

# 電工實驗(二) 實驗報告

## 實驗單元(7) MOSFET 串級放大器電路 (電路實作 071)

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)

1. 了解 MOSFET 共閘極放大器電路的電路特性

### 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. 實驗電路計算
4. 實驗電路模擬
5. 實驗步驟、實驗測量與記錄
6. 實驗數據分析、實驗問題與討論
7. 實驗結論與實驗心得
8. 實驗綜合評論
9. 附上實驗進度紀錄單(照片檔)及麵包板電路組裝圖檔(照片檔)
10. 實驗電路板

### 四、實驗注意事項

- 1.參閱表(7-1)：各組頻率值，請依內容選定測試頻率值。
- 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<sub>p-p</sub>)。

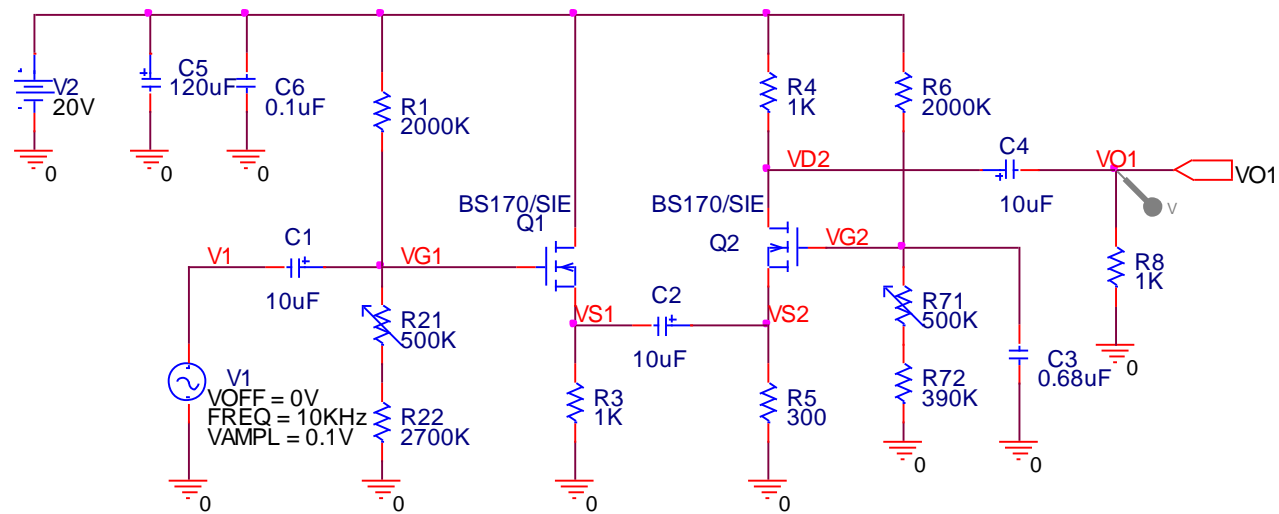
## 五、實驗項目與實驗步驟

■測試頻率值＝ 5.4 KHz

(一)、測量項目(一)：MOSFET Q1 及 Q2 偏壓點調整與測量。

1.參閱實驗電路圖(7-1)，組裝所設計的電路。

※實驗電路圖。



圖(7-1)：MOSFET 串級放大器電路

2.接上 20V 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，應儘量調整出自己所設計電晶體的工作點偏壓，使用三用電表測量下列電壓，並記錄之，完成表格(7-2)內容。

表(7-2)：電晶體電路偏壓點測量值及計算值

測 量 值	測 量 值	計 算 值
$V_{G1Q} = 11.31V$	$V_{R1} = 7.6V$	$I_{R1} = 3.8uA$
$V_{S1Q} = 9.49V$	$V_{R22} = 10.9V$	$I_{R22} = 4.037uA$
$V_{DS1Q} = 10.465V$	$V_{R3} = 9.49V$	$I_{D1Q} = I_{S1Q} = I_{R3} = 9.49mA$
$V_{GS1Q} = 2.562V$	$V_{GS2Q} = 2.5V$	

