# 結報評分標準

圖表	數據	發現問題	電路分析	心得+結論	Reference
15%	15%	10%	30%	20%	10%

### \*\*請假後補交結報的規定\*\*

1. 請假需依規定提出假單申請,並安排時間補做實驗並將核準過的假單截圖貼於下方,助教才會進行 結報的批改。

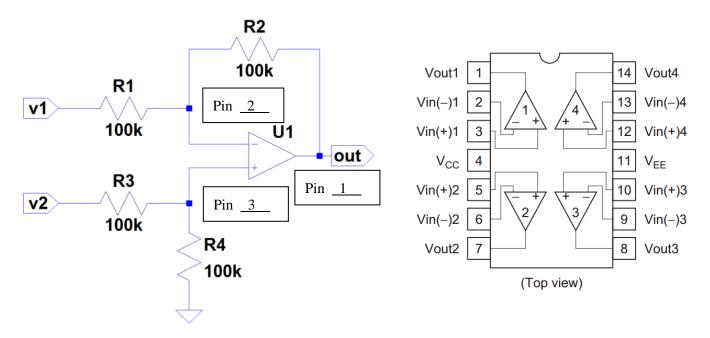
2. 以請假日計算;需在一星期內完成補做驗,二個星期內補交結報(將結報交至 Delay 區)。逾時不進行結報批改。例如:3/1 請假,需在 3/8 前完成補做實驗,3/15 前補交結報。

\_\_\_\_\_\_

# **REPORT**

# **Experiment 1: Difference Amplifier**

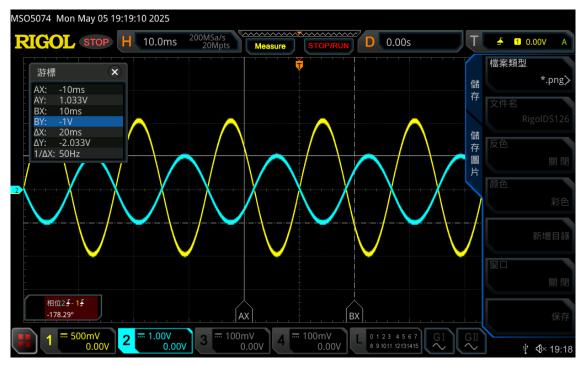
Write down your pinout.



2.

v1, <sub>pp</sub> (V)	v2 <sub>,pp</sub> (V)	vd,pp=v2-v1 (V)	V <sub>out,pp</sub> (V)	A <sub>DM</sub> (V/V)	Phase (vout->v1) (degree)
2.05	0	2.05	2.033	0.9917	178.29

vout and v1 waveform:



### ዹ 電路分析

在實際電路中,由於電源供應、運算放大器(Op-Amp)本身以及導線等元件的特性,難免 會偶和一些雜訊。為了更清楚地分析這些影響,我們可以將電源訊號表示為:

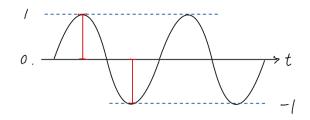
Suppose power frequency 
$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$V_1(t) = \sin(2\alpha f t) + N(t)$$

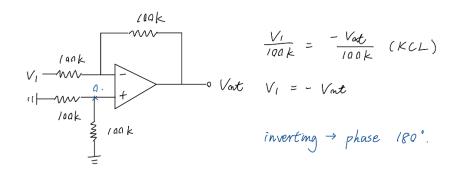
$$V_2(t) = 0 + N(t)$$
which  $N(t)$  is noise.

我們可以在原有的訊號再加上雜訊。透過這設定我們可以找到電壓差訊號 $v_d$ 、還有峰對峰值 $v_{d,pp}$ 

$$V_{d} = sin(2\pi ft) + N(t) - N(t) = sin(2\pi ft)$$
  
 $V_{d,pp} = |(-(-1)| = 1.$ 



隨後我們分析 opamp,計算 Vout 與輸入訊號的關係式(假設 opamp 為理想 $A_0 \to \infty$ ):



從這分析我們可以認知到兩件事:

- 1. Vout 的訊號峰對峰值跟 V1 一樣
- 2. 因為這是反向接法,所以 phase 會 delay 180°

所以我們可以得知 $A_{DM}$ 的數值為:

$$A_{DM} = \left| \frac{V_{out.pp}}{V_{d.pp}} \right| = 1$$

v1,pp (V)	vout,pp (V)	ACM (V/V)	(degree) 4 06
1 (17)	(17)	A COM (XI/XI)	Phase (vout->v1)

vout and v1 waveform:

3.



