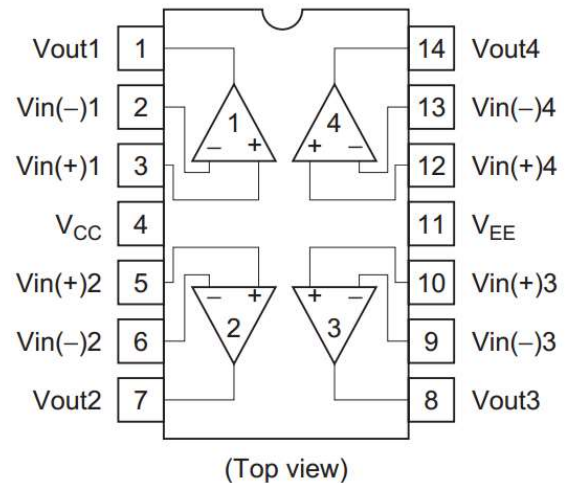
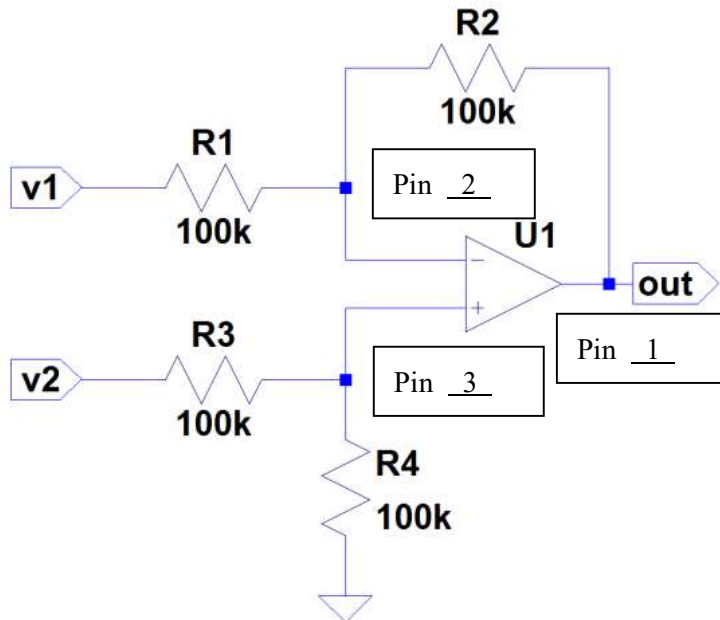


# REPORT

## Experiment 1: Difference Amplifier

Write down your pinout.



## 電路分析

根據分壓定律及疊加原理(Superposition)，可列出以下關係式

$$V_+ = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \times V_2, \quad V_- = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times V_{out}$$

由於 OPAMP 輸入為虛短路，亦即  $V_+ = V_-$  因此

$$\begin{aligned} \frac{R_4}{R_3 + R_4} \times V_2 &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times V_{out} \\ \Rightarrow V_{out} &= \frac{R_1 + R_2}{R_1} \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \times V_2 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_1 \right) \end{aligned}$$