測 量 值	測 量 值	計 算 值
$V_{G2Q} = 4.777\text{V}$	$V_{R6} = 14.20\text{V}$	$I_{R6} = 7.1\mu\text{A}$
$V_{S2Q} = 2.464\text{V}$	$V_{R5} = 2.513\text{V}$	$I_{S2Q} = I_{R5} = 8.3766\text{mA}$
$V_{D2Q} = 11.699\text{V}$	$V_{R4} = 8.304\text{V}$	$I_{D2Q} = I_{R4} = 8.304\text{mA}$
$V_{DS2Q} = 9.18\text{V}$	$V_{R72} = 2.761\text{V}$	$I_{R72} = 7.079\text{mA}$

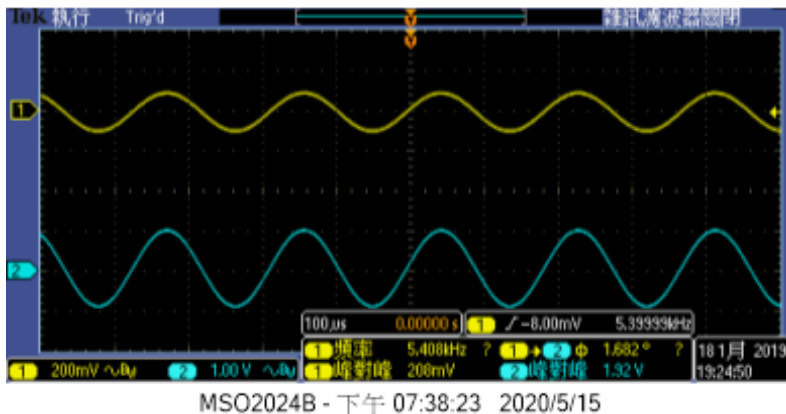
(二)、測量項目(二)：MOSFET 輸出各節點電壓增益的測量。

1.調整訊號產生器設定：正弦波、依各組頻率值、振幅(示波器上顯示(Vp-p))：

