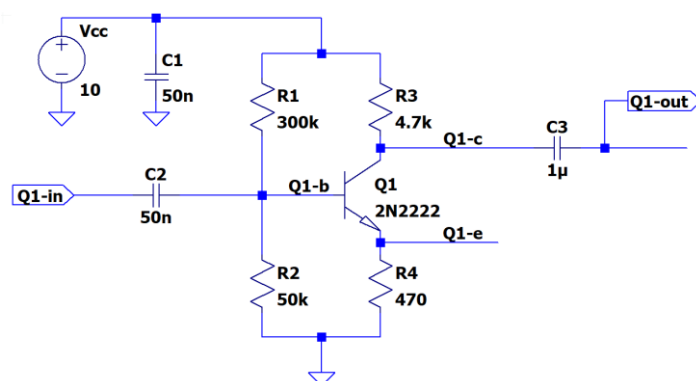


# REPORT

## Experiment 1: Common Emitter Amplifier



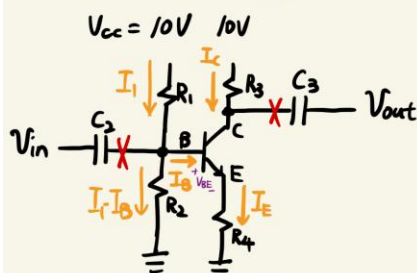
### 電路分析:

本電路是一個共射極放大器，基極作為輸入端，集極作為輸出端，射極為共用端(可以接地或電源)，左側的兩個電阻 R1 與 R2 用來決定工作點電壓，R3 電阻值的選取與輸出訊號大小有關，而 R4 電阻則是射極電阻，有穩定直流工作點的作用。

### 電路數學分析:

#### 直流分析:

直流分析: (電容開路) (移除交流)



假設工作於主動區:

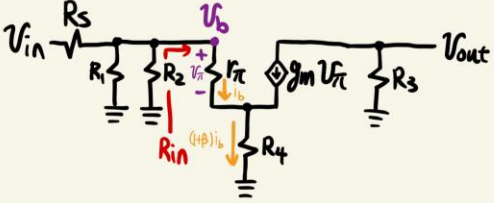
$$\begin{aligned}
 V_{CC} &= I_1 R_1 + (I_1 - I_B) R_2 = I_1 R_1 + V_{BE} + I_E R_4 \\
 &= (I_1 - I_B) R_2 = V_{BE} + (1 + \beta) I_B R_4 \\
 \Rightarrow I_1 &= [V_{BE} + (1 + \beta) I_B R_4] / R_2 + I_B \\
 &= \frac{V_{BE}}{R_2} + \frac{(1 + \beta) R_4 + R_2}{R_2} I_B \\
 \Rightarrow V_{CC} &= \left[ \frac{R_1}{R_2} + 1 \right] V_{BE} + \frac{(1 + \beta) [R_4 R_1 + R_4 R_2] + R_2 R_1}{R_2} I_B \\
 \Rightarrow I_B &= \left\{ V_{CC} - \left[ \frac{R_1}{R_2} + 1 \right] V_{BE} \right\} \times \frac{R_2}{(1 + \beta) [R_4 R_1 + R_4 R_2] + R_2 R_1}
 \end{aligned}$$

$$I_C = \beta I_B = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_3 + R_4}$$

$$\begin{aligned}
 V_{CC} &= I_C R_3 + V_{CE} + I_E R_4 \quad I_E \approx I_C \\
 \Rightarrow V_{CE} &= V_{CC} - I_C (R_3 + R_4)
 \end{aligned}$$

## 小訊號分析:

小訊號分析: (電容短路) (移除直流)



(2) 代入(1):  $V_{out} = -g_m R_3 \frac{r_\pi}{r_\pi + (1+\beta)R_4} V_b - (4)$

(3) 代入(4):  $V_{out} = -g_m R_3 \frac{r_\pi}{r_\pi + (1+\beta)R_4} \frac{(R_1 \parallel R_2 \parallel R_{in}) V_{in}}{R_s + (R_1 \parallel R_2 \parallel R_{in})}$

$\Rightarrow \frac{V_{out}}{V_{in}} = -g_m R_3 \frac{r_\pi}{r_\pi + (1+\beta)R_4} \frac{(R_1 \parallel R_2 \parallel R_{in})}{R_s + (R_1 \parallel R_2 \parallel R_{in})}$

③  $g_m = \frac{I_c}{V_T}$ ,  $r_\pi = \frac{V_T}{I_B}$ ,  $R_{in} = \frac{V_b}{i_b} = r_\pi + (1+\beta)R_4$

$\Rightarrow A_v = -\frac{I_c}{V_T} R_3 \frac{V_T/I_B}{V_T/I_B + (1+\beta)R_4} \frac{1/(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_{in})}{R_s + 1/(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_{in})}$

代入實驗數據:  $\frac{V_T}{I_B} = \frac{25mV}{6.6\mu A} = 3765\Omega$ ,  $R_{in} = 3765 + 163.8 \times 470 = 80282$ ,  $R_s = 50\Omega$

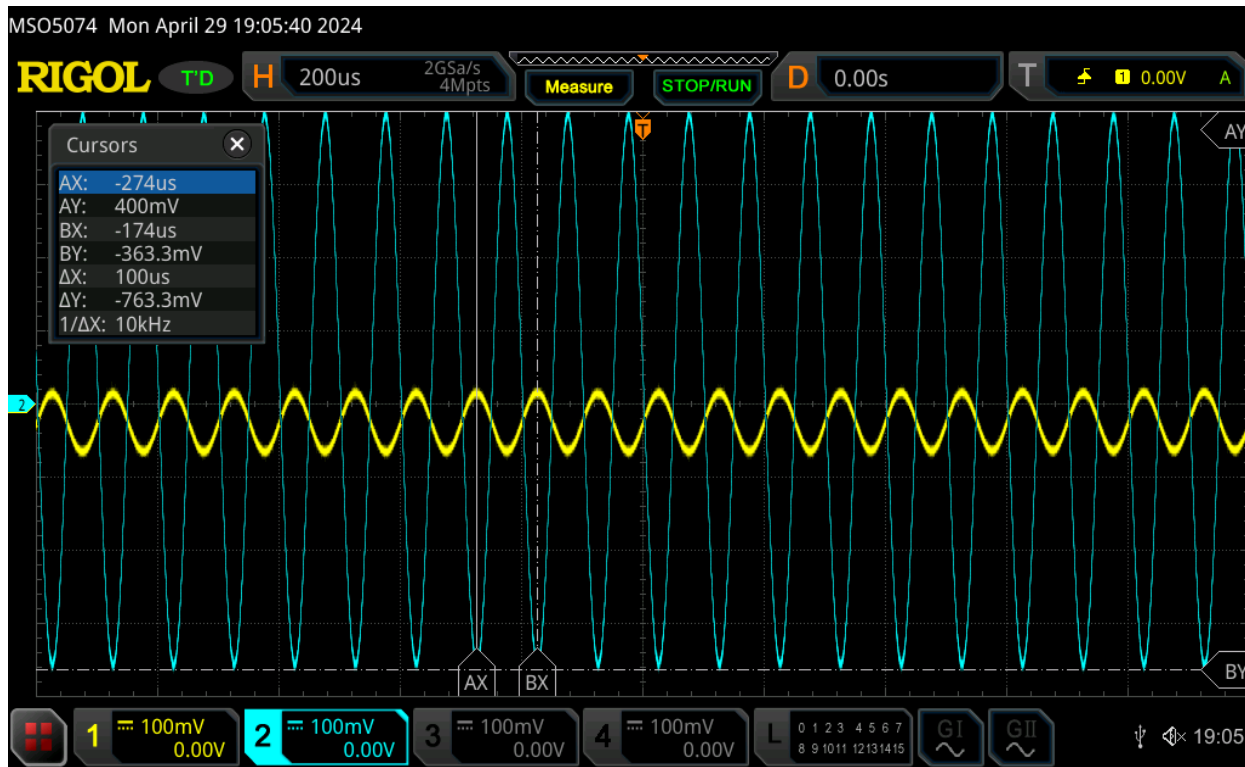
$A_v = -\frac{1.081mA}{25mV} \times 4.7k \times \frac{3765}{3765 + 80282} \times \frac{1/(1/300k + 1/50k + 1/80282)}{50 + 1/(1/300k + 1/50k + 1/80282)} = -9.0896$

2

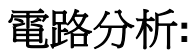
Vb (V)	Vc (V)	Ve (V)	Vbe (V)	Vce (V)	Ic (A)	Ib (A)	Current gain (A/A)
1.11	4.66	0.52	0.61	4.15	1.081m	6.64u	162.801

$$8.59/300k = 0.02864m = 28.64\mu \quad | \quad 1.10/50000 = 0.022m = 22\mu \quad | \quad 0.02864 - 0.022 = 0.00664m$$

## 3. Q1-in and Q1-out waveform



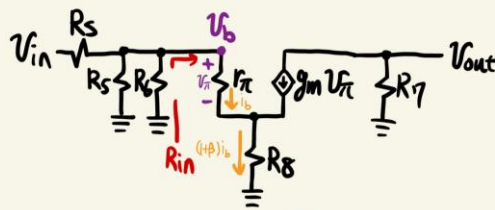
f <sub>out,max</sub> (Hz)	vin (V)	vout (V)	Voltage gain (V/V)	Phase difference (out->in) (degree)
10k	90m	770m	8.556	52/100*360=187.2



## 電路數學分析:

### 小訊號分析:

小訊号虎分析: (電容短路) (移除直流)



$$\Rightarrow A_v = -\frac{I_c}{V_T} R_1 \frac{V_T / I_B}{V_T / I_B + (1+\beta) R_8} \frac{1 / (1/R_5 + 1/R_6 + 1/R_{in})}{R_5 + 1 / (1/R_5 + 1/R_6 + 1/R_{in})}$$