本題實驗  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 100k$ ，代入上式得

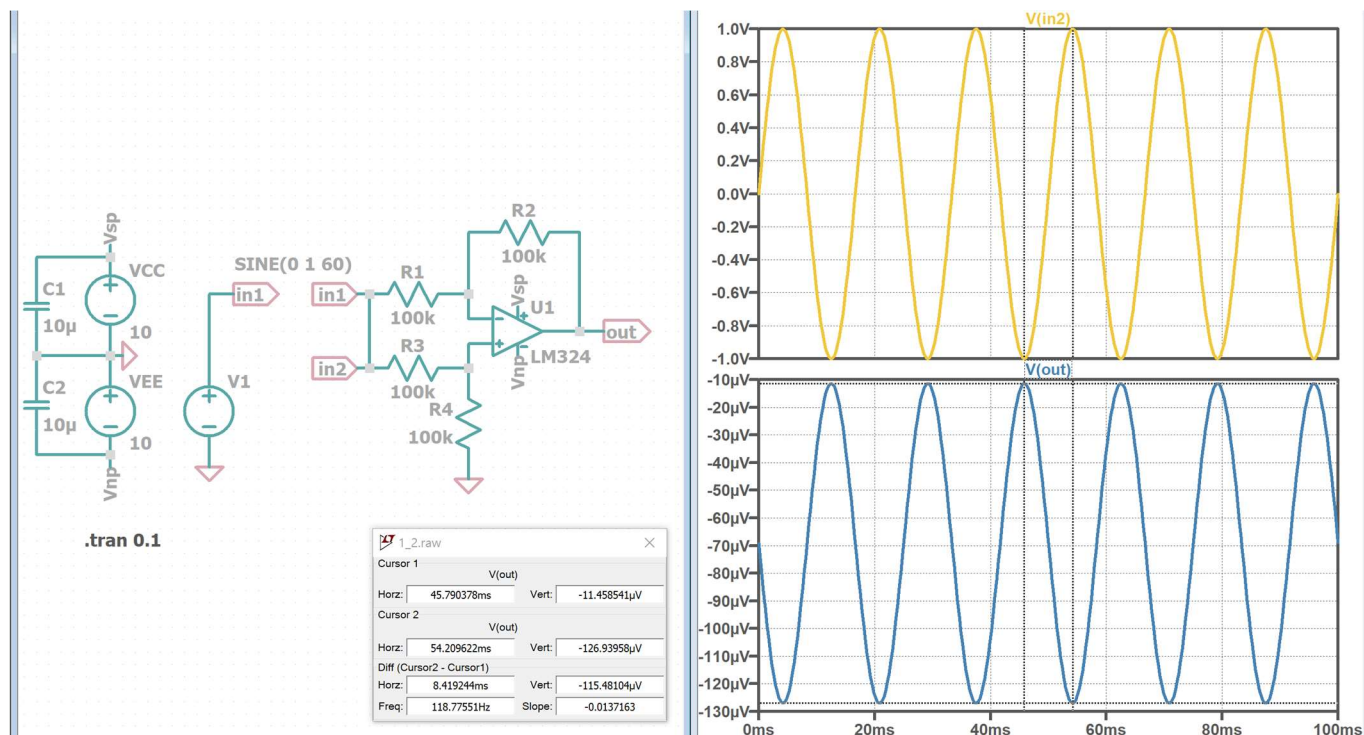
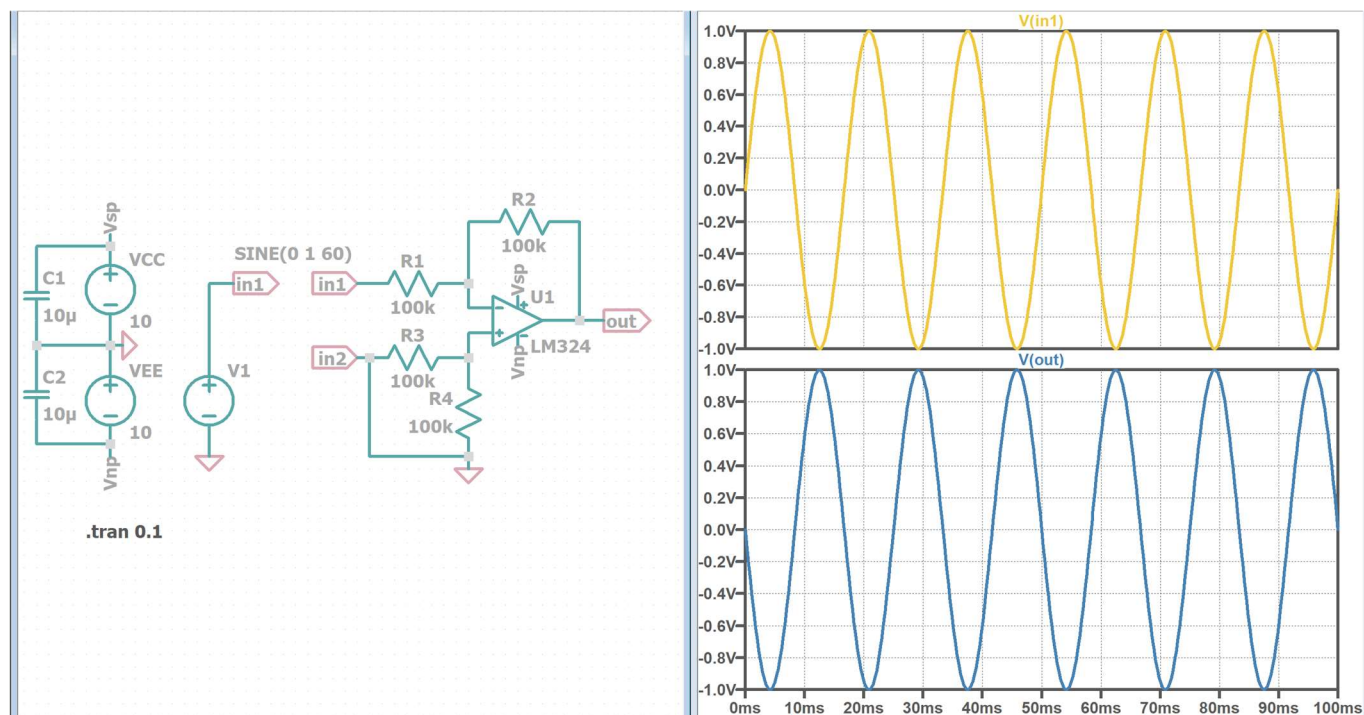
$$V_{out} = V_2 - V_1$$

因此輸出訊號會反向，而震幅不變。

根據 TI 的 datasheet，LM324 的 CMRR 最小值約 65dB，且通常在 80dB 上下。

CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{ICRmin}$	25°C	70	80	65	80	dB
------	-----------------------------	-----------------------	------	----	----	----	----	----

## 電路模擬



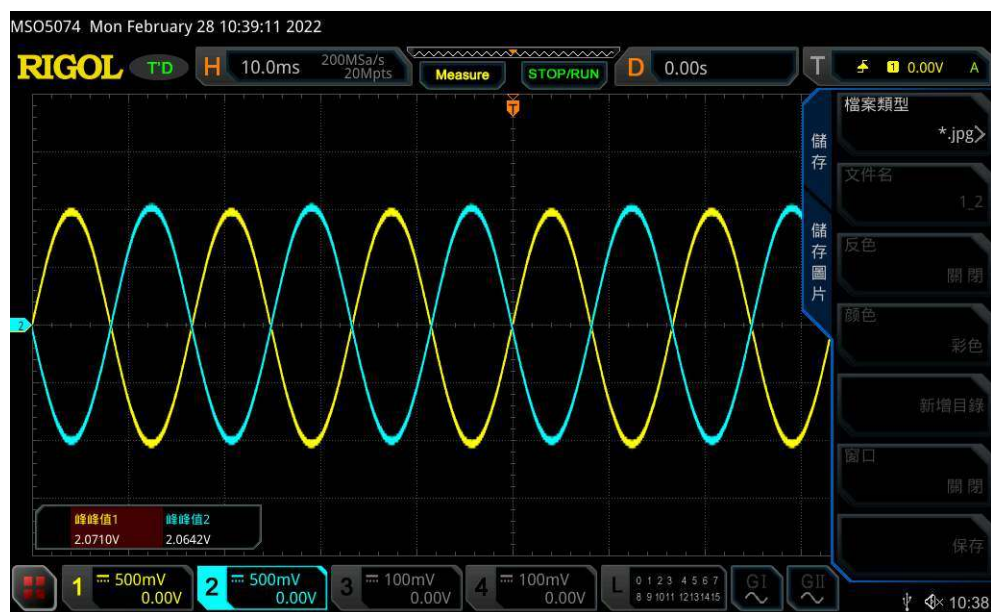
模擬出的 CMRR = 78.786 dB

## 實驗結果

2.

