

電工實驗(二)

實驗報告

實驗單元(4)

BJT 串級放大器電路 (電路實作 041)

班別：電 2 B

組別：22

姓名：李宜恩

學號：00853216

■實驗報告內文設定

★各項實驗紀錄(藍色字體)、撰寫實驗波形分析與實驗數據分析(藍色字體)、撰寫實驗問題與討論(藍色字體)、撰寫實驗結論(藍色字體)、按時繳交實驗報告(遲交扣分)，非(藍色字體)扣分。

◎總分=100 分。

一、實驗儀器設備(請自行寫出所使用的儀器設備，沒寫扣分)

項次	儀器名稱	儀器廠牌及型號	數量	實驗桌別
1	示波器	FG 720F-MO	1 台	22
2	萬用電表		1 台	22
3	訊號產生器	MSO 2024B	1 台	22
4	電源供應器		1 台	22

二、實驗目的(請自行寫出，沒寫扣分)

認識串級放大器的架構，了解各種電路對整體電路特性的影響，並學習各項電路功能測量，包括電壓增益、頻率響應及輸入阻抗等項測量，以了解整體放大器電路的功能。

三、請簡介實驗項目(請自行寫出，沒寫扣分)

1. 實驗儀器設備與實驗材料表
2. 電路原理說明
3. 實驗電路規格實
4. 實驗步驟、實驗測量與記錄(P.20)
5. 實驗問題與討論
6. 實驗建議與評比
7. 九、附上實驗進度紀錄
8. 十、附上麵包板電路組裝照片檔

四、實驗注意事項

1. 輸入測試頻率值，依據表格(三)而定。
2. 示波器測試波形時應使用示波器的測量功能，測量 CH1 及 CH2 峰-峰值大小及輸入測試頻率值，如未在輸出波形中顯示上述之結果，應重新擷取波形。