代入實驗數據:  $V_{\frac{1}{2}} = 641 \Omega$ ,  $R_{in} = 641 + 167.7 \times 100 = 17411 \Omega$

$$V_{CC} = I_C R_7 + V_{CE} + I_E R_8 \quad I_E \doteq I_C$$

$$\Rightarrow V_{CE} \doteq V_{CC} - I_C (R_7 + R_8)$$

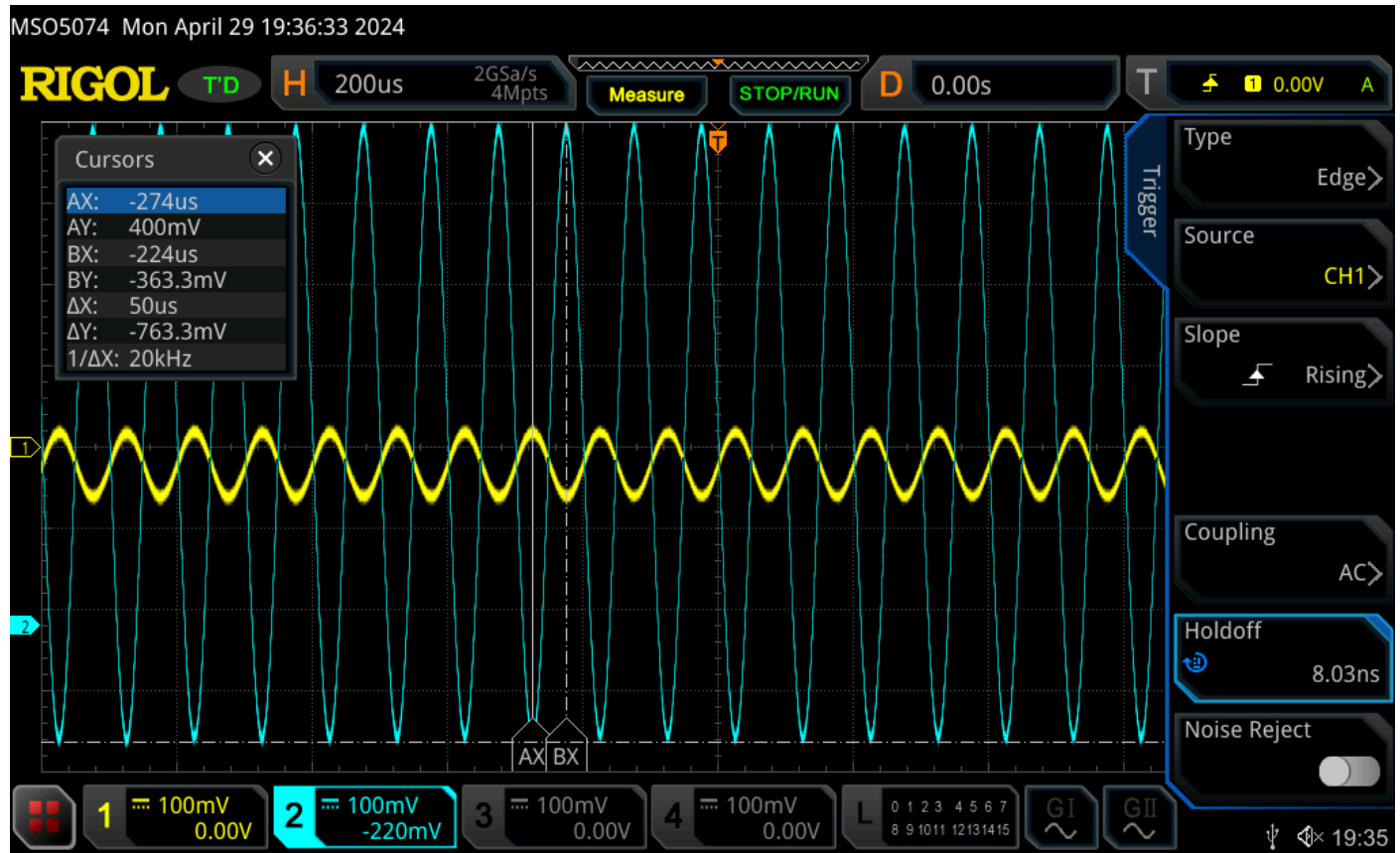
由計算可以發現，算出來的增益值為 9.0876 和 9.4879 與實際測量到的 8.556 和 8.556 還是有些微差距，我認為是因為一些頻率響應的關係，導致寄生電容分擔掉了一些電流，導致增益實際上沒有理想計算的多。

5.

V <sub>b</sub> (V)	V <sub>c</sub> (V)	V <sub>e</sub> (V)	V <sub>be</sub> (V)	V <sub>ce</sub> (V)	I <sub>c</sub> (A)	I <sub>b</sub> (A)	Current gain (A/A)
<b>1.31</b>	<b>3.24</b>	<b>0.66</b>	<b>0.65</b>	<b>2.57</b>	<b>6.5m</b>	<b>39u</b>	<b>166.667</b>

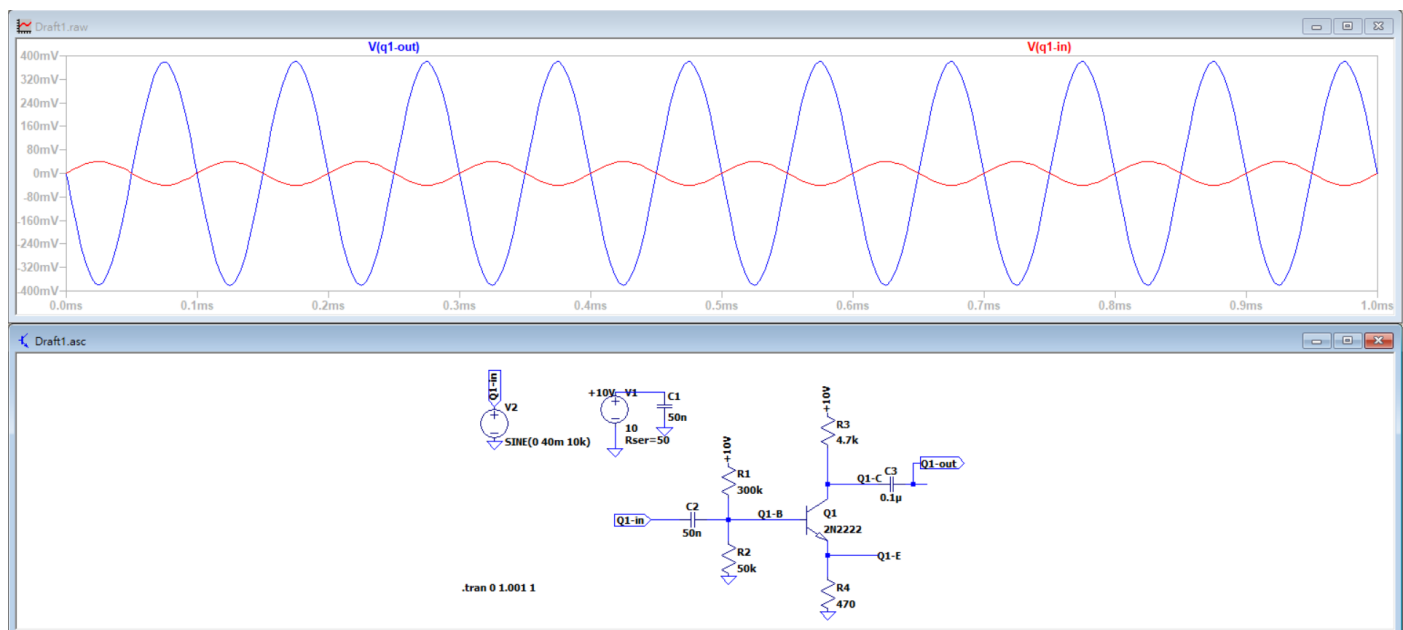
$$8.43/50k=0.169m \quad 1.3/10k=0.13m \quad 0.169-0.13=0.039m$$

6. Q2-in and Q2-out waveform



f <sub>out,max</sub> (Hz)	v <sub>in</sub> (V)	v <sub>out</sub> (V)	Voltage gain (V/V)	Phase difference (out->in) (degree)
<b>10k</b>	<b>90m</b>	<b>770m</b>	<b>8.556</b>	<b>50us/100us*360=180</b>

## LTSpice simulation:



### --- Operating Point ---

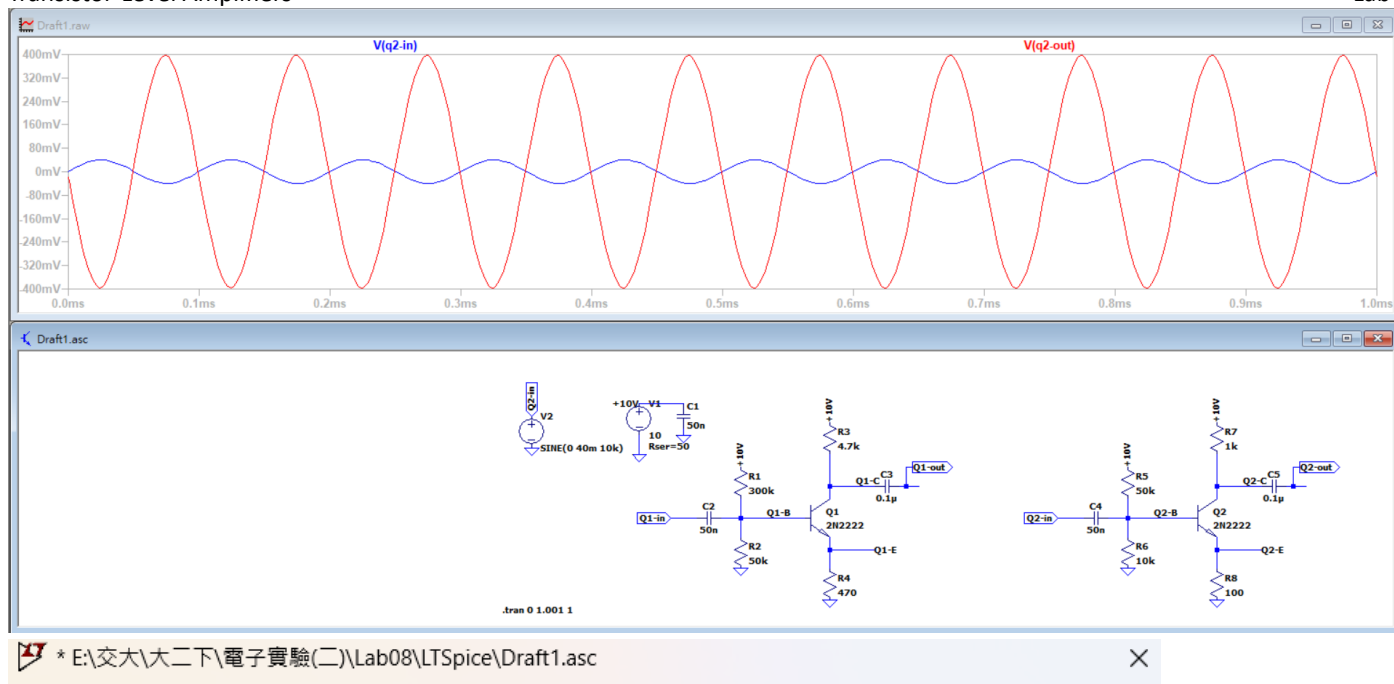
```

V(+10v) :      9.94246      voltage
V(q1-b) :      1.18727      voltage
V(q1-in) :      0           voltage
V(q1-c) :      4.67109      voltage
V(q1-e) :      0.529693     voltage
V(q1-out) :     4.67109e-07  voltage
Ic(Q1) :      0.00112157    device_current
Ib(Q1) :      5.43864e-06    device_current
Ie(Q1) :     -0.00112701    device_current
I(C1) :      4.97123e-19     device_current
I(C2) :      5.93634e-20     device_current
I(C3) :     -4.67109e-19     device_current
I(R1) :      2.9184e-05      device_current
I(R2) :      2.37453e-05     device_current
I(R3) :      0.00112157     device_current
I(R4) :      0.00112701     device_current
I(V1) :     -0.00115075     device_current
I(V2) :      5.93634e-20     device_current
  
```

Vb (V)	Vc (V)	Ve (V)	Vbe (V)	Vce (V)	Ic (A)	Ib (A)	Current gain (A/A)
1.18727	4.67109	0.529693	0.657577	4.141397	1.12157m	5.43864u	206.222

$f_{out,max}$ (Hz)	$v_{in}$ (V)	$v_{out}$ (V)	Voltage gain (V/V)	Phase difference (out->in) (degree)
10k	80m	760m	9.5	50/100*360=180