V <sub>1,pp</sub> (V)	V <sub>2,pp</sub> (V)	V <sub>d,pp</sub> =V <sub>2</sub> -V <sub>1</sub> (V)	V <sub>out,pp</sub> (V)	A <sub>DM</sub> (V/V)	Phase (V <sub>out</sub> ->V <sub>1</sub> ) (degree)
2.071	0.1	-1.971	2.064	-1.047	180

$v_{out}$  and  $v_1$  waveform:

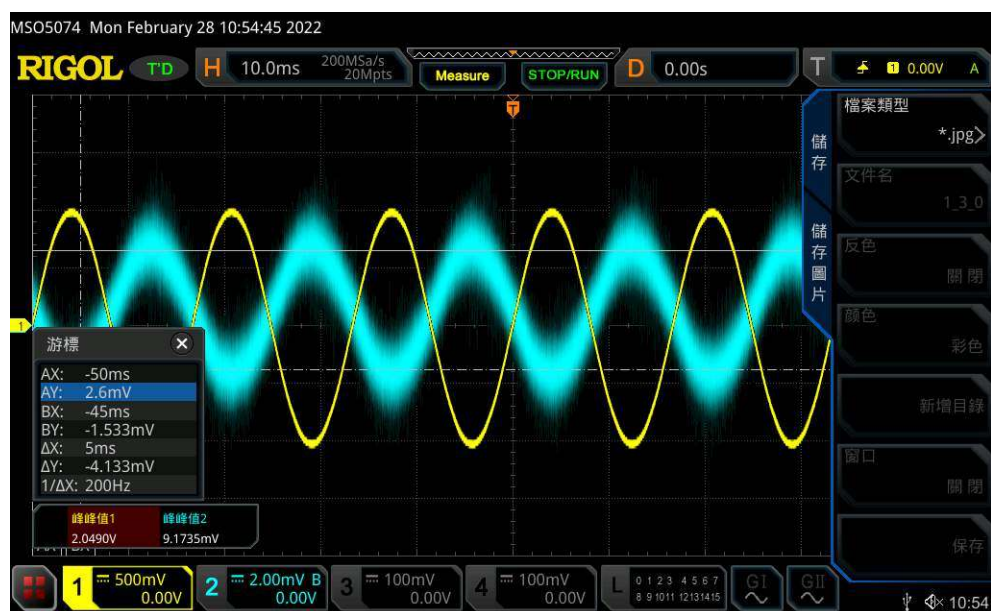


3.

$v_{1,pp}$ (V)	$v_{out,pp}$ (V)	$A_{CM}$ (V/V)	Phase ( $v_{out} \rightarrow v_1$ ) (degree)
2.049	4.133m	2.017m	180

問題：因為提早做實驗時沒有調整  $V_{1,pp}$ ，導致數據有些許落差。

$v_{out}$  and  $v_1$  waveform:



$$4. CMRR = \left| \frac{A_{DM}}{A_{CM}} \right| = \underline{54.32 \text{ dB}}$$