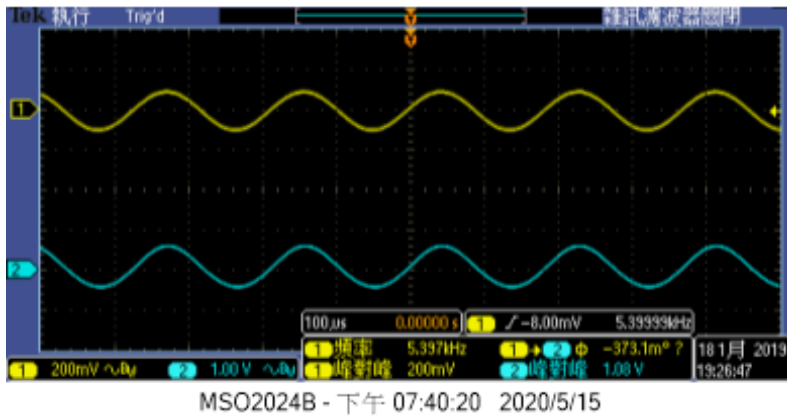
200mV、CH1、CH2 兩測試波形皆分開顯示。

2.擷取下列各節點波形，實驗規格輸出節點[VO1]峰-峰值應為(Vp-p)≥2V。

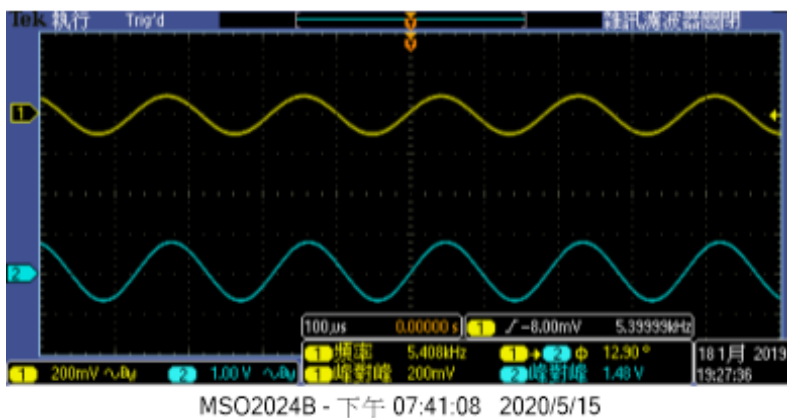
a.節點[V1，VG1]： $A_{v1} = \frac{VG1}{V1} = \underline{9.6}$ ，(相位關係：☒同相、☐反相)。



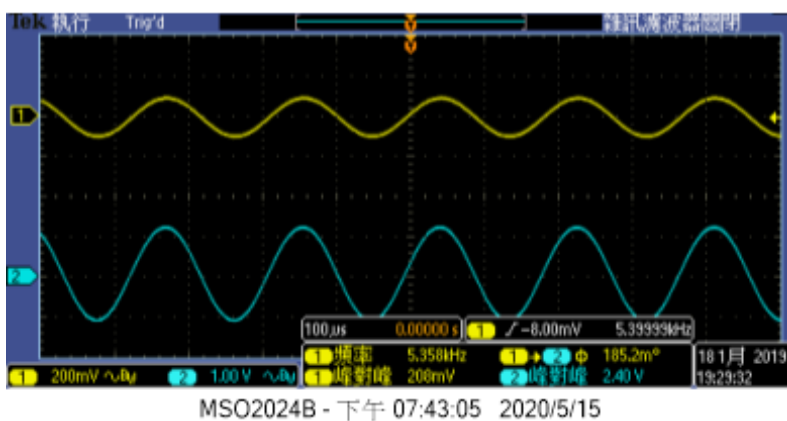
b.節點[V1，VS1]： $A_{v2} = \frac{VS1}{V1} = \underline{5.4}$ ，(相位關係：☒同相、☐反相)。



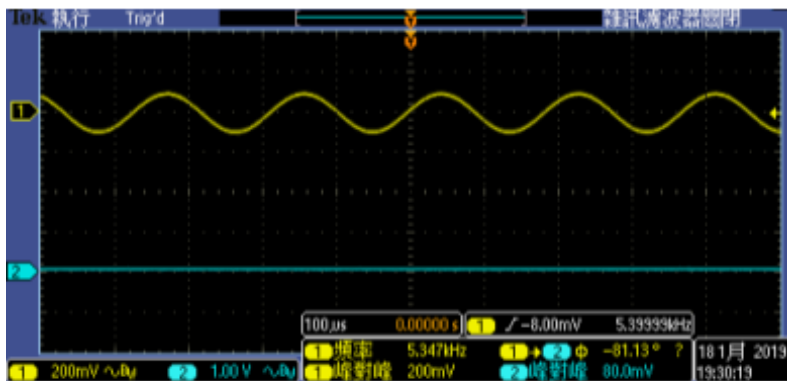
c.節點[V1，VS2]： $A_{v3} = \frac{VS2}{V1} = \underline{7.4}$ ，(相位關係：☒同相、☐反相)。