--- Operating Point ---

```

V(+10v) :      9.62136      voltage
V(q1-b) :      1.15499      voltage
V(q1-in) :     5.77494e-08   voltage
V(q1-c) :      4.65557      voltage
V(q1-e) :      0.498986     voltage
V(q1-out) :     4.65557e-07   voltage
V(q2-in) :      0          voltage
V(q2-b) :      1.33984      voltage
V(q2-c) :      3.29891      voltage
V(q2-e) :      0.63541      voltage
V(q2-out) :     3.29891e-07   voltage
Ic(Q1) :       0.00105655    device_current
Ib(Q1) :       5.12146e-06    device_current
Ie(Q1) :      -0.00106167    device_current
Ic(Q2) :       0.00632245    device_current
Ib(Q2) :       3.16462e-05    device_current
Ie(Q2) :      -0.0063541     device_current

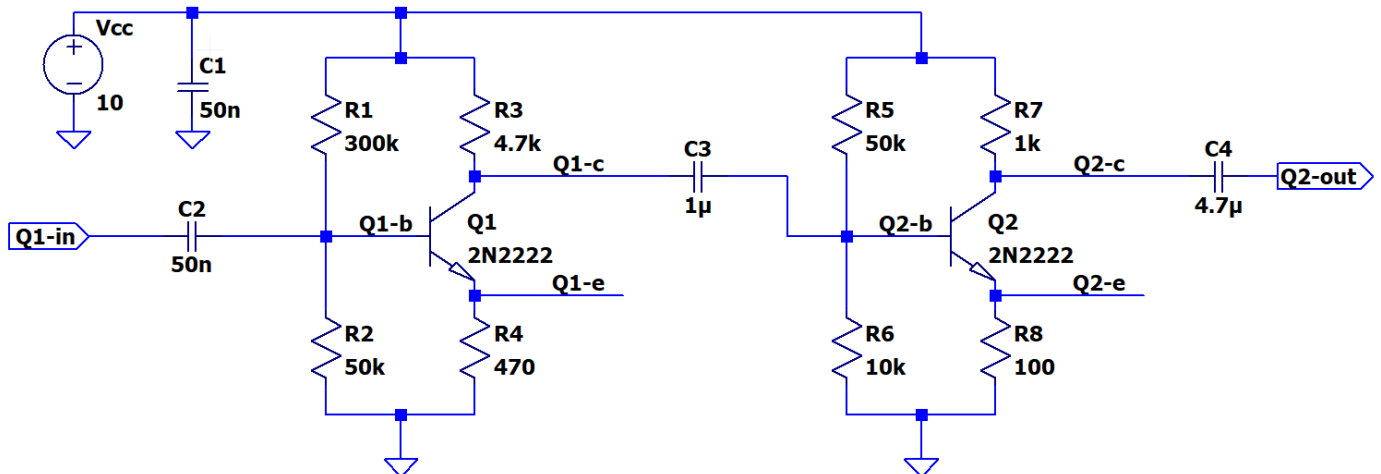
```

Vb (V)	Vc (V)	Ve (V)	Vbe (V)	Vce (V)	Ic (A)	Ib (A)	Current gain (A/A)
1.33984	3.29891	0.63541	0.70443	2.6635	1.05655m	5.12146u	206.298

$f_{out,max}$ (Hz)	$v_{in}$ (V)	$v_{out}$ (V)	Voltage gain (V/V)	Phase difference (out->in) (degree)
10k	80m	760m	9.5	50/100*360=180

透過 LTSpice 可以發現，模擬出來的增益比實際增益高了不少，而模擬出來的各項數值代入我在電路分析中透過直流分析與小訊號分析所計算出來的公式，也可以算出差不多的模擬值，因此代表實際在做電路的時候，與模擬出的數值還是會有差異。

## Experiment 2: Cascade Amplifier (CE + CE)



### 電路分析:

本電路串接了兩個共射極放大器，因此輸入訊號(小訊號)會經過第一級的放大後，傳入第二級再次被放大，並且相位角會被轉 180 度後再被轉 180 度，因此最終輸出和輸入的相位角理論上是一樣的。

### 電路數學分析:

#### 小訊號分析:

#### 小訊號分析: (電容短路)(移除直流)

$$R_{in1} = R_1 \parallel R_3 \parallel (r_{\pi} + (1+\beta)R_4)$$

$$R_{in2} = R_5 \parallel R_7 \parallel (r_{\pi} + (1+\beta)R_8)$$

$$V_{b1} = V_{in} \times \frac{R_{in1}}{R_s + R_{in1}}, \quad V_{b2} = -A_{v1} V_{b1} (R_3 \parallel R_{in2})$$

$$V_{out} = -A_{v2} V_{b2} R_7$$

$$\Rightarrow \frac{V_{out}}{V_{b2}} \times \frac{V_{b2}}{V_{b1}} \times \frac{V_{b1}}{V_{in}} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = (A_{v1} R_7) (A_{v2} (R_3 \parallel R_{in2})) \left( \frac{R_{in1}}{R_s + R_{in1}} \right)$$

$$A_{v1} = -\frac{I_{c1}}{I_T} \frac{R_3}{\frac{V_T}{I_{B1}} + (1+\beta)R_4}$$

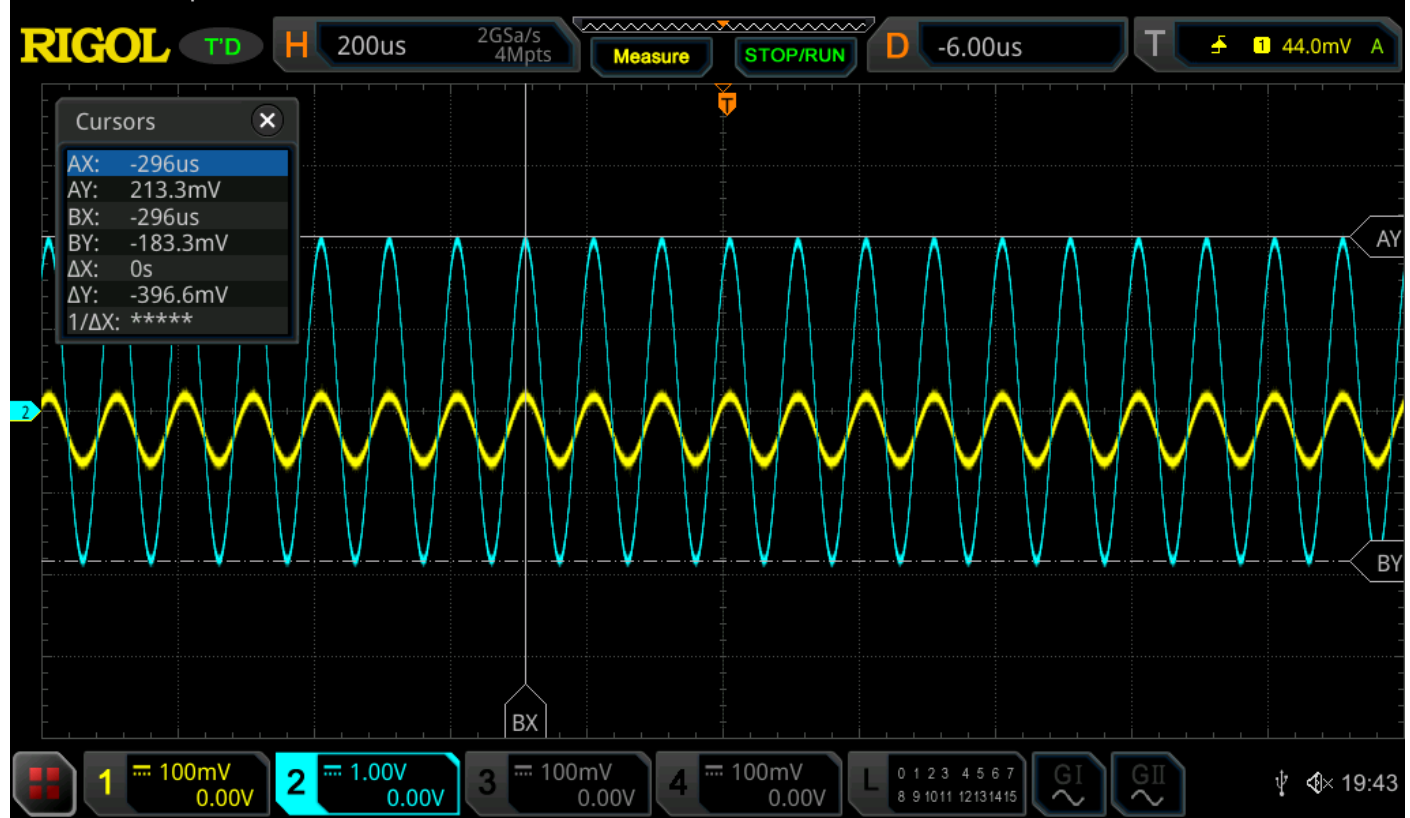
$$A_{v2} = -\frac{I_{c2}}{I_T} \frac{R_7}{\frac{V_T}{I_{B2}} + (1+\beta)R_8}$$

$$\Rightarrow A_v = \frac{I_{c1}}{I_T} \frac{R_3}{\frac{V_T}{I_{B1}} + (1+\beta)R_4} \cdot \frac{I_{c2}}{I_T} \frac{R_7}{\frac{V_T}{I_{B2}} + (1+\beta)R_8} \cdot R_7 (R_3 \parallel R_{in2}) \left( \frac{R_{in1}}{R_s + R_{in1}} \right)$$

$f_{out,max}$ (Hz)	$V_{Q1-in}$ (V)	$V_{Q2-out}$ (V)	Voltage gain (V/V)	Phase difference (Q2-out->Q1-in) (degree)
10k	90m	3.966	44.067	$0us/100us*360=0$
	$V_{Q1-in}$ (V)	$V_{Q2-b}$ (V)	Voltage gain (V/V)	Phase difference (Q2-b->Q1-in) (degree)
	90m	423.3m	4.7034	$52us/100us*360=187.2$
	$V_{Q1-c}$ (V)	$V_{Q2-out}$ (V)	Voltage gain (V/V)	Phase difference (Q2-out->Q1-c) (degree)
	423.3m	3.966	9.3692	$50us/100us*360=180$