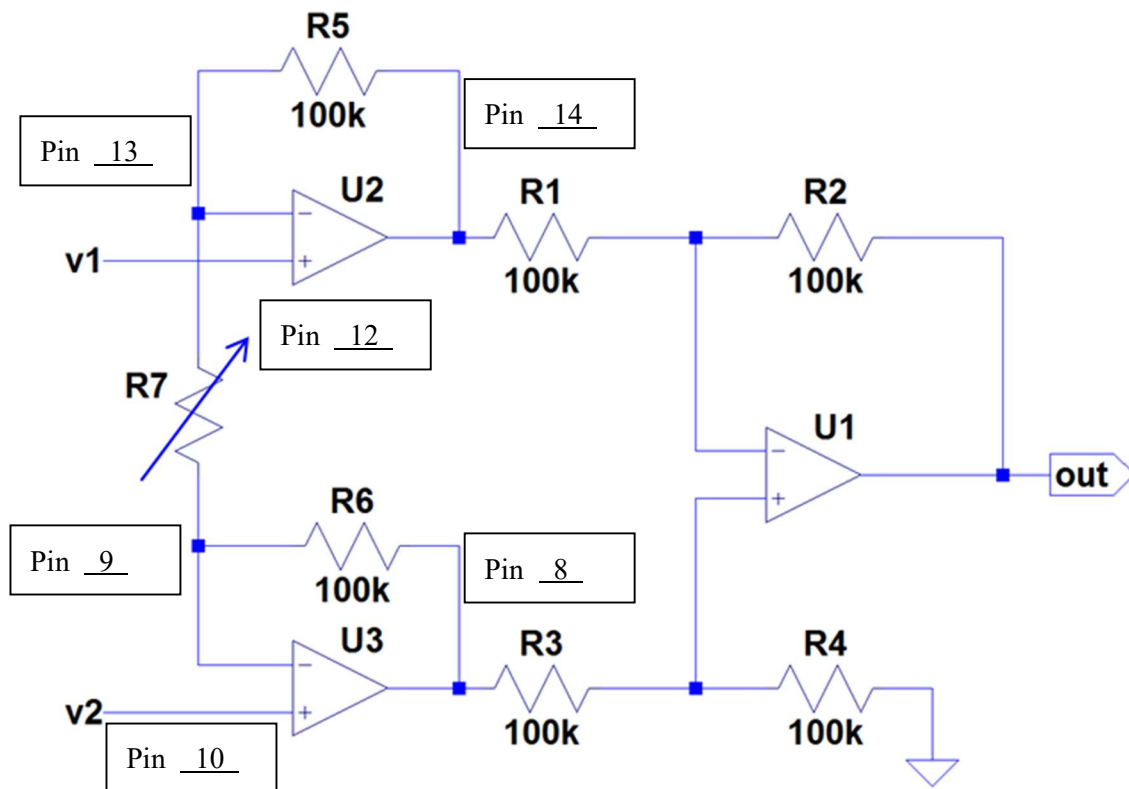
## 提出問題

### 1. 為何 Common Mode 相位差可能是 0 或 180 度？

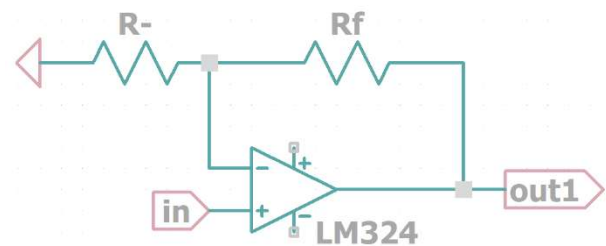
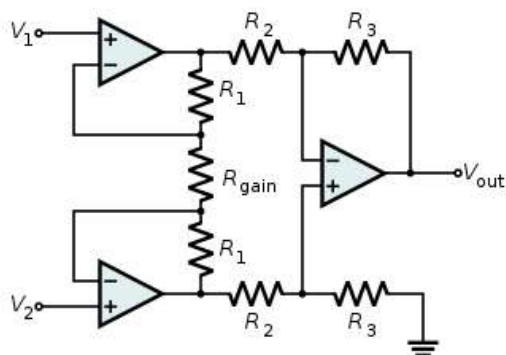
因為此模式中的相位差主要由電阻差值的正負造成。

## Experiment 2: Instrumentation Amplifier

Write down your pinout.



### 電路分析



上圖(左)為一儀表放大器，利用半電路簡化分析。上圖(右)為儀表放大器第一級的半電路，與左圖的對應為  $R_- = \frac{R_{gain}}{2}$ ,  $R_f = R_1$ 。套用疊加原理、分壓定律及放大器輸入兩端為虛短路的觀念可得

$$V_{in} = V_+ = V_- = \frac{R_-}{R_- + R_f} \times V_{out1} \Rightarrow V_{out1} = \left(1 + \frac{R_f}{R_-}\right) V_{in} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_{gain}}\right) V_{in}$$