d.節點[V1，VD2]： $A_{v4} = \frac{VD2}{V1} = \underline{12}$ ，(相位關係：☒同相、☐反相)。

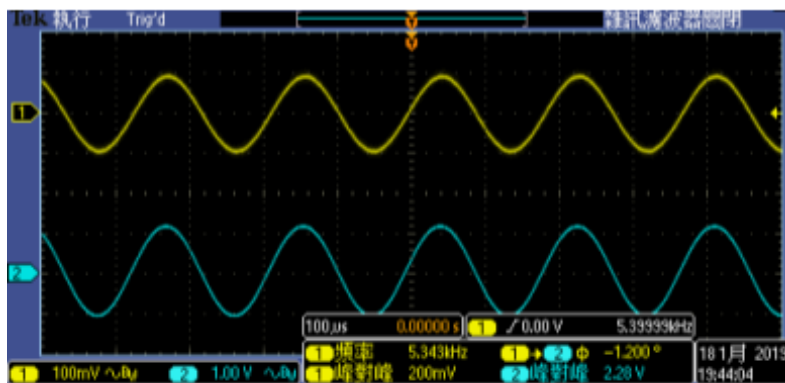


e.節點[V1，VG2]： $A_{v5} = \frac{VG2}{V1} = \underline{0.4}$ ，(相位關係：☒同相、☐反相)。



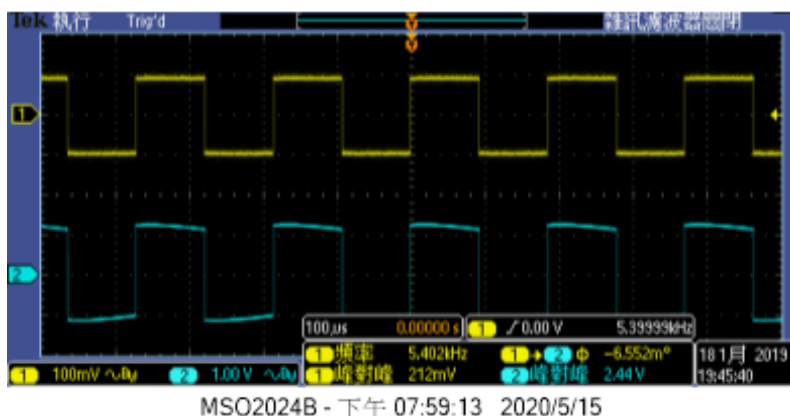
MSO2024B - 下午 07:43:52 2020/5/15

f.節點[V1，VO1]： $A_{v6} = \frac{VO1}{V1} = \underline{11.4}$ ，(相位關係：☒同相、☐反相)。



MSO2024B - 下午 07:57:37 2020/5/15

3.方波測試，調整訊號產生器的輸出為下列波形：方波、依各組別頻率值、振幅(示波器上顯示( $V_{p-p}$ ))：200mV、依前所調整好的電路，擷取節點[V1，VO1]測試波形。



### (三)、測量項目(三)：頻率響應特性測試

- 1.接妥[CH1、CH2]=[V1、VO1]。F.G.設定頻率=1KHz，示波器 CH1 測得電壓數據得[峰-峰值] ( $V_{p-p}$ )=200mV。調整可變電阻，使得輸出[VO1] 峰-峰值電壓( $V_{p-p}$ )，其電壓增益 $\geq 10$  倍。示波器通道輸入設定為直流耦合。
- 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-峰值大小及測量相位差且計算出 dB 值，完成表格(7-3)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)。