3. 使用萬用電錶測量電壓時，請設定為 4 位半顯示測量值，測量電阻時，請設定為 4 位半顯示測量值。

4. 測量弦波或方波時，輸入電壓或輸出電壓，皆使用測量峰-峰值 (V_{p-p})。

五、實驗項目與實驗步驟

(一)、測量項目(一)：元件測量。

1. 使用數位電表直接測量電晶體的 β 值，並可得知 B、C、E 腳位。

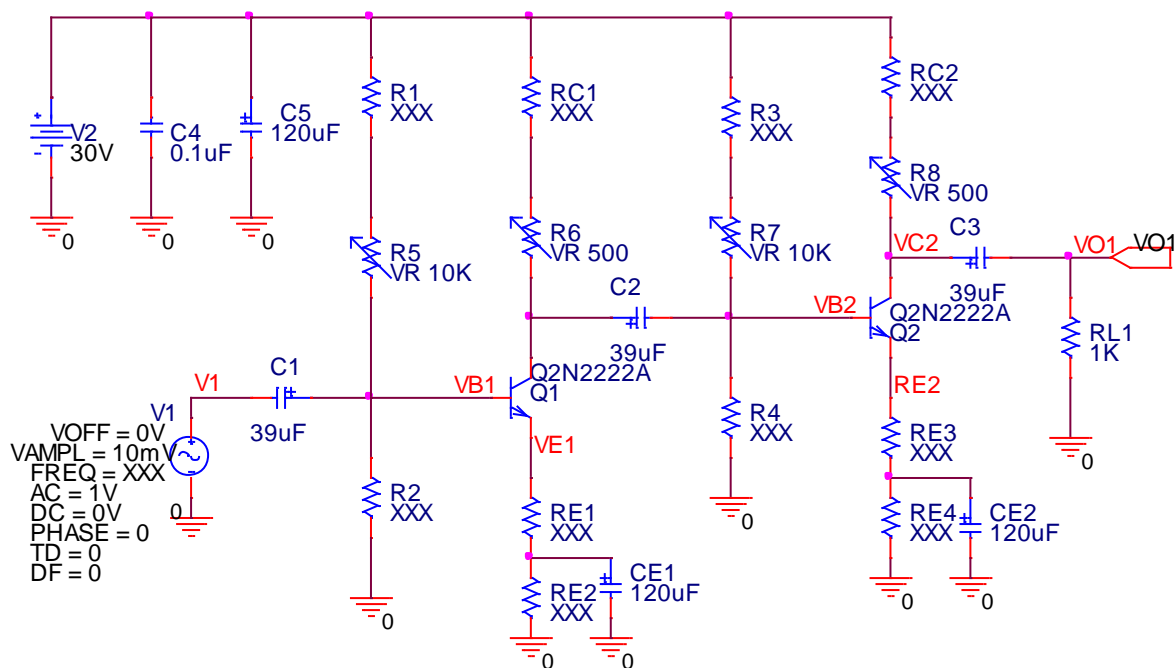
記錄：電晶體 Q1 及 Q2 的 β 值 = 240。

(二)、測量項目(二)：BJT Q1 及 Q2 偏壓點調整與測量。

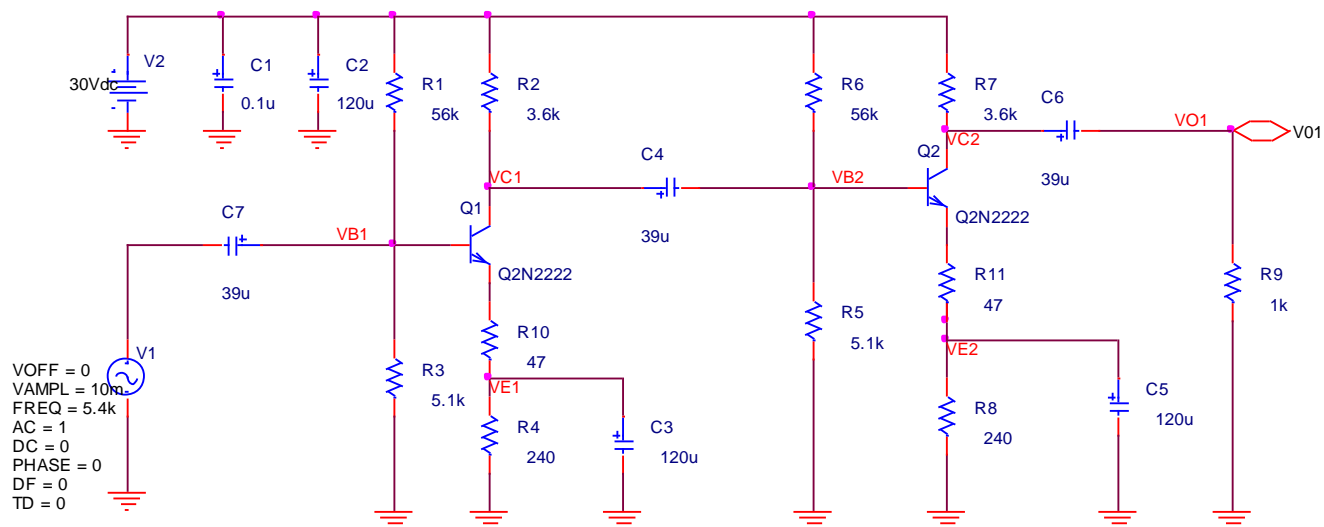
1. 依據電路設計結果與實驗模擬結果，完成電路設計，請自行組裝電路。

1. 參考圖圖(4-1)：串級放大器電路圖在電路圖中填入你所使用的電阻值，附上圖(4-1-1)：串級放大器電路圖(自行設計)(使用 OrCAD 軟體畫出)，組裝此電路。列入檢查項目。

※附上實驗電路圖。



圖(4-1)：串級放大器電路圖



附上圖(4-1-1)：串級放大器電路圖(自行設計)

- 2.接上 30V 直流電壓源，應注意是否有短路發生，請確認您所接 的電路是否正常工作，最簡單的方法就是使用萬用電表，檢驗電路模擬圖所完成的偏壓值是否差異過大，如有過大值存在，就要找出錯誤的原因。
- 3.調整可變電阻，改變電晶體的偏壓點，應儘量調整出實驗規格值，使用三用電表測量下列電壓，並記錄之，完成表格(4-1)內容。

表(4-1)：電晶體 Q1、Q2 偏壓點測量值及計算值

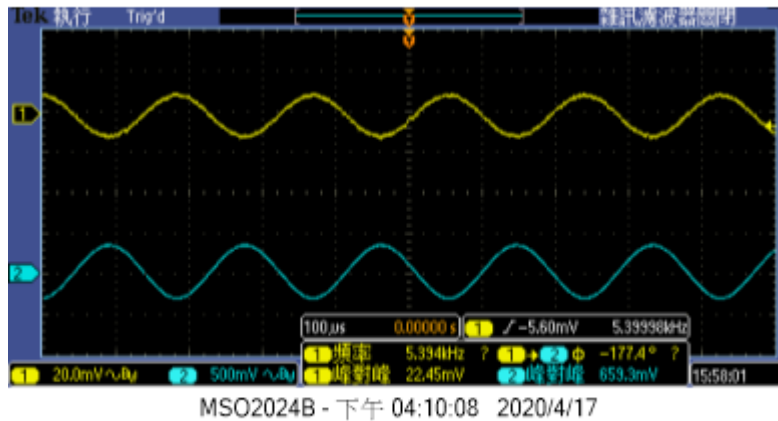
測 量 值	測 量 值	計 算 值
$V_{BE1} = 0.65V$	$V_{RE2} = 1.427V$	$I_{E1Q} = I_{RE2} = 6.486mA$
$V_{B1Q} = 2.346V$	$V_{R1} = 27.70V$	$I_{R1} = 0.49375mA$
$V_{CE1Q} = 6.788V$	$V_{RC1} = 21.6V$	$I_{C1Q} = I_{RC1} = 6mA$
	$V_{R2} = 2.347V$	$I_{R2} = 0.4601mA$
$V_{BE2} = 0.632V$	$V_{RE4} = 1.423V$	$I_{E2Q} = I_{RE4} = 6.486mA$
$V_{B2Q} = 2.34V$	$V_{R3} = 27.65V$	$I_{R3} = 0.49375mA$
$V_{CE2Q} = 6.766V$	$V_{RC2} = 21.30V$	$I_{C2Q} = I_{RC2} = 5.9166mA$
	$V_{R4} = 2.339V$	$I_{R4} = 0.4586mA$