接著考慮第二級放大並把半電路整合得

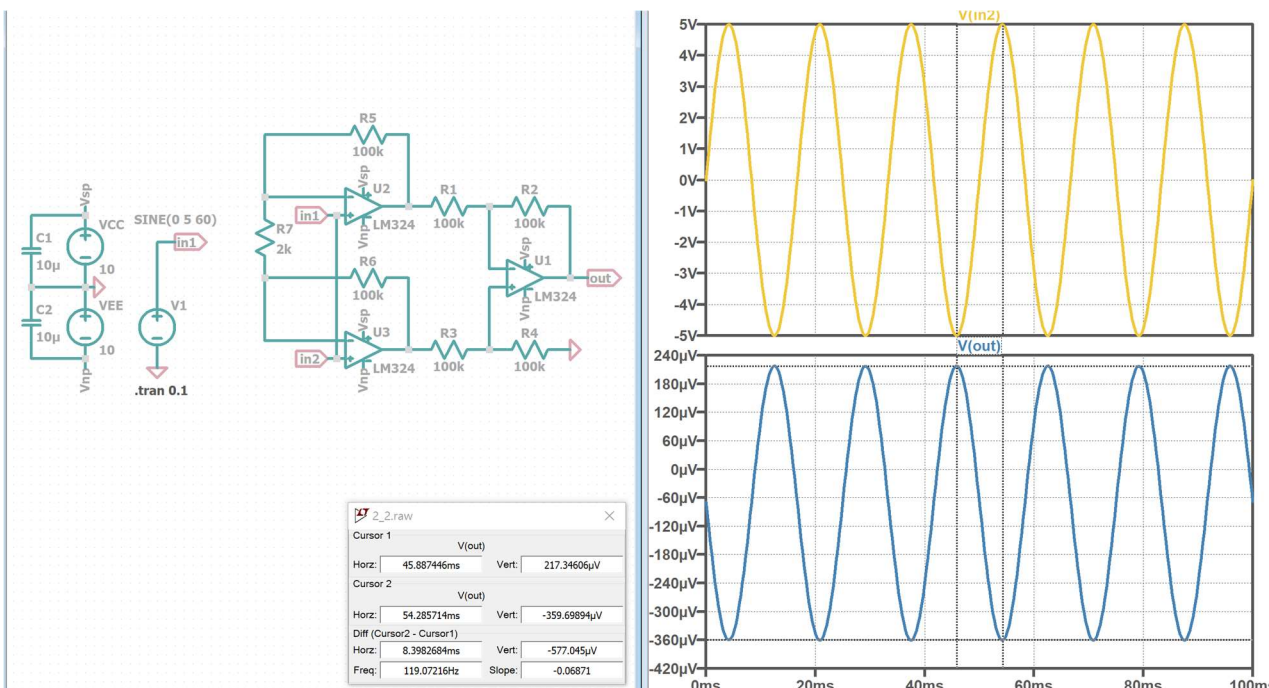
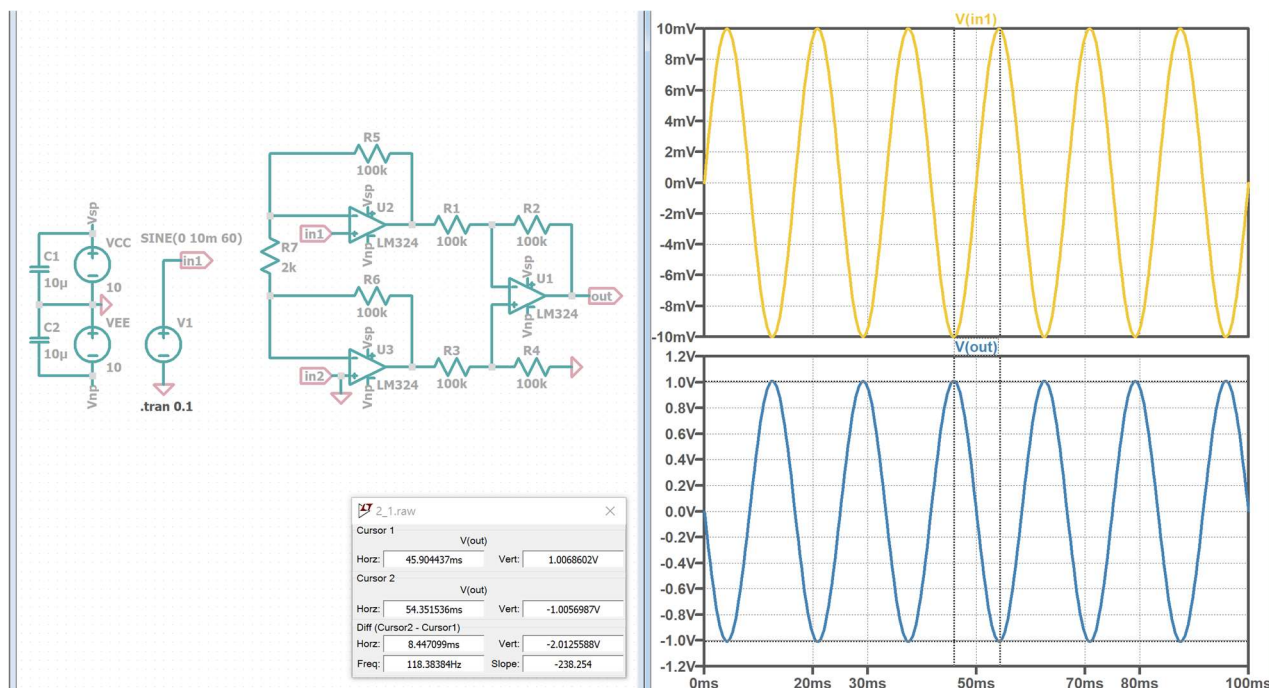
$$V_{out} = \frac{R_3}{R_2} \left(1 + \frac{2R_1}{R_{gain}}\right) (V_2 - V_1)$$

代入本題實驗指定數值，除電阻  $R_{gain} = 2k$ ，其餘電阻均為  $100k$  因此

$$V_{out} = 101(V_2 - V_1)$$



## 電路模擬

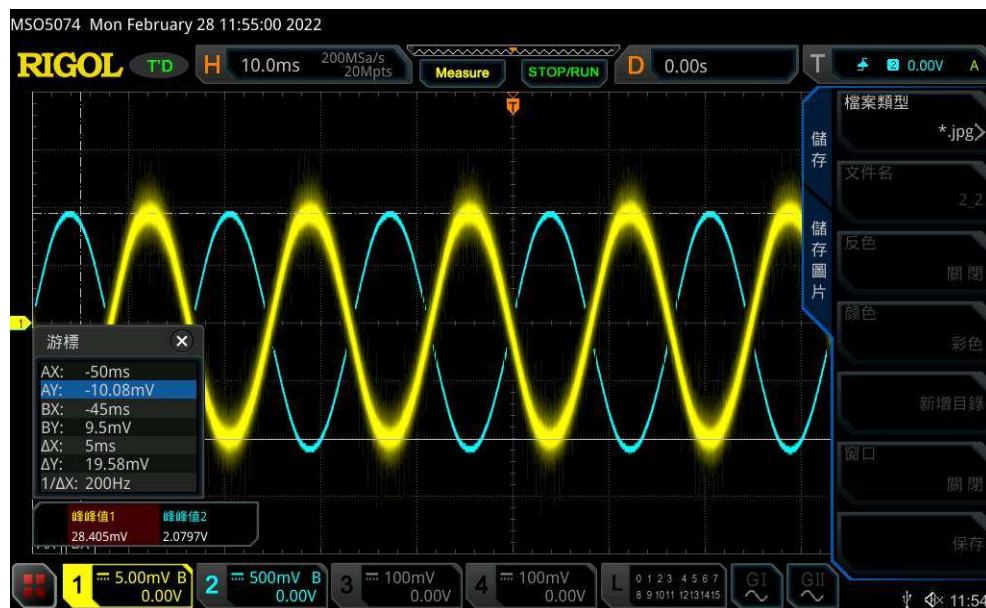


## 實驗結果

2.