## Q1-in and Q2-out waveform

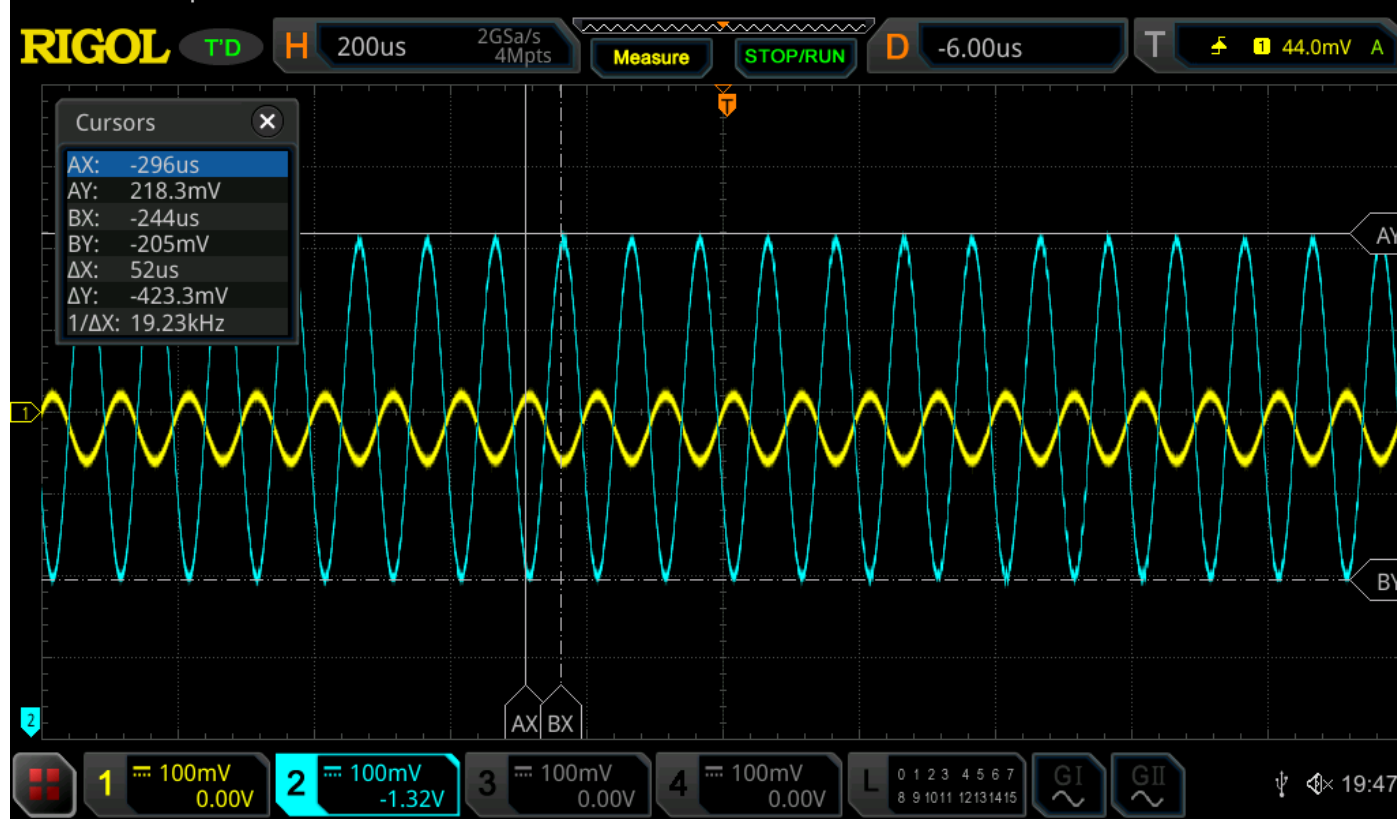
MSO5074 Mon April 29 19:44:21 2024





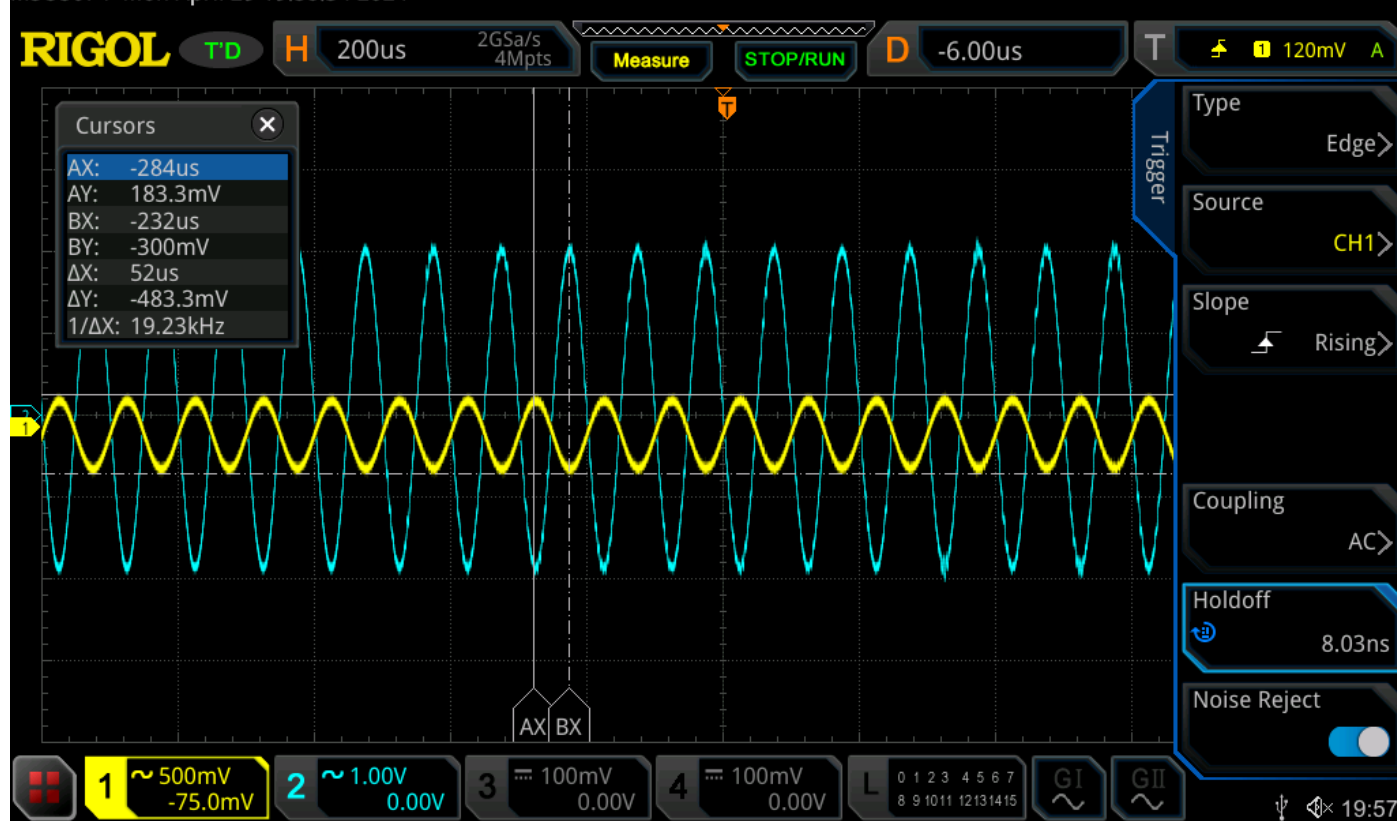
## Q1-in and Q2-b waveform

MSO5074 Mon Apr 29 19:47:59 2024

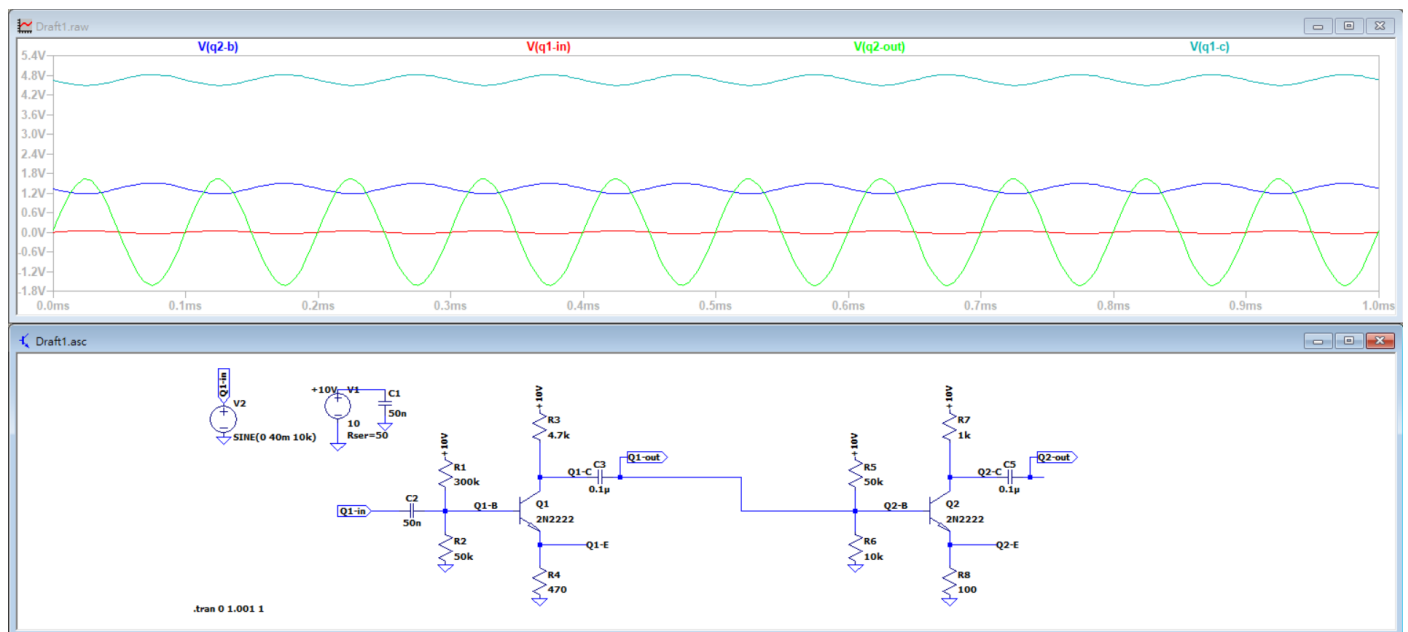


## Q1-c and Q2-out waveform

MSO5074 Mon Apr 29 19:58:34 2024



## LTSpice simulation:



--- Operating Point ---		
V(+10v) :	9.62136	voltage
V(q1-b) :	1.15499	voltage
V(q1-in) :	0	voltage
V(q1-c) :	4.65557	voltage
V(q1-e) :	0.498986	voltage
V(q2-b) :	1.33984	voltage
V(q2-c) :	3.29891	voltage
V(q2-e) :	0.63541	voltage
V(q2-out) :	3.29891e-07	voltage
Ic(Q1) :	0.00105655	device_current
Ib(Q1) :	5.12146e-06	device_current
Ie(Q1) :	-0.00106167	device_current
Ic(Q2) :	0.00632245	device_current
Ib(Q2) :	3.16462e-05	device_current
Ie(Q2) :	-0.0063541	device_current

f <sub>out,max</sub> (Hz)	V <sub>Q1-in</sub> (V)	V <sub>Q2-out</sub> (V)	Voltage gain (V/V)	Phase difference (Q2-out->Q1-in) (degree)
10k	80m	3.25	40.625	0us/100us*360=0
	V <sub>Q1-in</sub> (V)	V <sub>Q2-b</sub> (V)	Voltage gain (V/V)	Phase difference (Q2-b->Q1-in) (degree)
	80m	328m	4.1	50us/100us*360=180
	V <sub>Q1-c</sub> (V)	V <sub>Q2-out</sub> (V)	Voltage gain (V/V)	Phase difference (Q2-out->Q1-c) (degree)
	330m	3.25	9.8485	50us/100us*360=180

透過 LTSpice 模擬後，可以發現電壓增益與實際電路的增益值差不多，雖然電流增益的模擬在實驗一中有顯著差異，但是電壓增益卻幾乎一樣。

**Question:**

**Q1 單獨測量 voltage gain 為 9.5，但若將 Q1、Q2 連接在一起，Q1 的 voltage gain 卻只有 4.703，為什麼？**

因為在 Q1 後面接了一個 Q2，那麼 Q1 的 voltage gain 公式就會改變，原本的公式大概是：

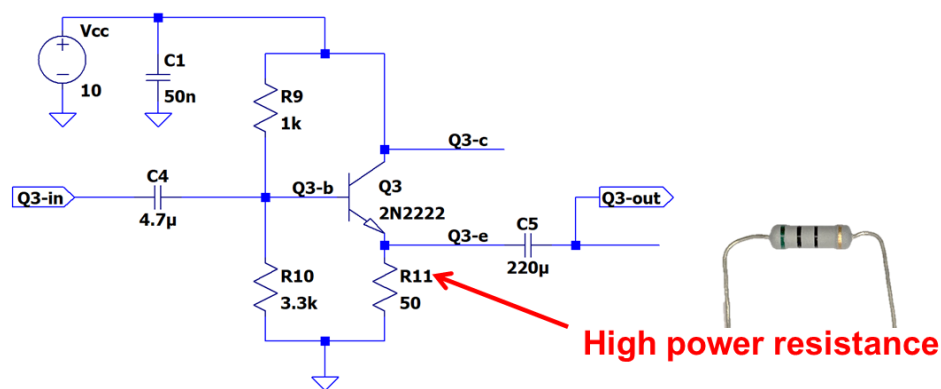
$$\frac{V_{out1}}{V_{in}} = \frac{-R_3}{\frac{1}{g_m} + R_4}$$

