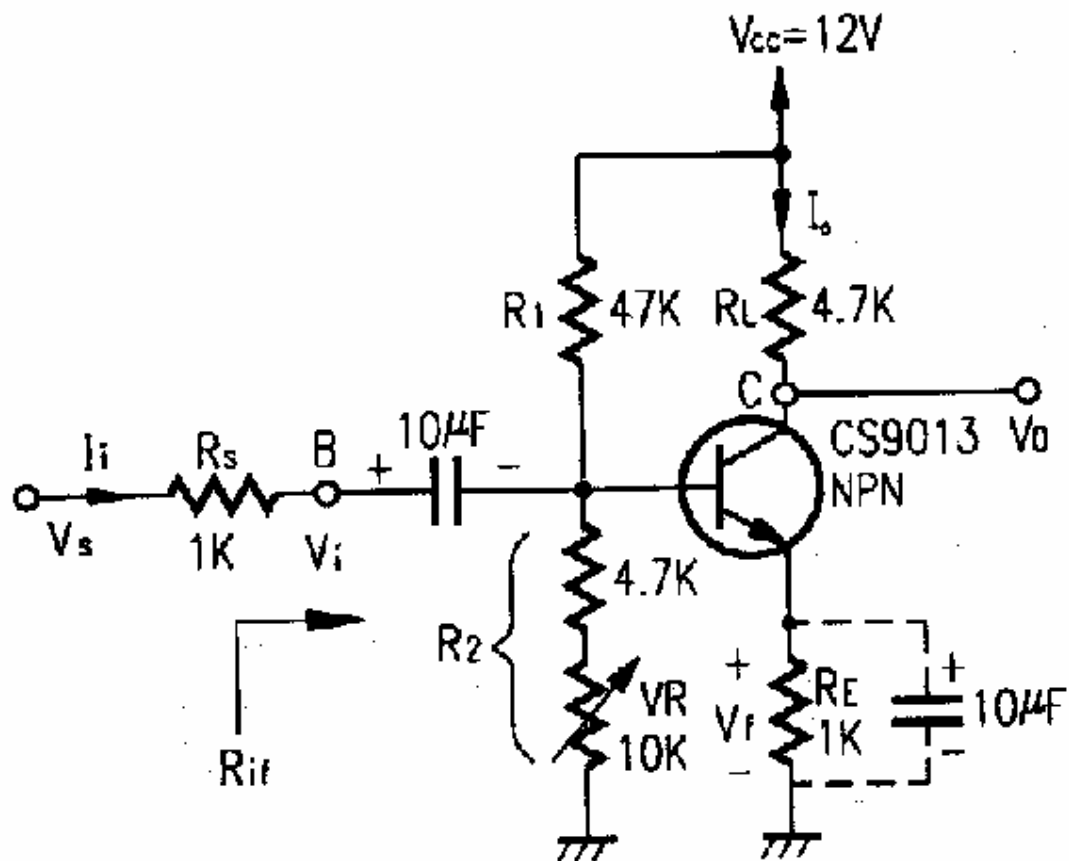
	電壓增益 $A_{vf}$	電流增益	輸入阻抗 $R_{if}$	輸出阻抗 $R'_{of}$	相位關係
實驗結果					
理論預測					

20. 恢復在步驟 3 所看到之波形，調降信號產生器之頻率，使輸出波形逐漸降低為原來的 70.7%，記錄此時的頻率  $f_L = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

21. 同前一步驟，調升信號產生器之頻率，使輸出波形逐漸降低至 70.7%，記錄此時的頻率  $f_H =$  \_\_\_\_\_。
22. 該放大器之頻寬  $BW = f_H - f_L =$  \_\_\_\_\_。

(二)、電流串聯回授放大器 (互導放大器)

1. 電路如圖七所示，虛線之電容暫不接上。



圖七

2. 信號源暫不接上，測量電晶體 C 之電壓  $V_C$ ，調整 VR10k，使  $V_C$  約為 6V。
3. 調整訊號產生器，使其輸出無 10kHz, 10mV<sub>p-p</sub> 之正弦波，接於電路之輸入端，以示波器觀察輸出端 C 點之波形並漸增信號產生器之輸出振幅，直至示波器上出現最大不失真之波形，此時輸出波形  $V_o =$  \_\_\_\_\_ V<sub>p-p</sub>。
4. 測量輸入端 B 點之波形  $V_i =$  \_\_\_\_\_ mV<sub>p-p</sub>。
5. 計算負回授放大器之電壓增益  $A_{vf} = \frac{V_o}{V_i} =$  \_\_\_\_\_，輸出電流  

$$I_o = \frac{V_o}{R_L} =$$
 \_\_\_\_\_ mA<sub>p-p</sub>。
6. 再以示波器測量信號源之波形  $V_s =$  \_\_\_\_\_ mV<sub>p-p</sub>。
7. 輸入電流  $I_i = \frac{V_i - V_s}{R_s} =$  \_\_\_\_\_ mA<sub>p-p</sub>。



8. 電流增益  $A_{if} = \frac{I_o}{I_i} = \underline{\hspace{2cm}}$  。
9. 功率增益  $A_p = A_{if} \times A_{vf} = \underline{\hspace{2cm}}$  。
10. 輸入組抗  $R_{if} = \frac{V_i}{I_i} = \underline{\hspace{2cm}}$  。
11.  $V_i$  與  $V_o$  之相位關係為  $\underline{\hspace{2cm}}$  。
12. 再觀察輸出波形，逐漸降低信號產生器之頻率，使輸出波形振幅降低為原來的 70.7%，記錄此時之信號頻率  $f_L = \underline{\hspace{2cm}}$  。
13. 同前步驟，逐漸升高信號產生器之頻率，找出 70.7% 時之頻率  $f_H = \underline{\hspace{2cm}}$  。
14. 頻寬  $BW = f_H - f_L = \underline{\hspace{2cm}}$  。
15. 同上個實驗步驟 15~18，可測得輸出組抗  $R_{of}' = \underline{\hspace{2cm}}$  。
16. 調整 VR10k 之值對輸出波形有何影響？ $\underline{\hspace{4cm}}$ ，其原因為  $\underline{\hspace{4cm}}$ 。
17. 將  $R_E$  上並聯一  $10\ \mu\text{F}$  之電容如圖中虛線所示，此時輸出有何影響？ $\underline{\hspace{4cm}}$ 。適當減少信號產生器之振幅，使輸出有最大不失真波形，此時觀察輸出及輸入波形  $V_o = \underline{\hspace{2cm}} V_{p-p}$ ， $V_i = \underline{\hspace{2cm}} mV_{p-p}$ ，電壓增益  $A_v = \frac{V_o}{V_i} = \underline{\hspace{2cm}}$  。
18. 將本實驗重要數據及理論值綜合列表如下：(理論值之計算可參考資料手冊電晶體之  $h_{ie}$  及  $\beta$  值計算之或令  $h_{ie} = 1k$ ， $\beta = 100$ 。)

	電壓增益 $A_{vf}$	電流增益 $A_{if}$	輸入阻抗 $R_{if}$	輸出阻抗 $R_{of}'$	相位關係
實驗結果					
理論預測					

## 五、參考資料

1. 微電子學
2. 電子實習 I、II，楊仁元、李月娥編著，龍騰文化
3. 電子實習 (下)，蔣春木、周定編著，全華圖書