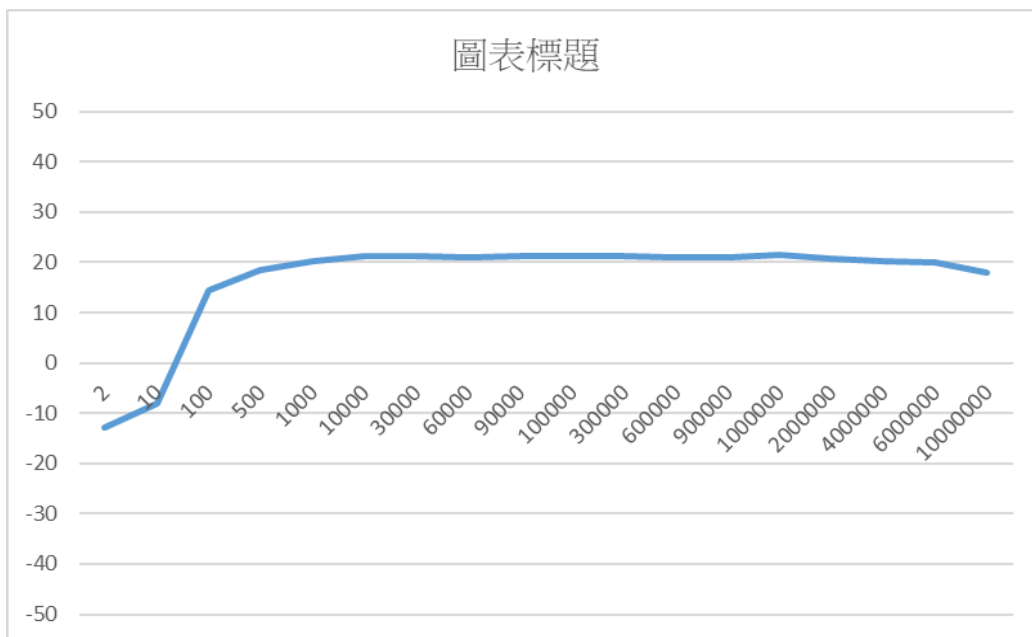
表(7-3)：MOSFET 放大器頻率響應測試資料記錄表

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	0.2	0.045	-12.95634964	-153.7
10	0.2	0.08	-7.958800173	-152.3
100	0.1	0.52	14.32006687	-80.3
500	0.2	1.68	18.48558572	-45.99
1K	0.2	2.08	20.34066679	-25.33
10K	0.2	2.32	21.28915978	1.2
30K	0.2	2.28	21.13809703	2.4
60K	0.2	2.24	20.98436045	3.13
90K	0.2	2.28	21.13809703	3.5
100K	0.2	2.28	21.13809703	2.88
300K	0.2	2.28	21.13809703	4.2
600K	0.2	2.24	20.98436045	4.22

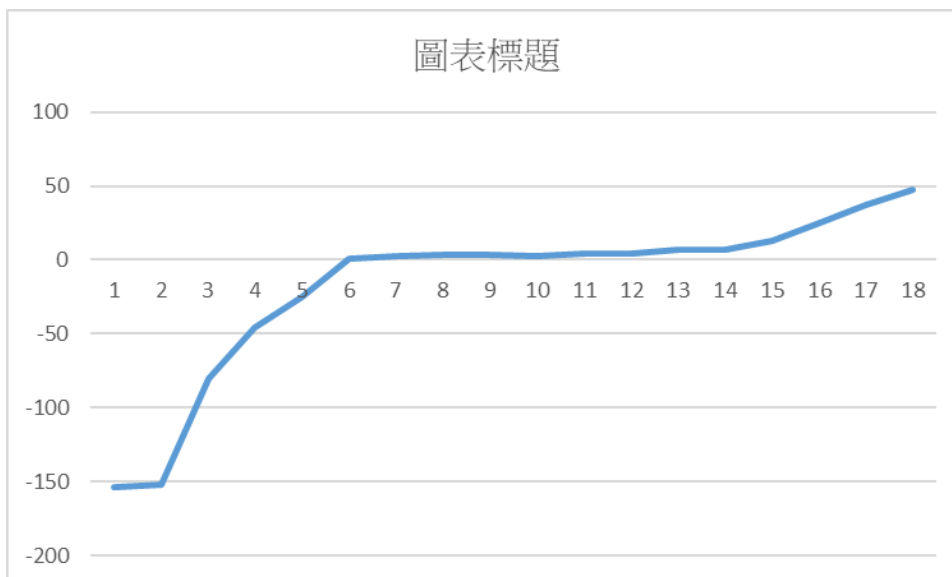
<b>900K</b>	<b>0.2</b>	<b>2.24</b>	<b>20.98436045</b>	<b>6.7</b>
<b>1M</b>	<b>0.19</b>	<b>2.28</b>	<b>21.58362492</b>	<b>7.135</b>
<b>2 M</b>	<b>0.2</b>	<b>2.20</b>	<b>20.8278537</b>	<b>13.32</b>
<b>4M</b>	<b>0.2</b>	<b>2.04</b>	<b>20.17200344</b>	<b>24.95</b>
<b>6M</b>	<b>0.18</b>	<b>1.8</b>	<b>20</b>	<b>37.49</b>
<b>10M</b>	<b>0.176</b>	<b>1.4</b>	<b>18.01230736</b>	<b>47.12</b>