接了 Q2 後，公式需要改寫為：

$$\frac{V_{out1}}{V_{in}} = \frac{-R_3 \parallel R_{Q2,in}}{\frac{1}{g_m} + R_4}, \quad R_{Q2,in} = (R_5 \parallel R_6) \parallel (r_\pi + (\beta + 1)R_8)$$

並聯後電阻會越小，因此導致 voltage gain 變小。

# Experiment 3: Common Collector Amplifier



## 電路分析:

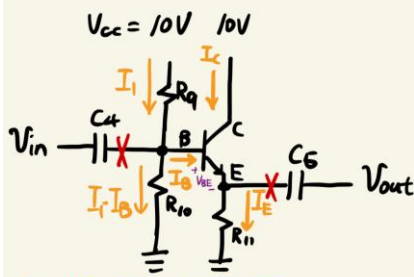
本電路是一個共集極放大器，基極作為輸入端，射極作為輸出端，集極為共用端(可以接地或電源)，左側的兩個電阻 R9 與 R10 用來決定工作點電壓，R11 電阻值的選取與輸出訊號大小有關。

## 電路數學分析:

### 直流分析:

直流分析: (電容開路)(移除交流)

$$I_C = \beta I_B \doteq \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_{11}}$$



$$V_{CC} = V_{CE} + I_E R_{11} \quad I_E \doteq I_C$$

$$\Rightarrow V_{CE} \doteq V_{CC} - I_C R_{11}$$

假設工作於主動區:

$$V_{CC} = I_1 R_9 + (I_1 - I_B) R_{10} = I_1 R_1 + V_{BE} + \frac{I_E R_{11}}{(1+\beta) I_B}$$

$$\Rightarrow (I_1 - I_B) R_{10} = V_{BE} + (1+\beta) I_B R_{11}$$

$$\Rightarrow I_1 = \frac{V_{BE} + (1+\beta) I_B R_{11}}{R_{10}} + I_B$$

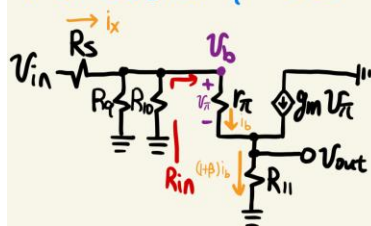
$$= \frac{V_{BE}}{R_{10}} + \frac{(1+\beta) R_{11} + R_{10}}{R_{10}} I_B$$

$$\Rightarrow V_{CC} = \left[ \frac{R_9}{R_{10}} + 1 \right] V_{BE} + \frac{(1+\beta) [R_{11} R_9 + R_{11} R_{10}] + R_{10} R_9}{R_{10}} I_B$$

$$\Rightarrow I_B = \left\{ V_{CC} - \left[ \frac{R_{10}}{R_9} + 1 \right] V_{BE} \right\} \times \frac{R_{10}}{(1+\beta) [R_{11} R_9 + R_{11} R_{10}] + R_{10} R_9}$$

## 小訊號分析:

小訊號分析: (電容短路)(移除直流)



$$V_{out} = (1+\beta) i_b R_{11}$$

$$i_x = \frac{V_{in}}{R_s + R_q || R_{10} || (r_{\pi} + (1+\beta) R_{11})}$$

$$i_x = \frac{V_D}{R_q} + \frac{V_D}{R_{10}} + \frac{V_b}{R_{11}} = V_b \left( \frac{1}{R_q} + \frac{1}{R_{10}} + \frac{1}{R_{11}} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{V_b}{R_{11}} = i_x \frac{1 / (1/R_q + 1/R_{10} + 1/R_{11})}{R_{11}}$$

$$\Rightarrow \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{(1+\beta) R_{11}}{R_s + R_q || R_{10} || (r_{\pi} + (1+\beta) R_{11})} \frac{1 / (1/R_q + 1/R_{10} + 1/R_{11})}{(r_{\pi} + (1+\beta) R_{11})}$$

$$= \frac{169 \times 50}{50 + 1 / (1/1k + 1/3.3k + 1/(\frac{V_{be}}{26} + 169 \times 50))} \times \frac{1 / (1/1k + 1/3.3k + 1/(\frac{V_{be}}{26} + 169 \times 50))}{(\frac{V_{be}}{26} + 169 \times 50)}$$

$$= 11.21024 \times 0.08296 = 0.93$$

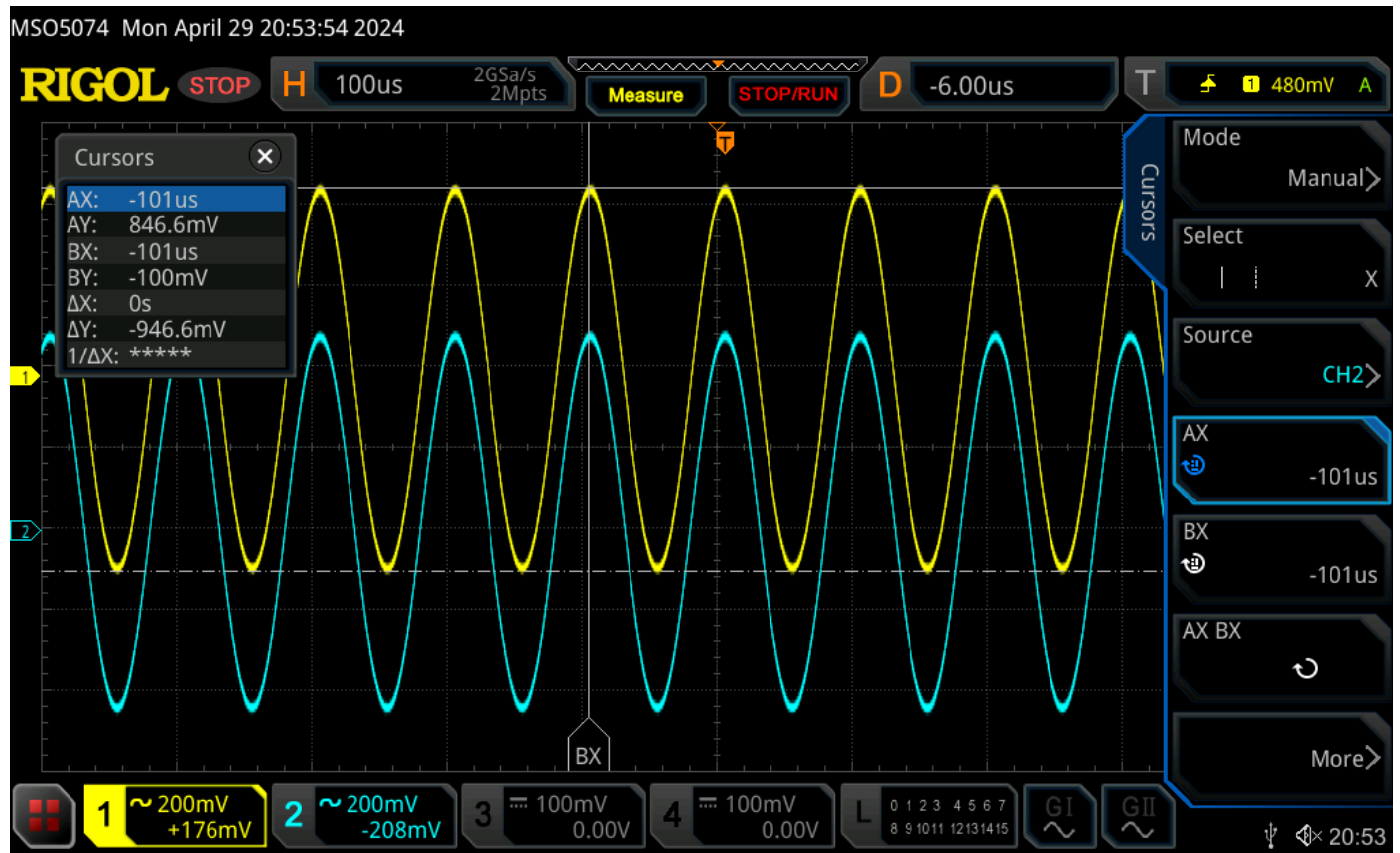


2

Vb (V)	Vc (V)	Ve (V)	Vbe (V)	Vce (V)	Ic (A)	Ib (A)	current gain (A/A)
<b>7.04</b>	<b>9.68</b>	<b>6.45</b>	<b>0.58</b>	<b>3.23</b>	<b>126.78m</b>	<b>0.75m</b>	<b>169.293</b>

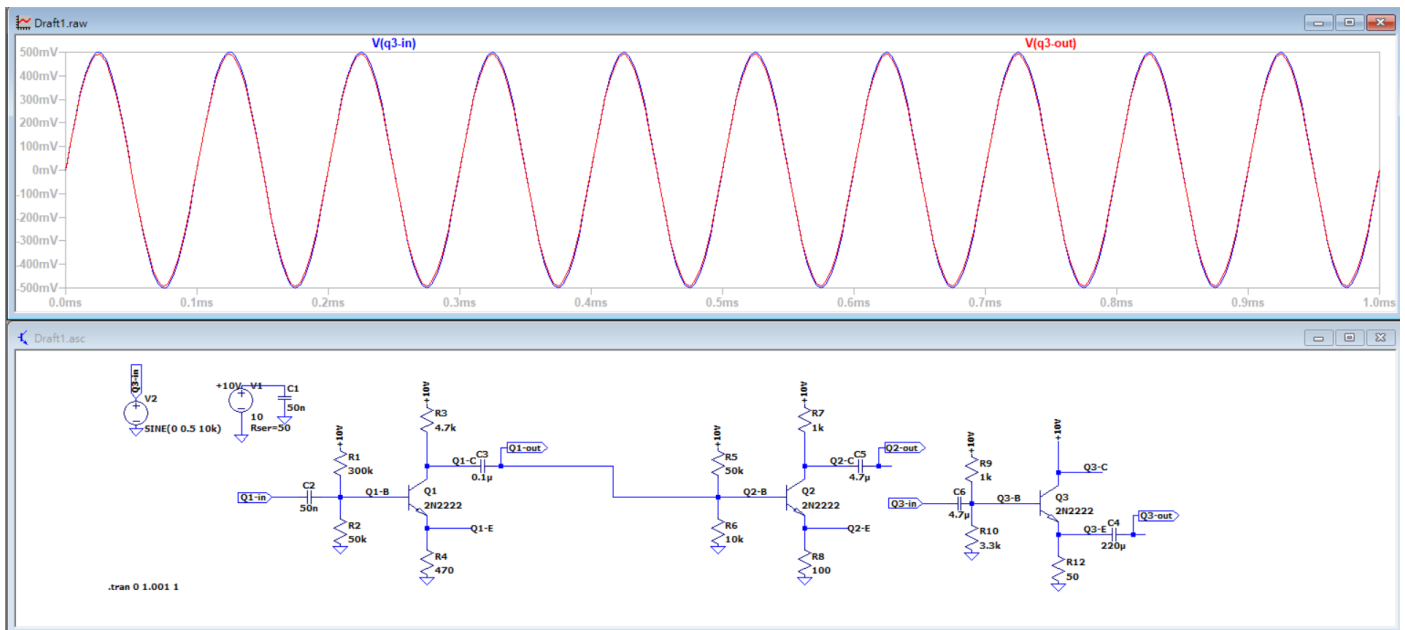
$$2.88/1k=2.88m \quad 7.03/3.3k=2.130m \quad 2.88-2.130=0.75m$$