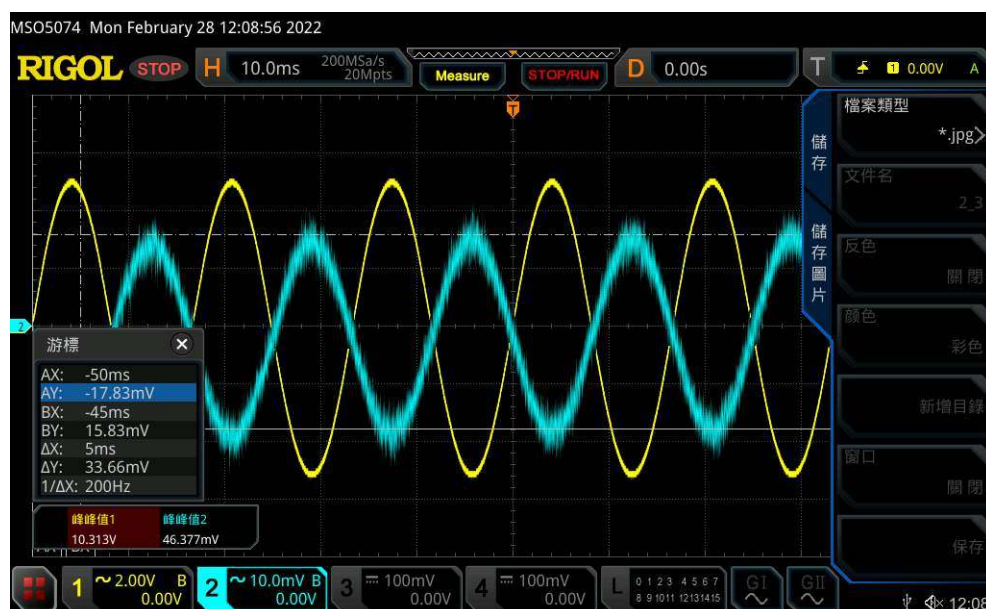
$v1_{pp}$ (V)	$v2_{pp}$ (V)	$vd_{pp}=v2-v1$ (V)	$V_{out,pp}$ (V)	$A_{DM}$ (V/V)	Phase ( $v_{out} \rightarrow v1$ ) (degree)
19.58m	0	19.58m	2.075	106	180

$v_{out}$  and  $v_1$  waveform:



$v_1, pp$ (V)	$v_{out}, pp$ (V)	$A_{CM}$ (V/V)	Phase ( $v_{out} \rightarrow v_1$ ) (degree)
10.313	33.66m	3.264m	180

$v_{out}$  and  $v_1$  waveform:



$$4. CMRR = \left| \frac{A_{DM}}{A_{CM}} \right| = \underline{\underline{90.231 \text{ dB}}}$$

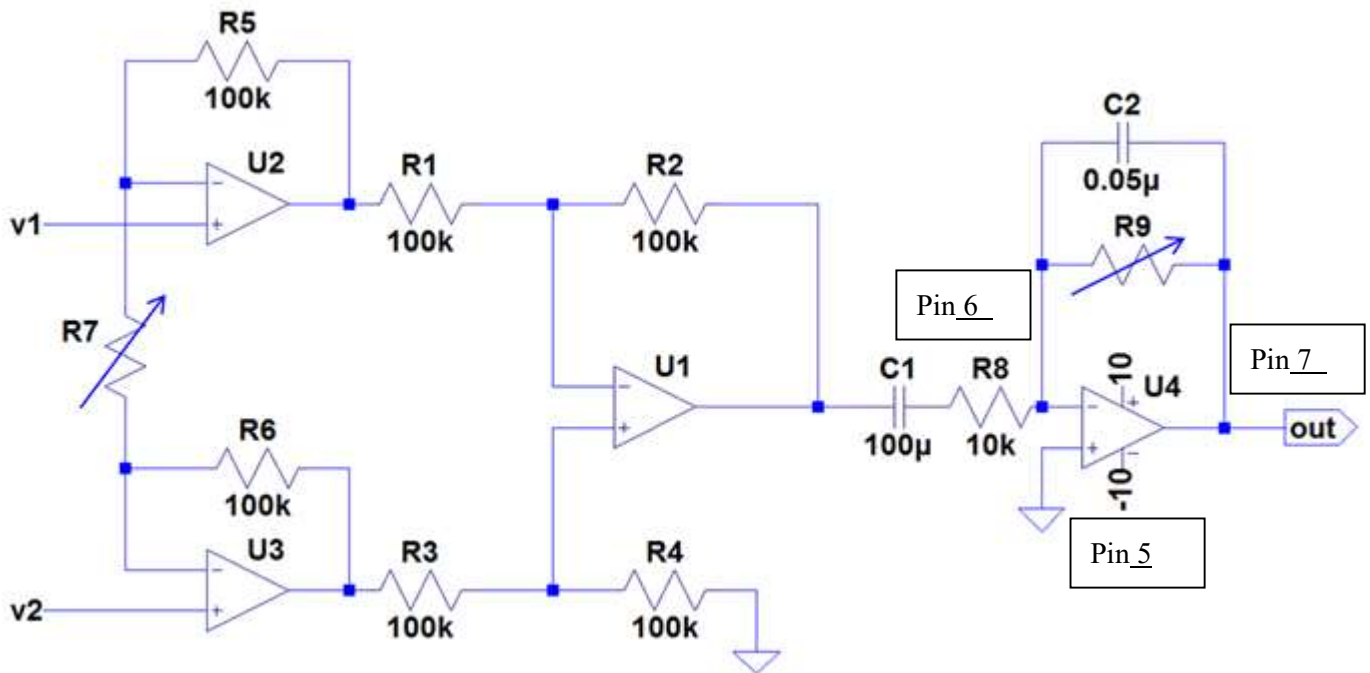
## 提出問題

### 2. 儀表放大器有何優點？

直流偏移、雜訊小。開迴路增益、模拒斥比(CMRR)大、輸入阻抗大。精確性及穩定性高。適用於測量以及電子儀器上。

### Experiment 3: Instrumentation Amplifier with band-pass filter

Write down your pinout.