(三)、測量項目(三)：BJT Q1 輸出各節點電壓增益的測量。

- 1.調整訊號產生器設定：正弦波[V1]、輸入各組之頻率值、輸入峰-峰值(Vp-p)：20mV、各項目測試，CH1、CH2 兩測試波形皆分開顯示。

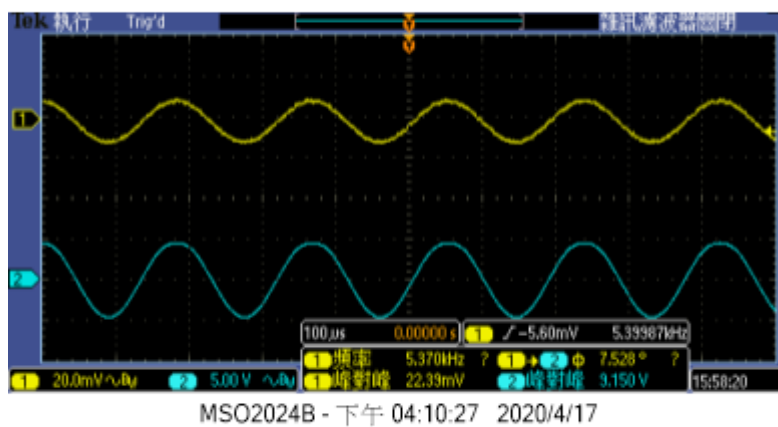
2.擷取下列各節點波形，輸出節點[VO1] 峰-峰值輸出合乎實驗要求。

a.節點[V1，VC1]： $A_{v3} = \frac{VC1}{V1} = \underline{-29.367}$ ，(相位關係：☐同相、☒反相)。



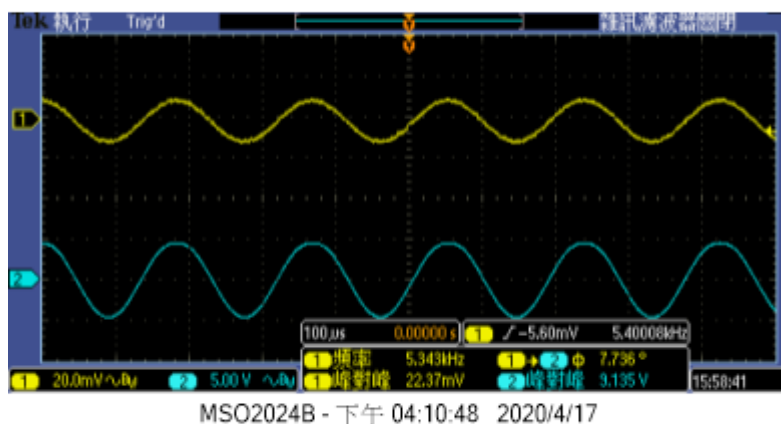
◎

b.節點[V1，VC2]： $A_{v6} = \frac{VC2}{V1} = \underline{408.664}$ ，(相位關係：☒同相、☐反相)。



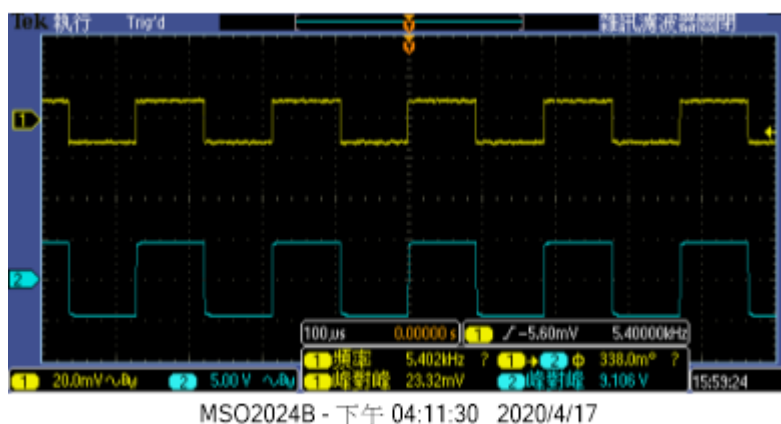
◎

c.節點[V1，VO1]： $A_{v7} = \frac{VO1}{V1} = \underline{408.359}$ ，(相位關係：☒同相、☐反相)。



3.方波測試，調整訊號產生器的輸出為下列波形：、輸入各組別之頻率值、輸入峰-峰值(V_{p-p})：20mV、CH1、CH2 兩測試波形分開顯示。。

4.續前步驟已調整好的電路，擷取下列節點波形，測試探棒[CH1，CH2]=[V1，VO1]。



(四)、測量項目(四)：頻率響應特性測試。

- 1.示波器探棒接妥[CH1、CH2]=[V1、VO1]。F.G.設定頻率=1KHz，示波器 CH1 測得峰-峰值電壓 (V_{p-p})=20mV。調整可變電阻，使得輸出[VO1] 峰-峰值電壓輸出合乎實驗要求。
- 2.分別改變正弦波之頻率，在示波器上觀察輸出節點[VO1]，記錄下[VO1]波形的峰-