## 3. Q3-in and Q3-out waveform



$f_{out,max}$ (Hz)	vin (V)	vout (V)	Voltagegain (V/V)	Phasedifference (out->in)(degree)
<b>10k</b>	<b>946m</b>	<b>982m</b>	<b>1.038</b>	<b>0us/100us*360=0</b>

## LTSpice simulation:



### --- Operating Point ---

```

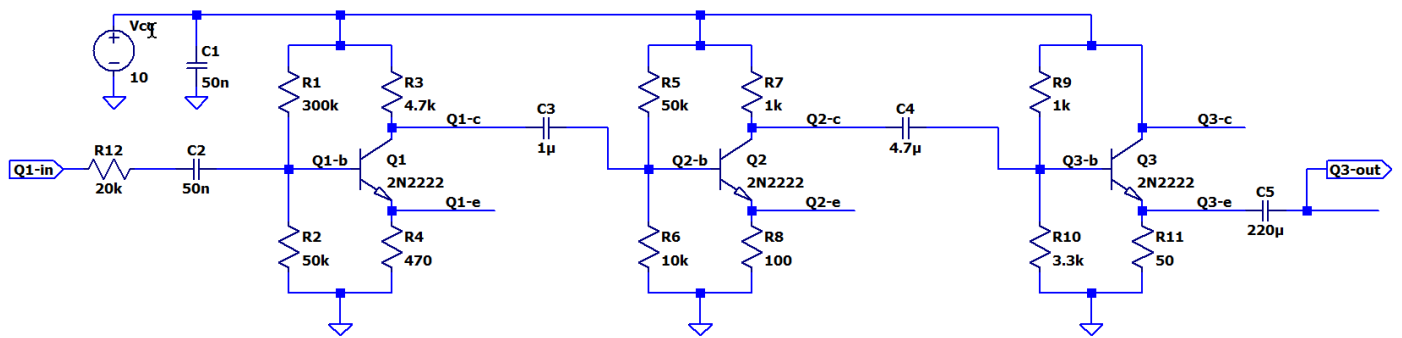
V(q3-c) :      6.17208      voltage
V(q1-b) :      0.804627    voltage
V(q1-in) :     4.02314e-08  voltage
V(q1-c) :      4.42198     voltage
V(q1-e) :      0.175856    voltage
V(q2-b) :      0.927491    voltage
V(q3-in) :      0          voltage
V(q2-c) :      3.69619     voltage
V(q2-e) :      0.248803    voltage
V(q2-out) :     1.7372e-05  voltage
V(q3-b) :      4.40216     voltage
V(q3-e) :      3.61267     voltage
V(q3-out) :     0.000794612 voltage
Ic(Q1) :      0.000372362   device_current
Ib(Q1) :      1.79896e-06   device_current
Ie(Q1) :     -0.000374161   device_current
Ic(Q2) :      0.00247589    device_current
Ib(Q2) :      1.21427e-05   device_current
Ie(Q2) :     -0.00248803    device_current
Ic(Q3) :      0.0718174     device_current
Ib(Q3) :      0.000435928   device_current
Ie(Q3) :     -0.0722534     device_current
  
```

Vb (V)	Vc (V)	Ve (V)	Vbe (V)	Vce (V)	Ic (A)	Ib (A)	current gain (A/A)
4.40216	6.17208	3.61267	0.78949	2.55941	71.8174m	0.435928m	164.746013

f <sub>out,max</sub> (Hz)	vin (V)	vout (V)	Voltagegain (V/V)	Phasedifference (out->in)(degree)
10k	999m	981m	0.981	0us/100us*360=0

透過 LTSpice 可以發現，在 CC 放大器的模擬上，增益值與理想的 1 極為接近，而也與實際電路差不多，電流增益部分也與實際電路差不多。

## Experiment 4: Audio application(CE + CE + CC)



### 電路分析:

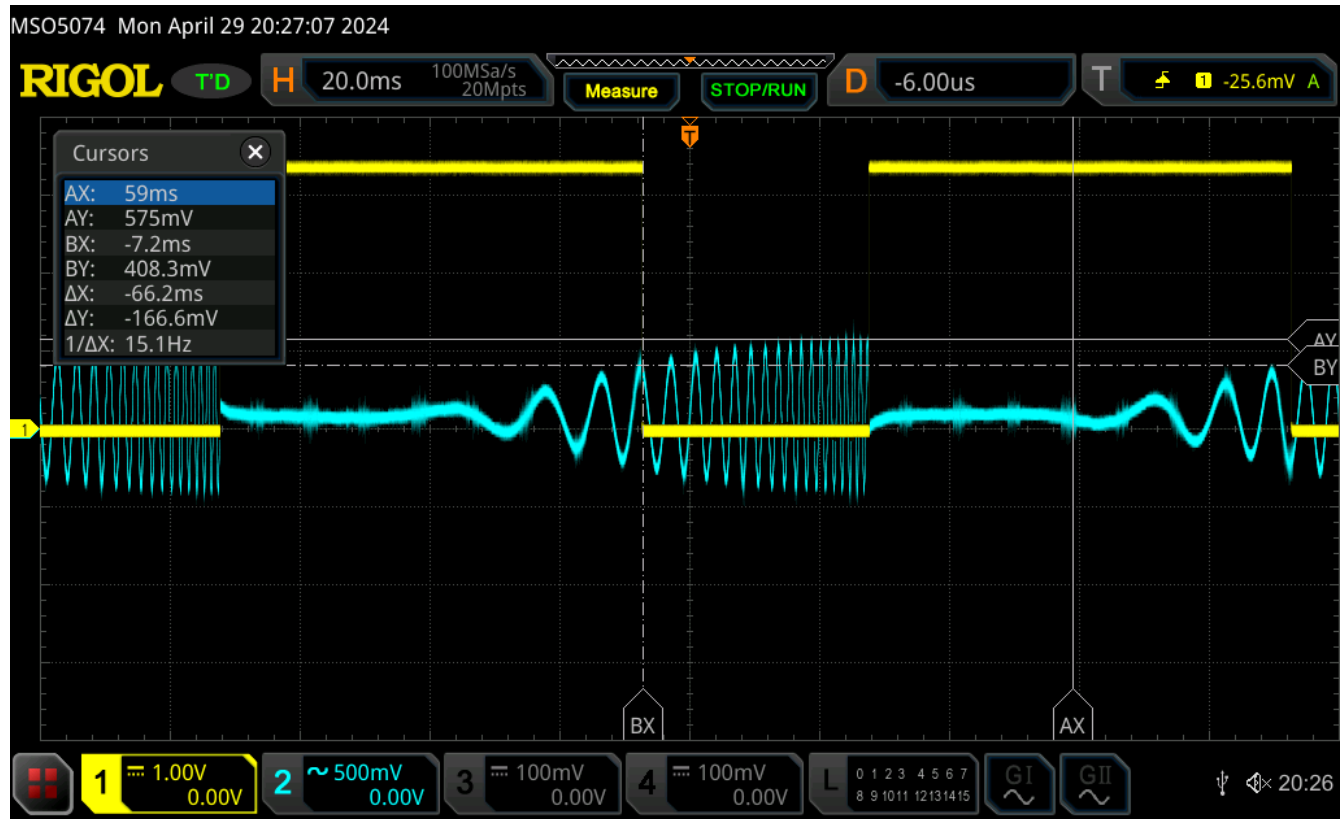
將實驗二和實驗三的電路串接起來，前面兩級為共射極放大電路，第三級為共集極放大電路，前面兩級提供了輸入訊號兩次增益，且兩者個增益皆為負(輸入相位與輸出相位差 180 度)，所以剛好負負為正，Q2-c 的輸出相位與 Q1-in 相同，最後再經過共集極放大電路  $A_v=1$  但擁有顯著電流增益的特性，雖然只有較小的輸出阻抗但卻允許一個本來具有大輸出阻抗的訊號源驅動下一級小阻抗的負載，相當於一個電壓緩衝器。

2

fL3dB (Hz)	fH3dB (Hz)	Bandwidth (Hz)	Vout,max (V)	fout,max (Hz)
<b>200</b>	<b>300k</b>	<b>299.8k</b>	<b>575m</b>	<b>10k</b>

AC SWEEP waveform (node Q3-out)

fL3dB 10Hz~1kHz



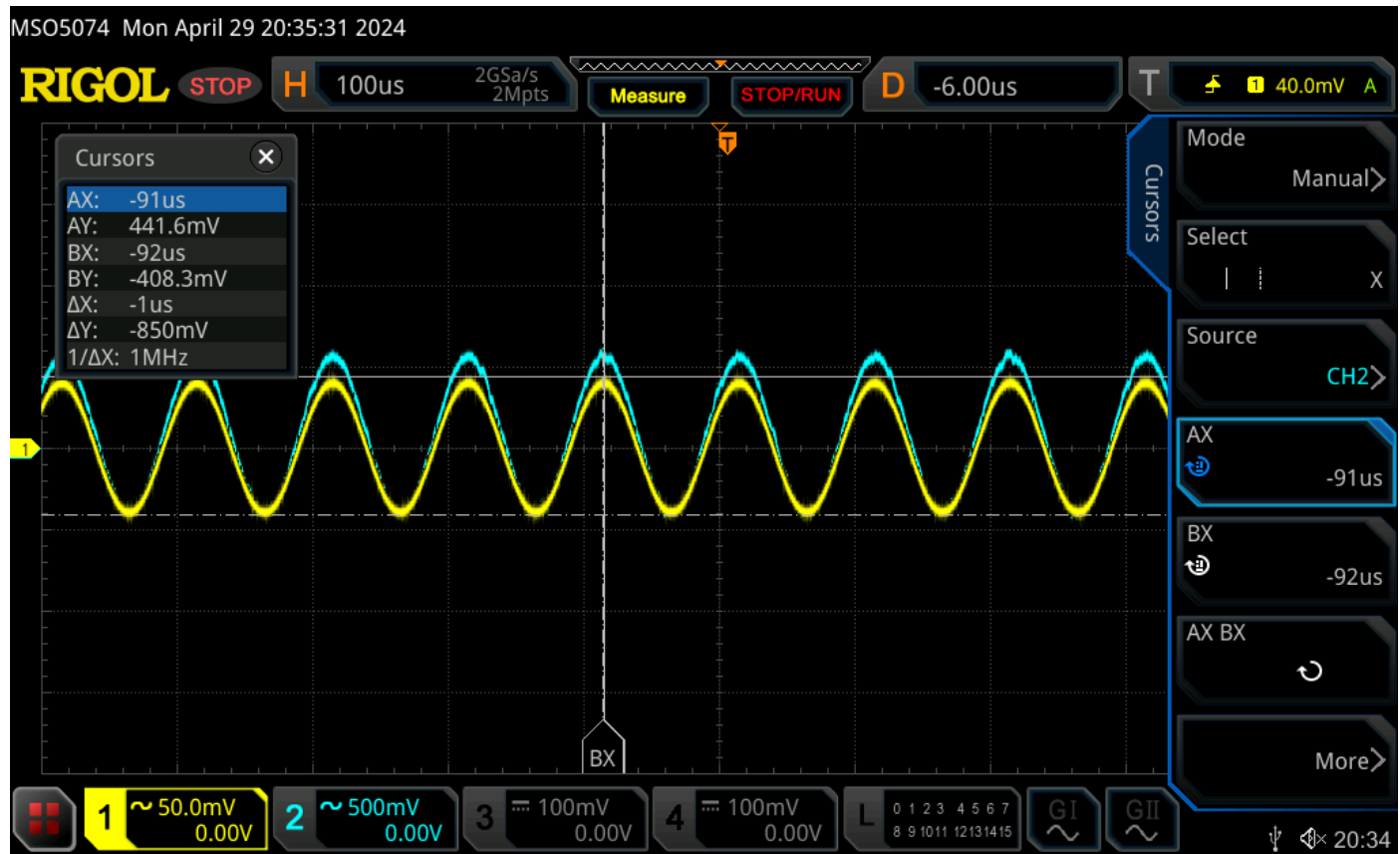
fH3dB 10Hz~500kHz



3.