### 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。



(四)、實驗項目(四)：測量出-3dB 截止點頻率



1.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] ( $V_{p-p}$ )=200mV，[CH2]=[VO1]輸出為不失真的最大峰-峰值波形，其 F.G.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[CH2]=[VO1]輸出峰-峰值( $V_{p-p}$ )為上述輸出峰-峰值的 0.707 倍，此時記錄頻率值，記錄相位差，並擷取此波形。

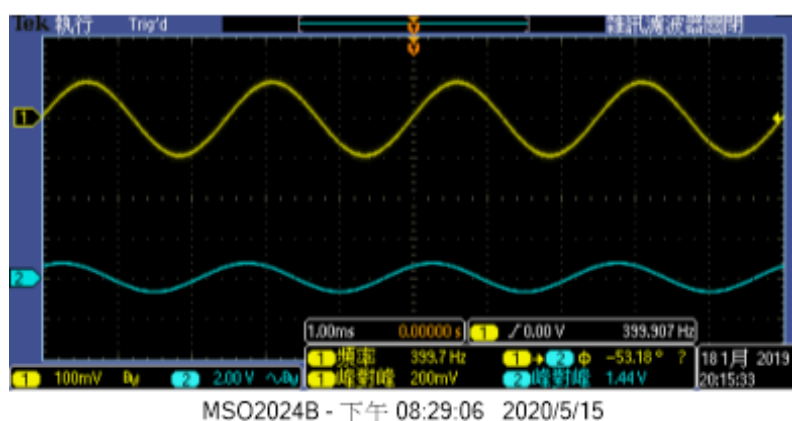
2.調整訊號產生器頻率：微調頻率旋鈕(頻率調大於 1KHz)，在微調頻率時示波器測得[CH1] ( $V_{p-p}$ )=200mV，其峰-峰值如有變動，需微調訊號產生器的振幅旋鈕。當頻率調整到-3dB 截止點頻率時，即為  $f_{H(-3dB)}$  截止點頻率，節點[VO1]輸出峰-峰值( $V_{p-p}$ )為上前述輸出峰-峰值的 0.707 倍，此時記錄頻率值，記錄相位差，並擷取此波形。