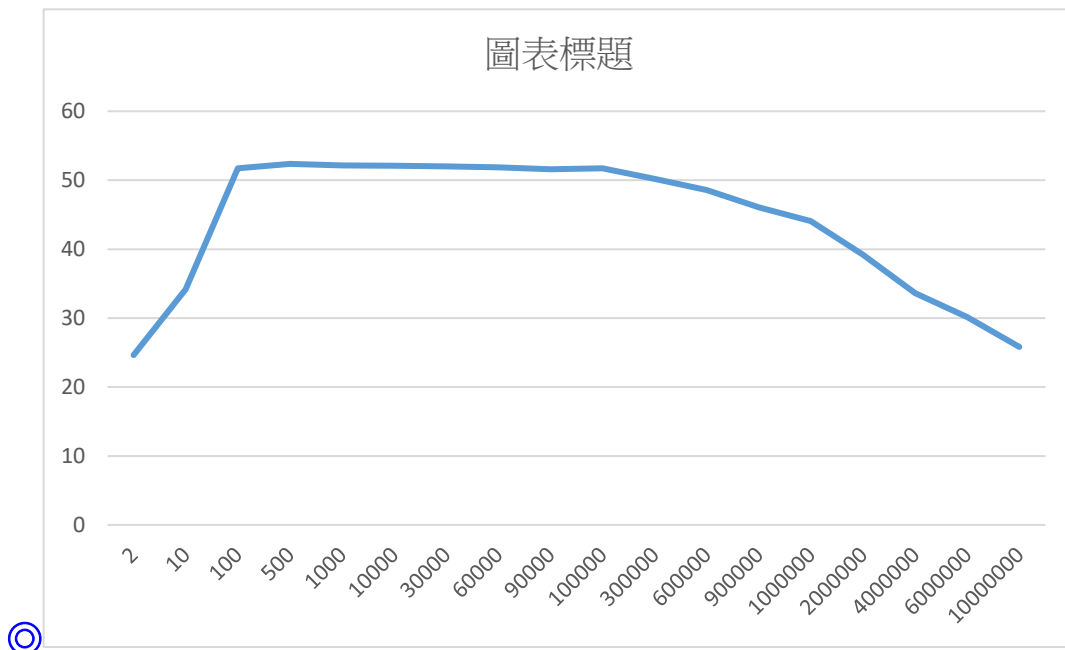
峰值大小及測量其輸入與輸出的相位差，將實驗結果記錄下來且計算出 dB 值，完成表格(4-2)內容。使用 Excel 軟體繪製出如下的頻率響應圖(峰-峰值大小及相位)。使用 Excell 時 Hz、mV 及 VS 等單位不要輸入。

表(4-2)：BJT 放大器頻率響應測試資料記錄表

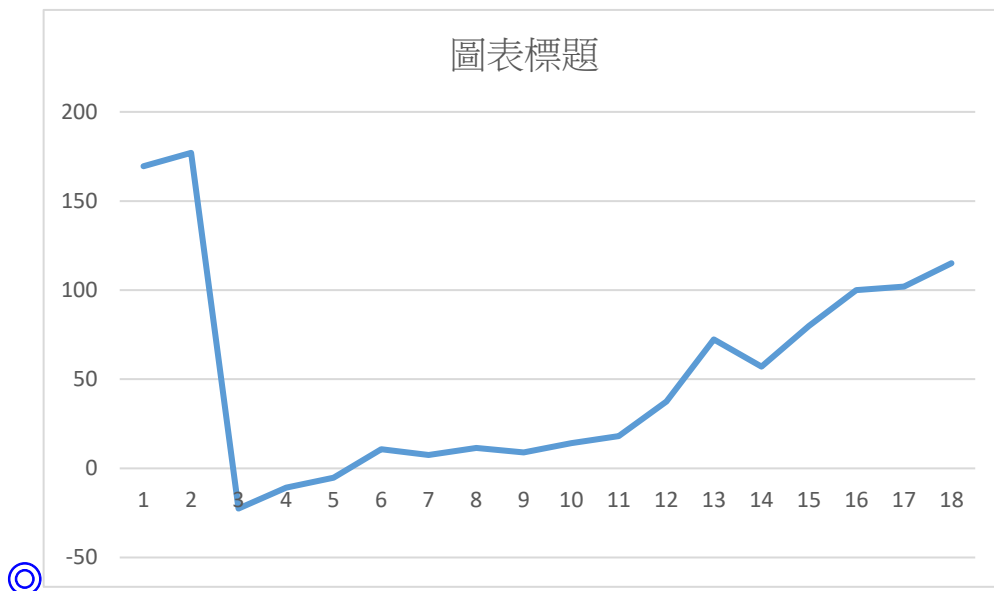
頻率 (Hz)	輸入 V1 (峰-峰值)	輸出 VO1 (峰-峰值)	計算電壓增益值 (dB)	記錄相位差 (度)
2	0.0352	0.6	24.63217174	169.48
10	0.0352	1.8	34.17459683	177.03
100	0.02261	8.745	51.74918503	-22.54
500	0.02220	9.223	52.37038468	-10.80
1K	0.02288	9.255	52.13840806	-5.155
10K	0.02257	9.092	52.10255736	10.81
30K	0.02235	8.924	52.02564068	7.552
60K	0.02223	8.702	51.85359233	11.39
90K	0.02273	8.612	51.57009171	8.921
100K	0.02223	8.599	51.75016972	14.14
300K	0.02346	7.588	50.19598629	18.03
600K	0.02455	6.588	48.57404188	37.53
900K	0.02882	5.80	46.07468034	72.42
1MHz	0.03221	5.154	44.08307379	57.06
2 MHz	0.03239	2.954	39.19999086	79.98
4MHz	0.03171	1.524	33.6357745	100.02
6MHz	0.03082	0.988	30.1184862	102.0
10MHz	0.03073	0.599	25.79728524	115.1