### 電路分析

此電路接續上一個實驗的儀表放大器，但  $R_{\text{gain}}$  改為 10k，因此儀表放大器的輸出電壓

$$V_{\text{out}2} = 21(V_2 - V_1)$$

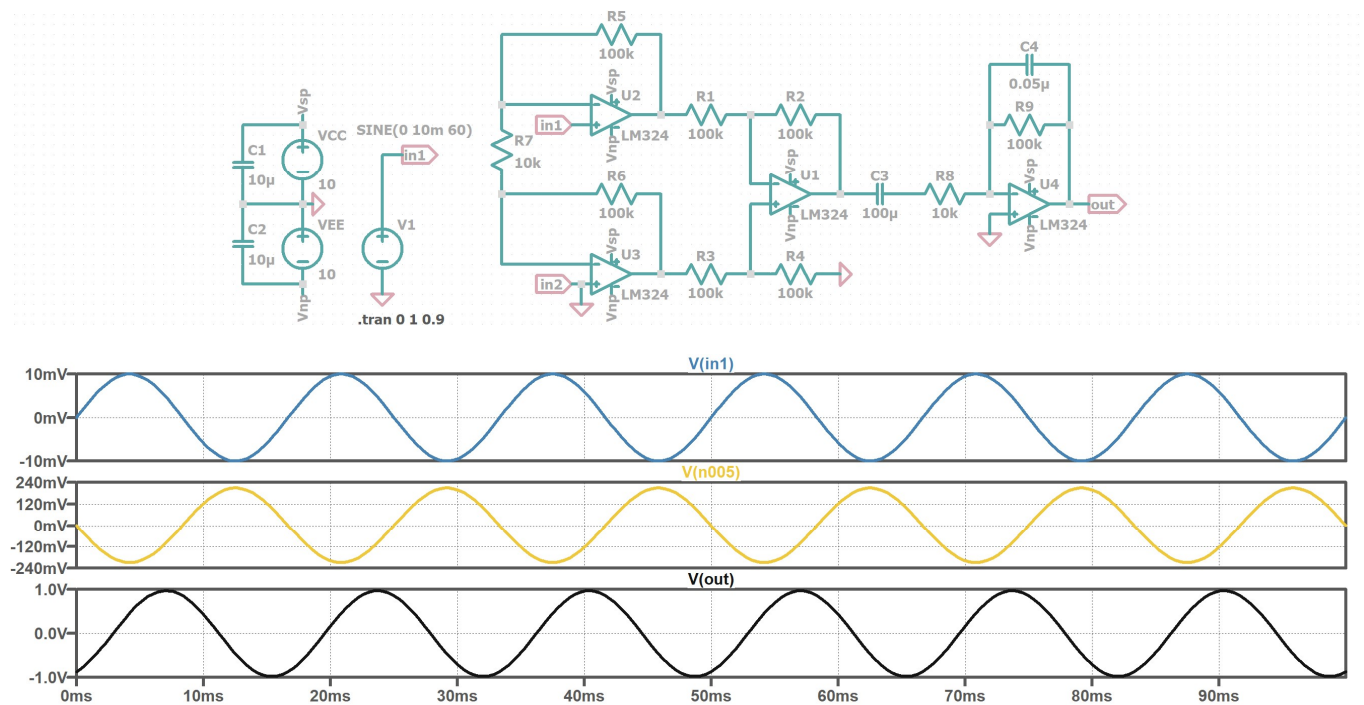
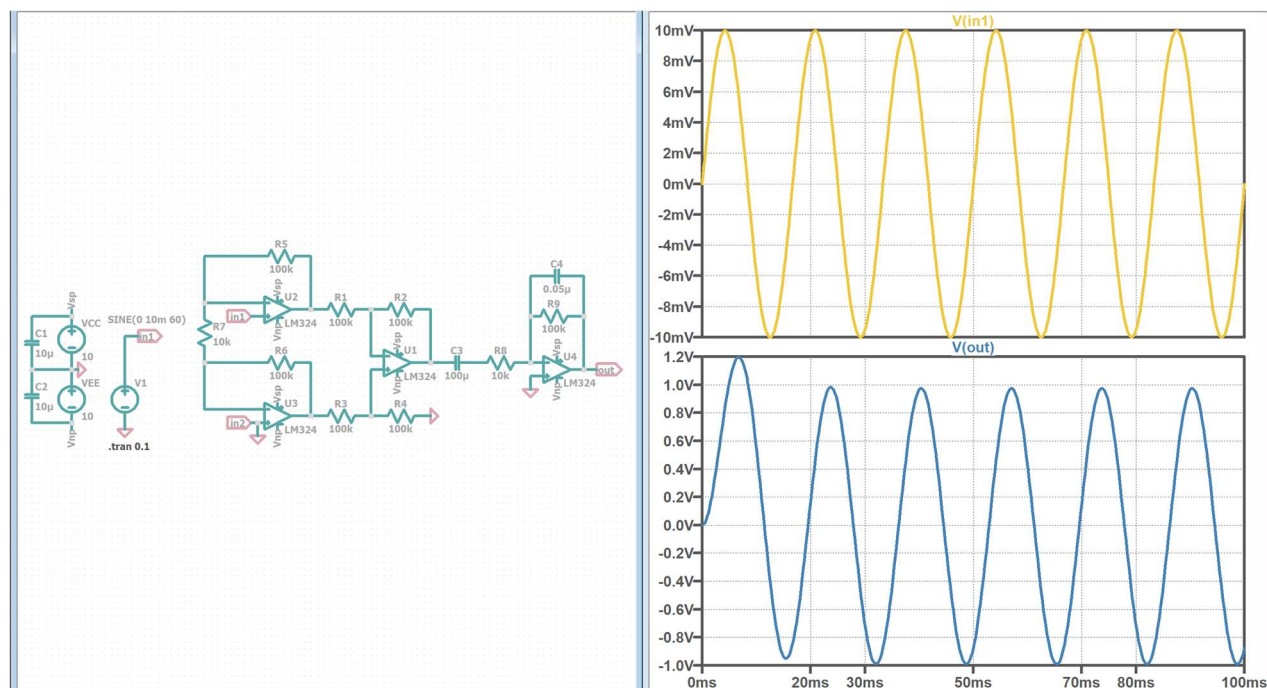
儀表放大器的輸出接的是一個濾波器，其轉移函式如下