3.測量低頻-3dB 截止頻率：

a.頻率 1KHz 時輸出 VO1= 2.08V。

b.記錄低頻-3dB 截止頻率：輸出 VO1= 1.44V，頻率值  $f_{L(-3dB)}$  = 400HZ。測量相位差 = -50.61。

c.擷取波形：[CH1、CH2]=[V1、VO1]。



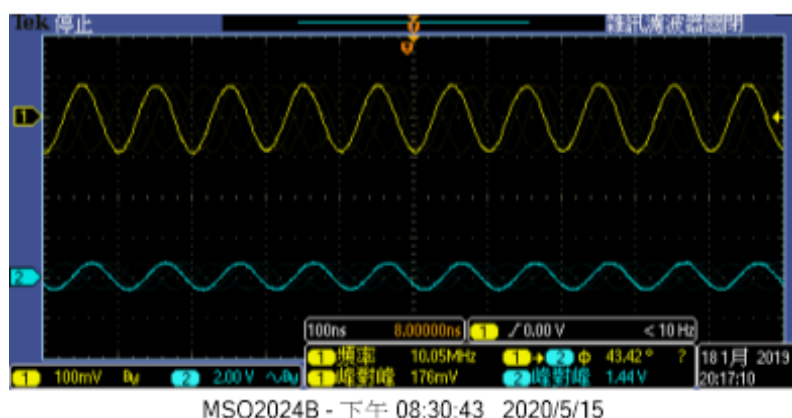
4.測量高頻-3dB 截止頻率：

a.頻率 1KHz 時輸出 VO1= 2.08V。

b.記錄高頻-3dB 截止頻率：輸出 VO1= 1.44V，頻率值  $f_{H(-3dB)}$  =

10MHZ。測量相位差=44.10。

c.擷取波形：[CH1、CH2]=[V1、VO1]。

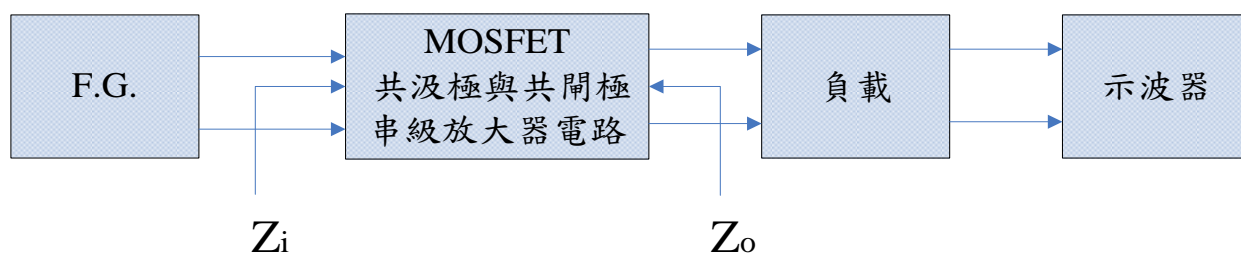


5.計算頻寬增益乘積=100M。

#### (五)、測量項目(五)：輸出阻抗測試。

1.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( $V_{p-p}$ )=200mV。在原有電路中，調整可變電阻，使得輸出為不失真的最大峰-峰值波形。

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。



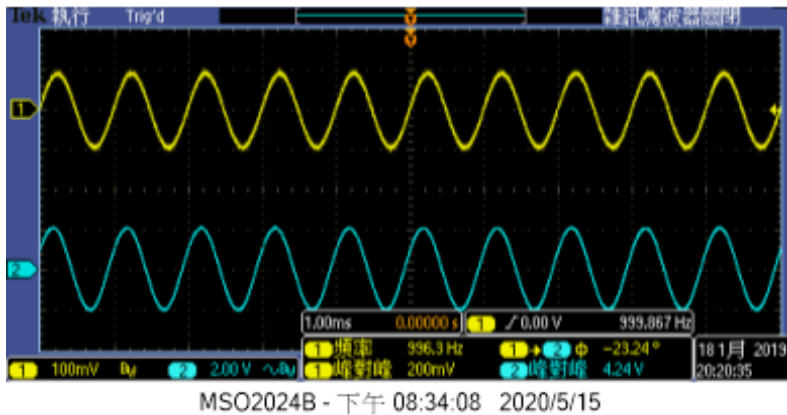
圖(7-2)：輸出阻抗測試接線方塊圖

3.更改接負載電阻=10K $\Omega$ 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  $Z_o$ 。

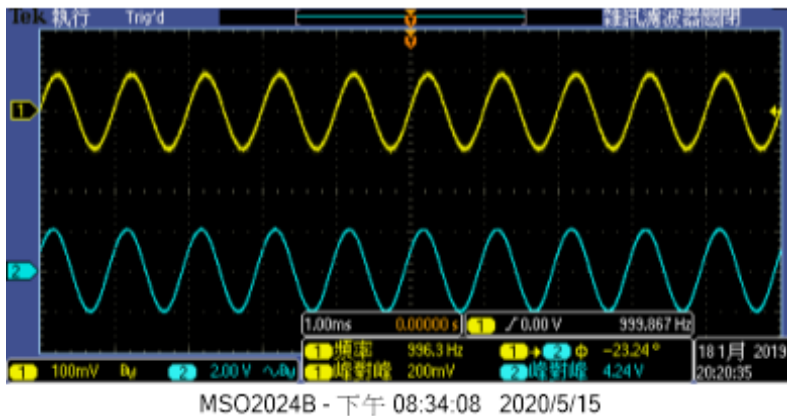
$$Z_o = R(10K\Omega) \times \left[ \frac{V_{OPEN}}{V_{LOAD}} - 1 \right]。$$