3.輸出圖表

a.多級放大器頻率響應圖(Excell 作圖)：增益對頻率之關係。



b.多級放大器頻率響應圖(Excell 作圖)：相位對頻率之關係。



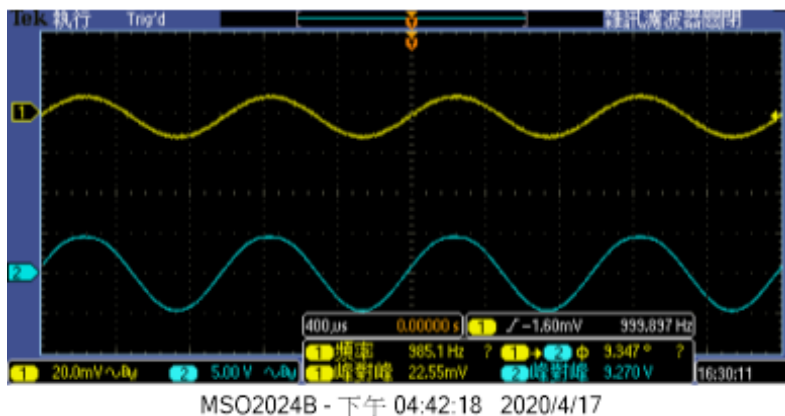
(五)、實驗項目(五)：測量出-3dB 截止點頻率。

- 調整訊號產生器頻率：微調頻率旋鈕(頻率調小於 1KHz)，在微調頻率時示波器測得[CH1] (V_{p-p})=20mV，電壓增益依實作結果，若訊號產生器輸出峰-峰值如有變動，需微調訊號產生器的振幅旋鈕。當頻率調整到-3dB 截止點頻率時，即為 $f_{L(-3dB)}$ 截止點頻率，節點[VO1]輸出峰-峰值(V_{p-p})0.707 倍，此時記錄頻率值，記錄 CH1 對 CH2 的相位差，並擷取此波形。
- 調整訊號產生器頻率：微調頻率旋鈕(頻率調大於 1KHz)，在微調頻率時示波器測得[CH1] (V_{p-p})=20mV，其峰-峰值如有變動，需微調訊號產生器的振幅旋鈕。

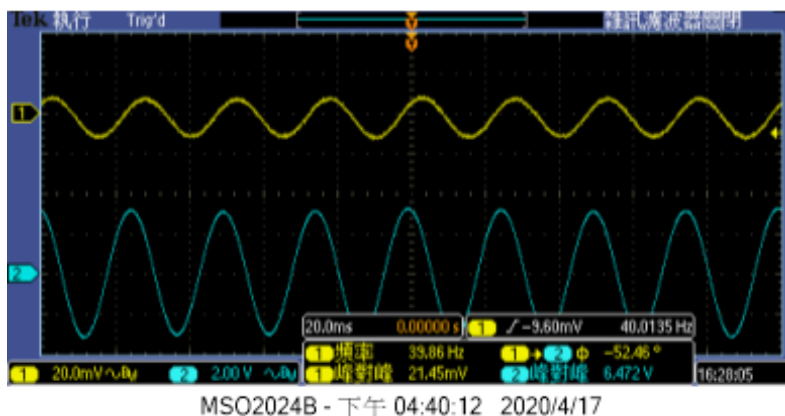
鈕。當頻率調整到-3dB 截止點頻率時，即為 $f_{H(-3dB)}$ 截止點頻率，節點[VO1]輸出合乎實驗要求，此時記錄頻率值，記錄 CH1 對 CH2 的相位差，並擷取此波形。

3.測量低頻-3dB 截止頻率：

a.頻率=1KHz 時，輸出 VO1= 9.270 V，擷取波形：[CH1、CH2]=[V1、VO1]。



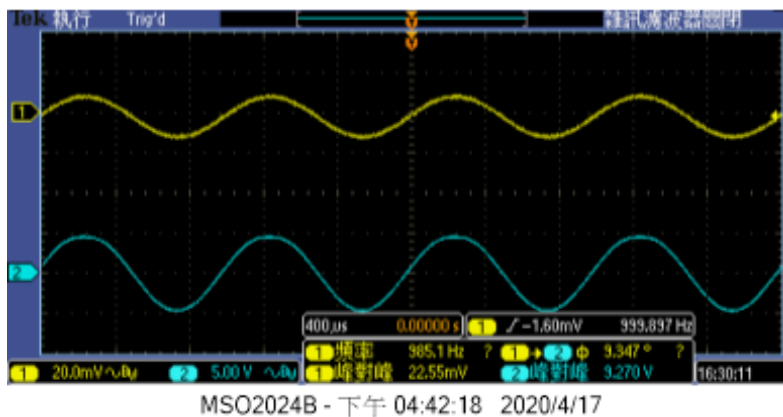
b.頻率= $f_{L(-3dB)}$ = 40.135HZ，輸出 VO1= 6.472V，擷取波形：[CH1、CH2]=[V1、VO1]。