$$H(s) = \frac{Z_{C2} || Z_{R9}}{Z_{C1} + Z_{R8}} = \frac{\frac{1}{\frac{1}{R_9} + sC_2}}{\frac{1}{sC_1} + R_8} = \frac{sR_9C_1}{1 + s(R_8C_1 + R_9C_2) + s^2R_8R_9C_1C_2} = \frac{sR_9C_1}{(1 + sR_8C_1)(1 + sR_9C_2)}$$

且濾波器在頻寬內電壓放大倍率約為  $R_9/R_8 = 10$ 。

因此若在此濾波器的頻寬內操作，可快速估算電壓大約會被放大 210 倍。

## 電路模擬



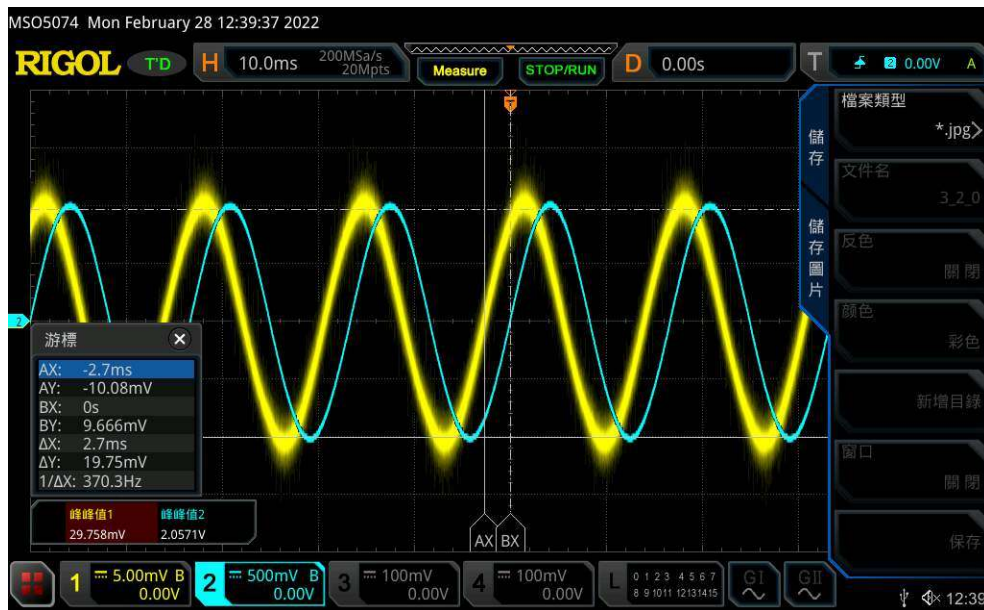
模擬出來的結果儀表放大器的電壓增益約為 21 倍，整個電路的增益約為 100 倍。

## 實驗結果

2.

$v_{1,pp}$ (V)	$v_{2,pp}$ (V)	$v_{d,pp}=v_2-v_1$ (V)	$V_{out,pp}$ (V)	$A_{DM}$ (V/V)	Phase ( $v_{out} \rightarrow v_1$ ) (degree)
19.75m	0	19.75m	2.035	103	58.32



$v_{out}$  and  $v_l$  waveform:

## Reference

[1] LMx24, LMx24x, LMx24xx, LM2902, LM2902x, LM2902xx, LM2902xxx Quadruple Operational Amplifiers datasheet, Texas Instrument.

<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm324.pdf>

[2] 儀表放大器, 維基百科.

<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/%E5%84%80%E8%A1%A8%E6%94%BE%E5%A4%A7%E5%99%A8>

## 心得

這次的實驗是開學時做的，有些數據測量時震幅沒有調對，但不太影響實驗結果，因為增益看的是放大“倍率”，本來想去實驗室補測但是遇到疫情然後我又被匡列 QQ，所以就只能這樣了。這次的東西跟電子學比較有關，像是 CMRR 到底在幹嘛實際操作過後有更清楚，實驗時有遇到一些問題諸如使用可變電阻可能導致量出來的結果很奇怪等等，這次要接的東西很多，而且 LM324 四顆放大器都要用到，電路要好好規劃後再接，不然容易接錯也不好 debug。