5.擷取波形：節點[V1，VO1]。



記錄： $V_{OPEN}(p-p) = \underline{4V}$ ，頻率值=1KHz。

6.擷取波形：節點[V1，VO1]。



記錄： $V_{LOAD}(p-p) = \underline{3.68V}$ ，頻率值=1KHz。

7.計算  $Z_o = R8(10K\Omega) \times [\frac{V_{OPEN}}{V_{LOAD}} - 1] = \underline{869.565} \Omega$ 。(  $R_L = R8$  )

8.公式推導：

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

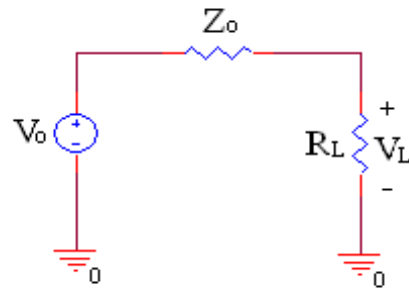
b.接負載下  $V_{LOAD} < V_{OPEN}$

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(7-3)：輸出阻抗等效電路圖

## 六、實驗數據分析、實驗問題與討論

1.依上述所得到的實驗數據，討論共汲極與共閘極放大器電路的特性。

共汲極電壓增益約為 1，輸出阻抗大而輸出阻抗小。

共閘極沒有電流增益，卻可以提高輸出阻抗。

2.共閘極放大器電路可以應用於那些電路呢？

疊接電路。

## 七、實驗結論與實驗心得

由於這次十座高阻抗的電路，深深的體會到用越少連接線越好，而接地也最好在同一排上。

## 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。否

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。

實驗筆記較為簡單，而實作與模擬因為元件較多，比較具困難。

## 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(七)：MOSFET 共源放大電路 ☒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5月8日、工作時數：2小時、☒上課時段、☐開放時段。

■實驗進度說明：SIM 7

②. 工作日期：109年5月15日、工作時數：2小時、☒上課時段、☐開放時段。

■實驗進度說明：ELABO 50p

③. 工作日期：109年5月15日、工作時數：2小時、☒上課時段、☐開放時段。

■實驗進度說明：

④. 工作日期：109年5月15日、工作時數：2小時、☒上課時段、☐開放時段。

■實驗進度說明：

⑤. 工作日期：109年5月15日、工作時數：2小時、☒上課時段、☐開放時段。

■實驗進度說明：

⑥. 工作日期：109年5月15日、工作時數：2小時、☒上課時段、☐開放時段。

■實驗進度說明：

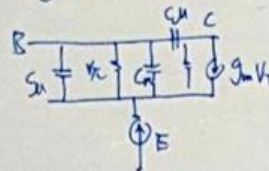
2. 依上課說明填寫實驗注意事項，沒寫或內容不完整，扣☐5分或☐10分。

共源極放大電路 (B.W. 較窄)

$$f_H = 2.657 \text{ MHz}$$

Miller effect

電容效應



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	電路裝配的正确性	4	20%	20	實驗數據記錄的正确性
2	20%	20	儀器操作程度的正确性	5	10%	10	工作安全與環境維護
3	20%	20	電路測試的正确性	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：2020/5/15 08:34:08。

■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)=10分。

◎檢查時間：1090515

◎助教簽章：助教陳錦昌

◎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)=100分。

◎檢查時間：\_\_\_\_\_

※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)