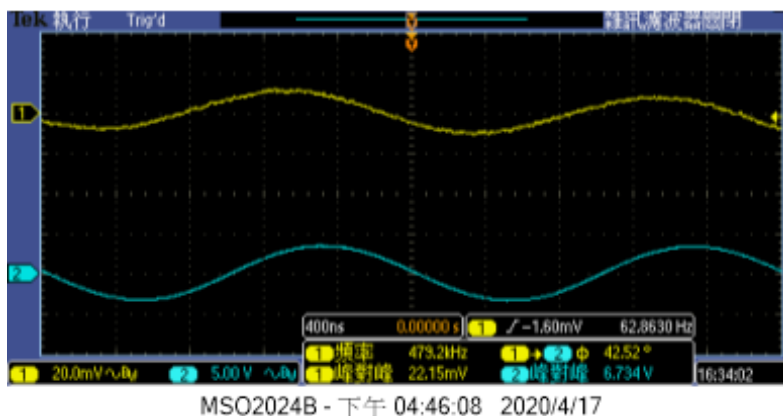
c.記錄：CH1 對 CH2 的相位差= -52.46。

4.測量高頻-3dB 截止頻率：高頻截止頻率過高時，測量數據以儀器所能測試的最高頻率就可以了。

a. 頻率=1KHz 時，輸出 VO1= 9.270V，擷取波形：[CH1、CH2]=[V1、VO1]。



b. 頻率= $f_{H(-3dB)}$ = 700kHz，輸出 VO1= 6.734V，擷取波形：[CH1、CH2]=[V1、VO1]。



c. 記錄：CH1 對 CH2 的相位差 = 42.52。

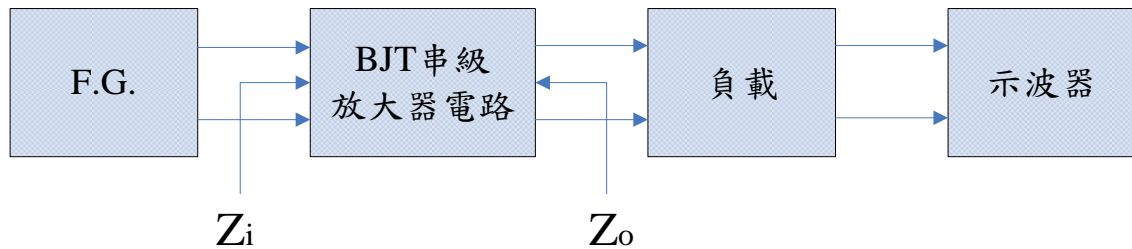
5. 計算頻寬增益乘積 = 700kHz。

(六)、測量項目(六)：輸出阻抗測試。

1. 示波器探棒接妥[CH1、CH2]=[V1、VO1]。F.G.設定頻率=1KHz，示波器 CH1 測得峰-峰值電壓(V_{p-p})=20mV。調整可變電阻，使得[VO1]峰-峰值電壓(V_{p-p})合乎

實驗要求。

- 2.更換負載測試：去除負載電阻，測量無負載下的電壓值 $V_{OPEN}(p-p)$ ，並擷取此結果，示波器測量時，需標示出電壓值。



圖(4-2)：輸出阻抗測試接線方塊圖

- 3.接負載電阻 $=2K\Omega$ 於負載處，測量放大器的輸出電壓值，其輸出電壓

$V_{LOAD}(p-p)$ ，並擷取此結果，示波器測量時，需標示出電壓值。

- 4.計算下列數學式，此為放大器在 1KHz 時的輸出阻抗為 Z_o 。

$$Z_o = R_L(2K\Omega) \times \left[\frac{V_{OPEN}}{V_{LOAD}} - 1 \right]。$$

- 5.公式推導：

a. $V_{OPEN} = V_{LOAD}(R_L = \infty)$

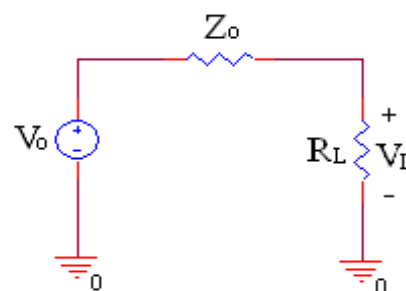
b.接負載下 $V_{LOAD} < V_{OPEN}$

- c.由戴維寧等效電路，分壓定理知

$$\frac{V_{LOAD}}{V_{OPEN}} = \frac{R_L}{Z_o + R_L}$$

$$\frac{V_{OPEN}}{V_{LOAD}} = \frac{R_L + Z_o}{R_L} = 1 + \frac{Z_o}{R_L}$$

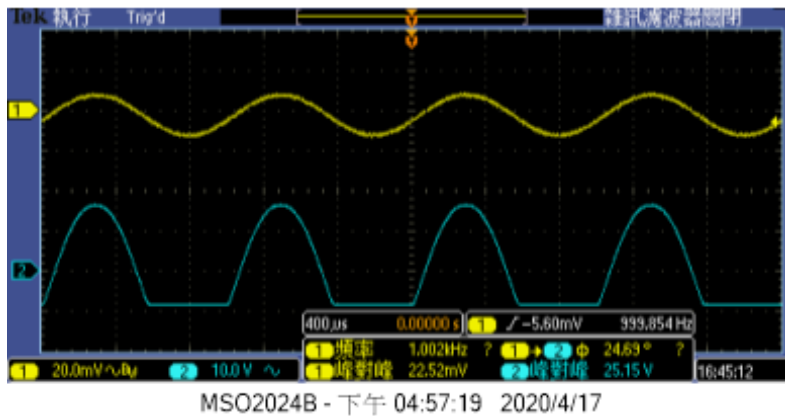
$$Z_o = R_L \times \left(\frac{V_{OPEN} - V_{LOAD}}{V_{LOAD}} \right)$$