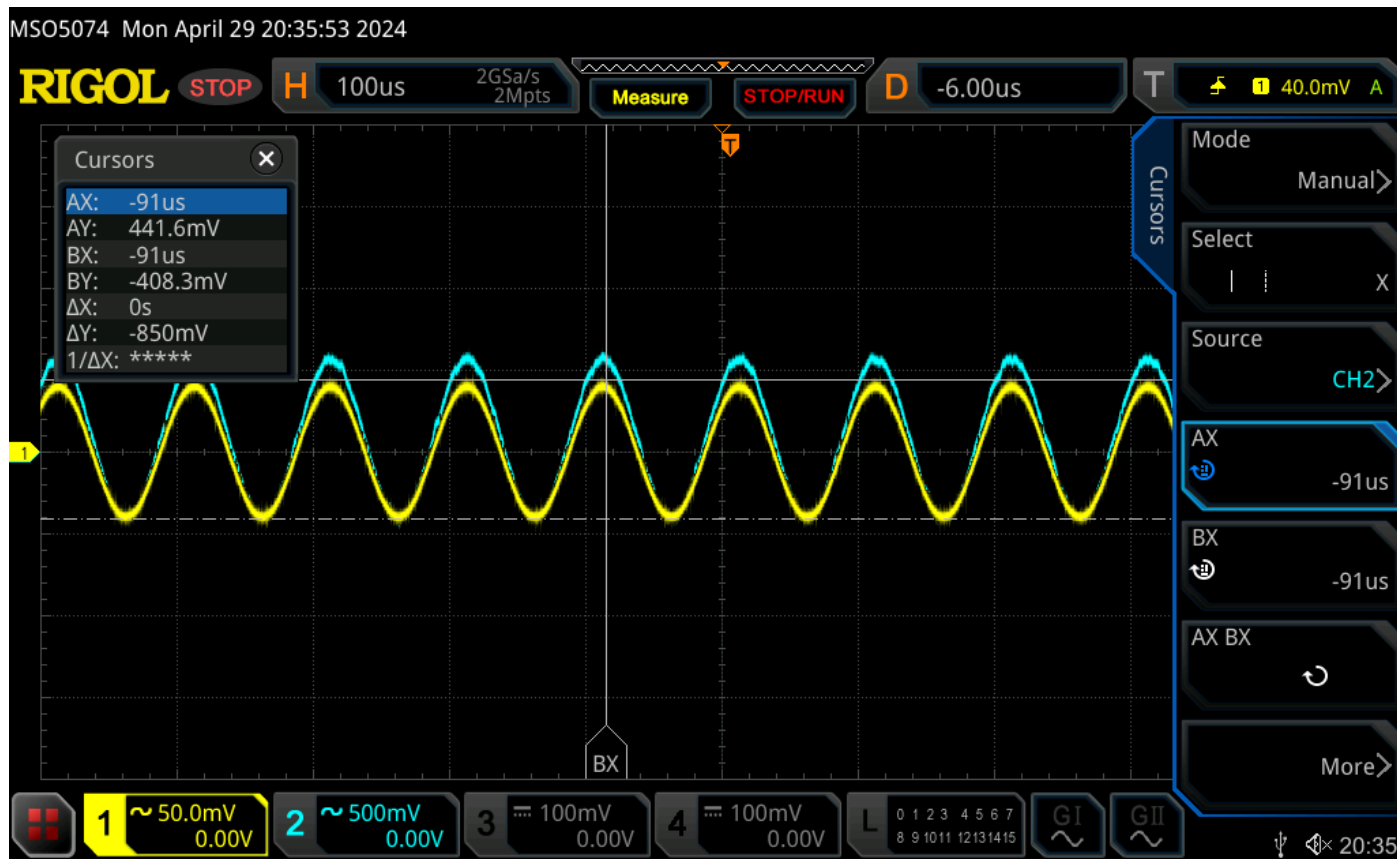
$f_{out,max}$ (Hz)	$V_{Q1-in}$ (V)	$V_{Q3-out}$ (V)	Voltagegain (V/V)	Phasedifference (Q3-out->Q1-in)(degree)
10k	85m	1	11.765	$1\mu s/100\mu s * 360 = 3.6$
	$V_{Q1-in}$ (V)	$V_{Q3-b}$ (V)	voltagegain (V/V)	Phasedifference (Q3-b->Q1-in)(degree)
	85m	1	11.765	$0\mu s/100\mu s * 360 = 0$
	$V_{Q2-c}$ (V)	$V_{Q3-out}$ (V)	Voltagegain (V/V)	Phasedifference (Q3-out-> Q2-c)(degree)
	1.025	1.066	1.04	$2\mu s/100\mu s * 360 = 7.2$