### ▲ 電路分析

根據 PPT 的指引,我們將 V2 與 V1 相接在一起,這時電源訊號可以寫成:

Suppose power frequency 
$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$V_{1}(t) = 10 \text{ sin}(2\alpha ft) + N(t)$$

$$V_{2}(t) = V_{1}(t)$$
Which  $N(t)$  is noise.

隨後我們分析 opamp,計算 Vout 與輸入訊號的關係式(假設 opamp 為理想 $A_0 \to \infty$ ):

$$V_{x} = \frac{100 k}{100 k} V_{z} = \frac{V_{z}}{2}$$

$$V_{1} = \frac{V_{1} - V_{x}}{100 k} = \frac{V_{x} - V_{out}}{100 k}$$

$$V_{1} = V_{2}$$

$$V_{1} = V_{2}$$

$$V_{2} = V_{3} - V_{out}$$

$$V_{2} = 0$$

$$V_{3} = 0$$

$$V_{4} = 0$$

從上述可以得知到 Vout 在理想 opamp 中會被抵銷掉,所以會變成 0 輸出,這部分我們也可以在 LTspice 模擬中發現一些端倪,但是為什麼在實驗中的 Vout 仍然有訊號?(這部分留給之後的問題與討論)

所以我們可以得知 $A_{CM}$ 的數值為:

$$A_{CM} = \left| \frac{V_{out.pp}}{V_{CM.pp}} \right| = 0$$

我們接著計算在電路固定的情況下,改變輸入端會發大幾倍 ? (假設 opamp 為理想 $A_0 \to \infty$ )

Variable 
$$V_1$$
 and  $V_2$   $V_3$   $V_4$   $V_4$   $V_5$   $V_6$   $V_8$   $V_8$   $V_8$   $V_8$   $V_8$   $V_8$   $V_8$   $V_8$   $V_8$   $V_9$   $V_9$ 

4.

$$CMRR = \left| \frac{A_{DM}}{A_{CM}} \right| = 57.549 \text{ dB}$$

理想 differential amplifier 的 CMRR 我們可以透過上面電路分析結果得知:

$$CMRR = \left| \frac{A_{DM}}{A_{CM}} \right| = \infty$$

這結論也與助教簡報中的結果相符

 An ideal differential amplifier would have infinite CMRR.

#### 👢 問題

我們在LTspice 模擬、自己推導時接可以發現照理來說 Vout 是要處於 0V 的電位才對,但實驗中卻出現了些微訊號,這是為甚麼?

_																		
	mmon Mode lejection, $l_S \le 10 \text{ k}\Omega$	CMR	70	85	-	65	70	-	65	70	1	50	70	-	50	70	1	dB

▲LM324 CMRR

根據我們觀察 LM324 的 CMRR 並非是理想的無限大,這代表著在接上共模訊號後事實上 V+、V-端並不會剛好那麼完美地抵銷,因此 Vout 還是會有訊號輸出。

更深入地說,我們可以從 LM324 的 Circuit diagram 中能夠發現到 V+、V-接上的是 BJT 的 base 端,這代表著他並非是理想 opamp 那般可以忽略輸入電流,相反地反而會有偏置電流影響 造成與理想之間的誤差。