圖(4-3)：輸出阻抗等效電路圖

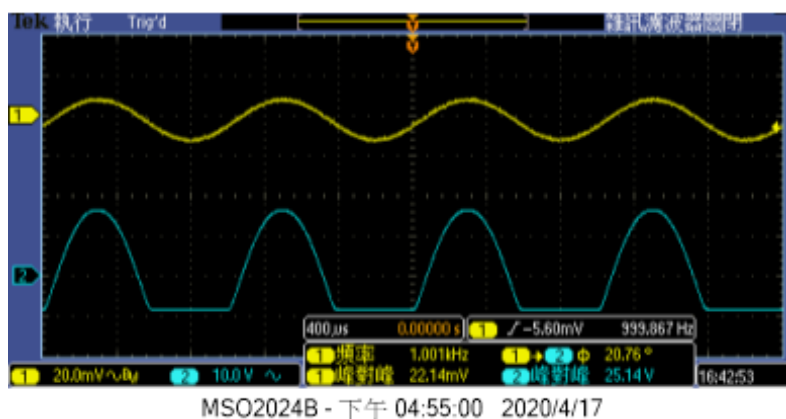
- 6.擷取波形：節點[V1，VO1]。

記錄： $V_{OPEN}(p-p) = \underline{25.15V}$ ，頻率值= $\underline{1KHZ}$ 。



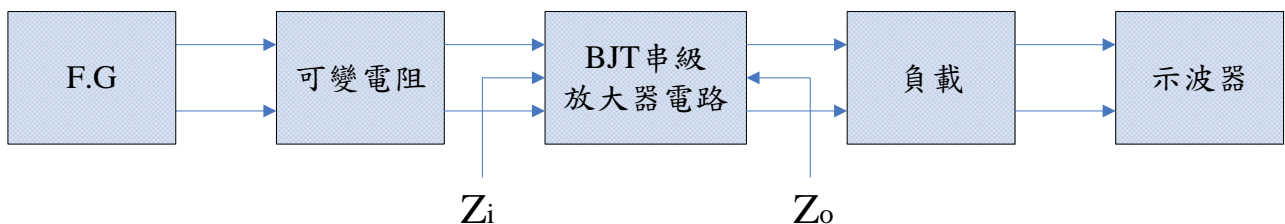
7.擷取波形：節點[V1，VO1]。

記錄： $V_{LOAD}(p-p) = \underline{25.14V}$ ，頻率值= $\underline{1KHZ}$ 。



8.計算 $Z_o = R_L(2K\Omega) \times [\frac{V_{OPEN}}{V_{LOAD}} - 1] = \underline{0.7955} \Omega$ 。

(七)、測量項目(七)：輸入阻抗測試。



圖(4-4)：測試輸入阻抗的測試連接圖

1.原電路中示波器探棒接妥[CH1、CH2]=[V1、VO1]。F.G.設定頻率=1KHz，示波

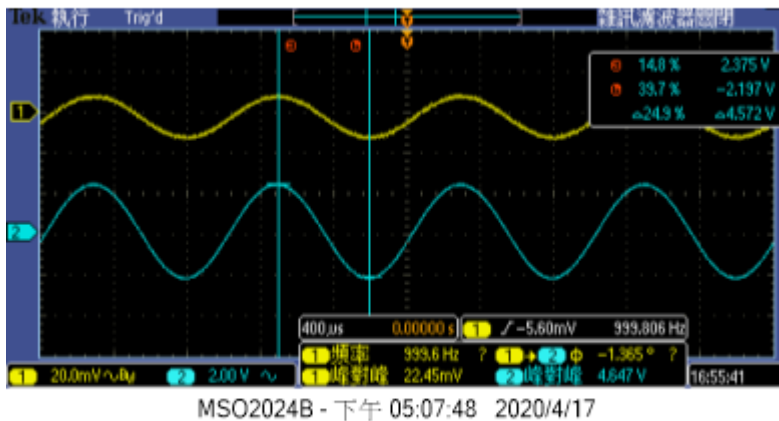
器 CH1 測得峰-峰值電壓 (V_{p-p}) = 20mV。調整可變電阻，使得 [VO1] 峰-峰值電壓 (V_{p-p}) 合乎實驗要求。

2. 參閱圖(4-4)，在原電路的輸入端串接一個可變電阻 5K Ω ，調整可變電阻，直到放大器的輸出電壓為前一項輸出電壓的一半為止，並擷取此結果，示波器測量時，需標示出電壓值。

3. 擷取波形。

a. 輸出 VO1 = 4.647V。

b. 擷取波形：[CH1、CH2] = [V1、VO1]。



c. 記錄：測試頻率值 = 1KHZ。

4. 可變電阻與原電路間開路 (OPEN)，使用萬用電表測量可變電阻 5K Ω 其電阻值，此電阻值即為放大器在 1KHz 時之輸入阻抗 Z_i ，記錄 Z_i = 1.708k Ω 。

六、實驗問題與討論

1. 在設計串級放大器時，應考慮那些因素？

注意 BJT 放大器的工作區，最好設計在直流負載線的中點可得最大不失真的全幅輸出。

2. 同學設計了單一級放大器電路，增益 $A_{v1} = 20(dB)$ ，他做了兩個相同的放大器，然後串接起來，他發現增益不會是 $A_{v2} = 20(dB) \times 2 = 40(dB)$ ，請問是發生什麼原因，讓增益不會是 $40(dB)$ 呢？