Q1-in and Q3-out waveform

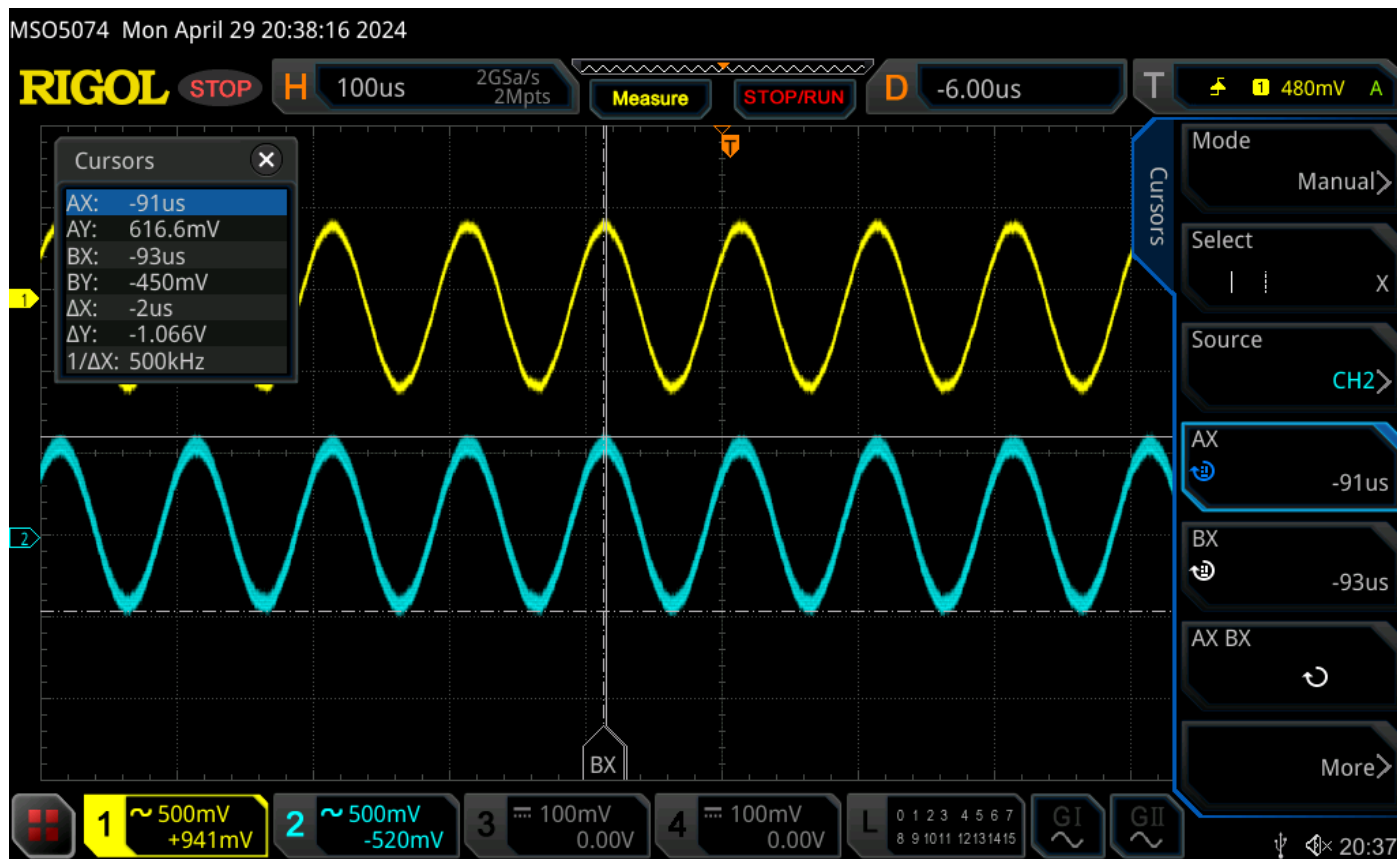




## Q1-in and Q3-b waveform



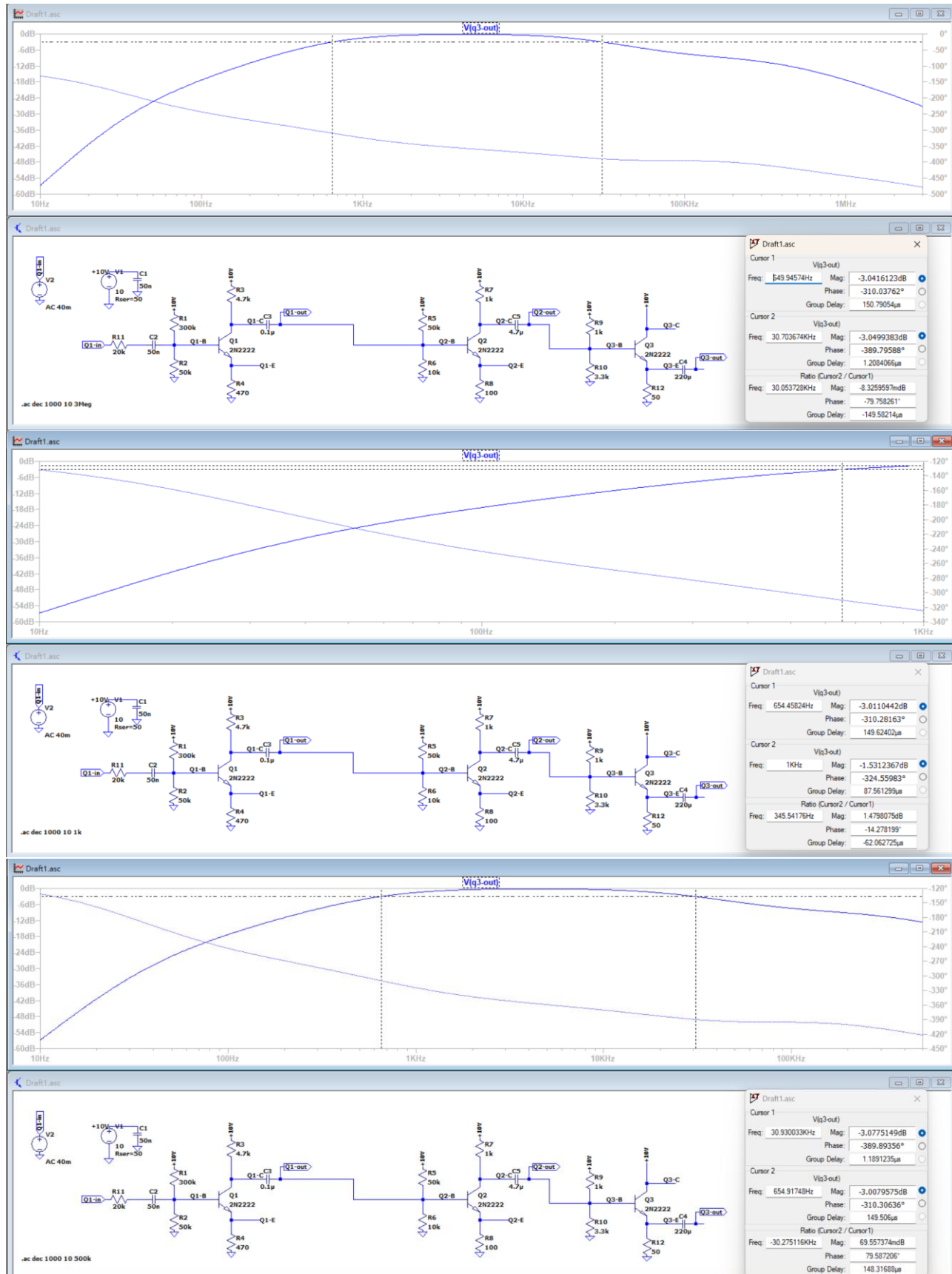
## Q2-c and Q3-out waveform



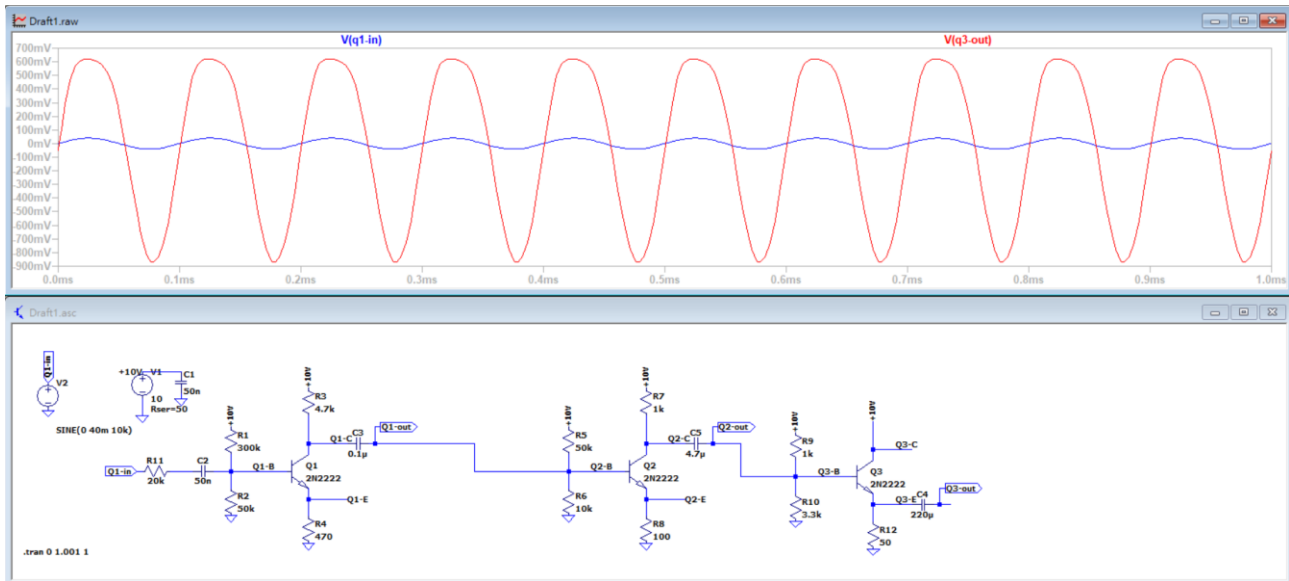
#### 4. Describe what you heard.

說話聲音被麥克風接收後，透過喇叭播放出來(稍微大聲一點點，但如果講話聲音太大就會很模糊，原因應該是因為訊號波動太大導致超出工作區而失真)。

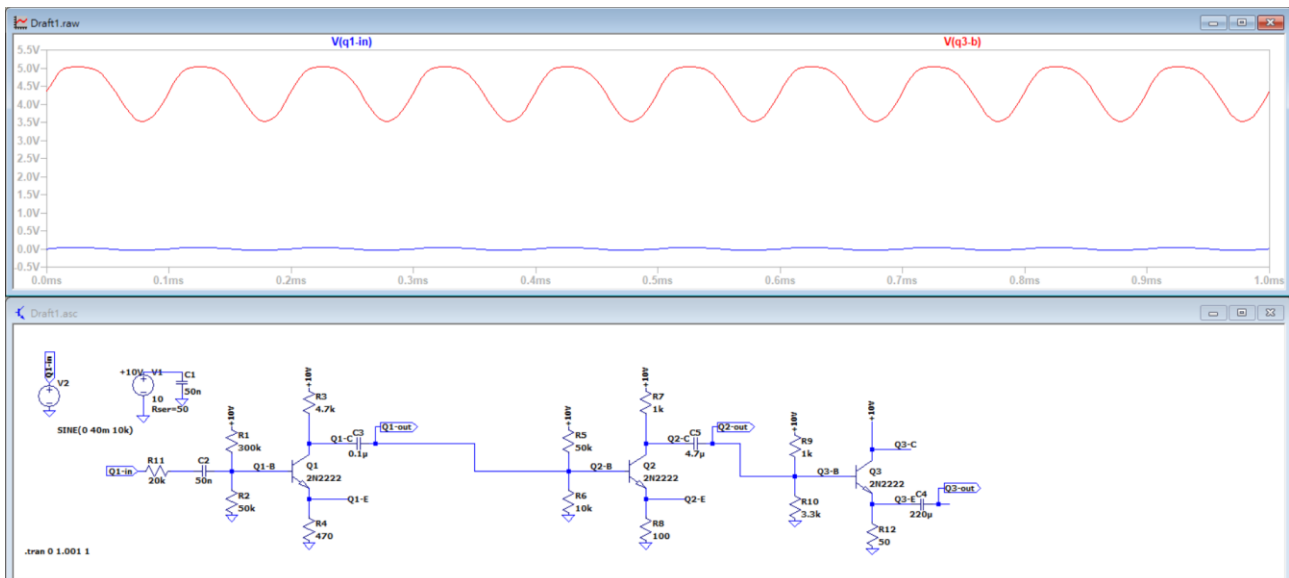
### LTSpice simulation:



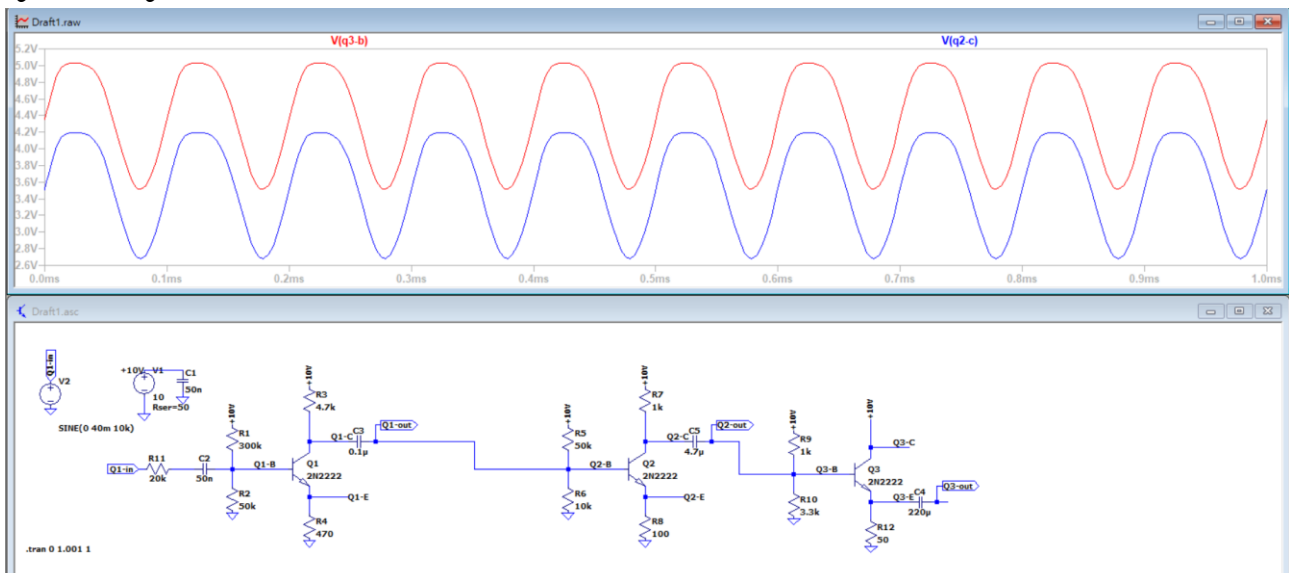
## Q1-in and Q3-out waveform



## Q1-in and Q3-b waveform



## Q2-c and Q3-out waveform



$f_{out,max}$ (Hz)	$V_{Q1-in}$ (V)	$V_{Q3-out}$ (V)	Voltagegain (V/V)	Phasedifference (Q3-out->Q1-in)(degree)
<b>10k</b>	<b>80m</b>	<b>1.48</b>	<b>18.5</b>	<b>0us/100us*360=0</b>
	$V_{Q1-in}$ (V)	$V_{Q3-b}$ (V)	voltagegain (V/V)	Phasedifference (Q3-b->Q1-in)(degree)
	<b>80m</b>	<b>1.5</b>	<b>18.75</b>	<b>0us/100us*360=0</b>
	$V_{Q2-c}$ (V)	$V_{Q3-out}$ (V)	Voltagegain (V/V)	Phasedifference (Q3-out-> Q2-c)(degree)
	<b>1.5</b>	<b>1.5</b>	<b>1</b>	<b>0us/100us*360=0</b>

最後完整電路的 LTSpice 模擬，可以發現在 am 掃頻的時候，高 3dB 點(30kHz)與實際測量的(300kHz)差非常多，可以推斷此 model 在頻率響應方面和真正的 BJT 有些許的差異，而電壓增益的部分也因為沒有被溫度干擾，而稍大於實際電路。

## 實驗心得與結論::

這次實驗實作了 CE 和 CC 放大器，結合電子學所學，計算直流分析和小訊號分析讓我發現，實際電路的情況其實比計算中的理想電路還要複雜很多，因此也讓我對真正電路產生更多的好奇，最後透過連接 CE CE CC 放大電路，並且透過麥克風接收訊號，到最後的輸出，讓我感到很神奇，真的做出了收放裝置。

## Reference

[https://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/amp\\_2.html](https://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/amp_2.html)

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%85%B1%E9%9B%86%E6%9E%81>

<https://eedept.ncue.edu.tw/study/labs/semilab/Experiment Data/Electron Experiment handouts/Unit 03.pdf>