沒有注意Q點，輸出被截掉，在E極加電阻即可解決。

3. 實驗中同學裝錯元件 $CE1 = 10\mu F$ ，請問會對那一個實驗測量項目造成影響？就您的答案，說明一下為何會這樣回答。

增益變小，因為電容沒辦法完全短路，造成有電壓在E極電阻上。

七、實驗結論與實驗心得

這次實作串極放大電路，但跟 011 不同的是兩個 CE 串接，也驗證了課本上，兩個放大電路串接，增益是兩者乘積。但在測輸出電阻值時因為換上 2K 電阻導致波被截掉，以後會適當地調整電阻，並提出此舉依據。

八、實驗綜合評論

1. 實驗測試說明、實驗補充資料及老師上課原理說明，是否有需要改善之處。無
2. 實驗模擬項目內容，是否有助於個人對實驗電路測試內容的了解。是
3. 實驗測量結果，是否合乎實驗目標及個人的是否清楚瞭解其電路特性。是
4. 就實驗內容的安排，是否合乎相關課程進度。是
5. 就個人實驗進度安排及最後結果，自己的評等是幾分。100 分
6. 在實驗項目中，最容易的項目有那些，最艱難的項目包含那些項目，並回憶一下，您在此實驗中學到了那些知識與常識。

學到串極放大電路的設計，而 PSPICE 電路模擬較為簡單。

九、附上實驗進度紀錄單(照片檔)

電工實驗進度記錄單

◎上課班別：☐2A、☒2B、☐3A、☐3B

組別：22

姓名：

李宜恩

◎實驗單元(4)：BJT串聯放大電路

■上述及左列沒寫扣5分。

■附上實驗進度紀錄

1. 實驗進度記錄：應確實記錄，實驗電路檢查時，會查驗、檢視實驗數據。

①. 工作日期：109年4月17日、工作時數：3小時、☐:上課時段、☒:開放時段。

■實驗進度說明：SIM04

②. 工作日期：109年4月17日、工作時數：3小時、☒:上課時段、☐:開放時段。

■實驗進度說明：LA 陳錦昌

③. 工作日期：109年4月17日、工作時數：3小時、☐:上課時段、☐:開放時段。

■實驗進度說明：

④. 工作日期：109年4月17日、工作時數：3小時、☐:上課時段、☐:開放時段。

■實驗進度說明：

⑤. 工作日期：109年4月17日、工作時數：3小時、☐:上課時段、☐:開放時段。

■實驗進度說明：

⑥. 工作日期：109年4月17日、工作時數：3小時、☐:上課時段、☐:開放時段。

■實驗進度說明：

2. 依上課說明填寫實驗注意事項，沒寫或內容不完整，扣☐5分或☐10分。

① 檢查電路 - 元件 → 電阻貼平，貼內整齊
凡半高現象 → 扭直板

助教陳錦昌

→ 步驟寫上 → Hz, V, ... Ω kΩ

② BJT



3. 記錄實驗問題之解決策略，包括一問題之描述、分析造成問題的原因及提出解決問題的方法。依實驗過程，請記錄之。沒寫的或內容簡略者，扣☐5分或☐10分。

看教材

4.請先行自我評量：我對我的作業評分—正確度共 100 分。◎我的作業自評得分= 100 分。

項次	滿分	評比	評分標準	項次	滿分	評比	評分標準
1	20%	20	電路裝配的正確性	4	20%	20	實驗數據記錄的正確性
2	20%	20	儀器操作程度的正確性	5	10%	10	工作安全與環境維護
3	20%	20	電路測試的正確性	6	10%	10	工作計畫內容

■上列沒寫的扣 10 分。

5.接線配置及元件配置：☐接線架高、☐接線凌亂、☐接線錯誤、☐配置擁擠、☐元件架高、☐元件錯誤等現象。-----有違反者，每項扣 5 分。

■上述情形，需要重新接線再行檢查。

6.實驗測試內容：☐數據記錄有缺失、☐波形有缺失、☐數據缺單位-----有違反者，每項扣 5 分。

7.實驗測試操作程序：操作不熟練(扣 10 分)、操作有錯誤(扣 10 分)。

8.作業期限：☐準時檢板、☐遲交 1 週扣 10 分，☐遲交 2 週扣 20 分，☐第 3 週不給延期，直接看結果，依據測試結果給分，最高 60 分。

9.記錄特定波形擷取時間或測量特定值：F4 05:01:48 2020/4/17。

■上列沒寫的扣 10 分。

※麵包板照像，附於實驗報告中。

◎電路檢查評分(記錄扣分) 0 分。

助教陳錦昌

◎檢查時間：1090419

◎助教簽章：_____

◎領取電路板(需要焊接 PCB)：☒OK。

11.檢視所焊接之實驗電路板：每項缺失扣 5 分。

☐焊錫表面黯淡冷焊 ☐焊錫顆粒過大 ☐元件焊接置放規則 ☐元件導線過長 ☐焊錫成球狀
☐元件鬆脫 ☐焊錯元件 ☐焊點焊錫過小

12.檢視電路板輸出波形(需合乎規格)：☐沒有輸出波形(扣 10 分)、☐波形失真(扣 5 分)。

◎擷取波形，附於實驗報告中。

◎記錄波形擷取時間：_____

※電路板照像，附於實驗報告中。

◎電路板檢查評分(記錄扣分)= 0 分。

助教陳錦昌

◎檢查時間：OK

※總評分= 100 分。

◎助教簽章：_____

助教陳錦昌

※繳交此實驗紀錄單

十、附上麵包板電路組裝圖檔(照片檔)