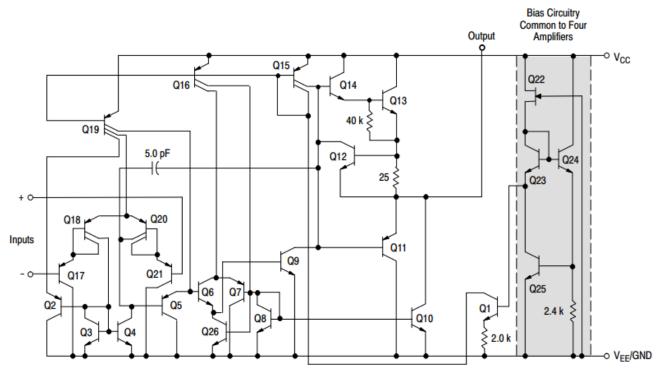
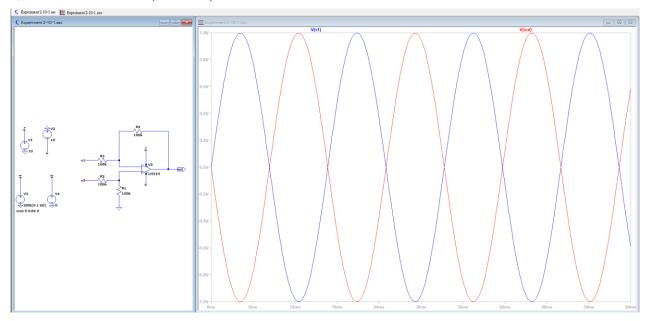


Figure 1. Representative Circuit Diagram (One–Fourth of Circuit Shown)

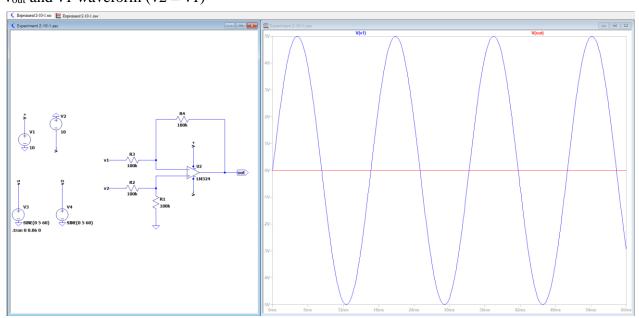
▲LM324 circuit diagram

## **▲** LTspice 模擬

## vout and v1 waveform (v2 GND)



## $v_{out}$ and v1 waveform (v2 = v1)

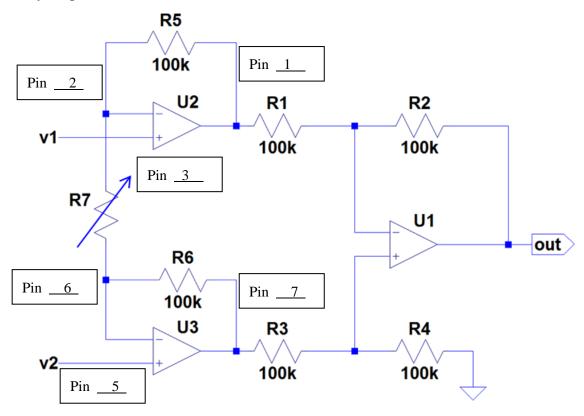


## ♣ 結論

實驗一我們透過 opamp 接出差動放大器,然後再測量各數據、算出 CMRR 數值為多少。

# **Experiment 2: Instrumentation Amplifier**

Write down your pinout.



2.

v1,pp (V)	v2,pp (V)	vd,pp=v2-v1 (V)	V <sub>out,pp</sub> (V)	A <sub>DM</sub> (V/V)	Phase (vout->v1) (degree)
20m	0	20m	2.01	100.5	241m

vout and v1 waveform:



#### ▲ 電路分析

在實際電路中,由於電源供應、運算放大器(Op-Amp)本身以及導線等元件的特性,難免會偶和一些雜訊。為了更清楚地分析這些影響,我們可以將電源訊號表示為:

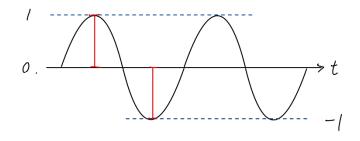
Suppose power frequency 
$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$V_{*}(t) = 10 \text{ m sin}(2\alpha f t) + N(t)$$

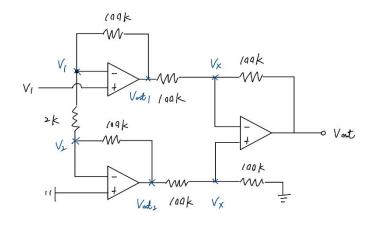
$$V_{*}(t) = 0.$$
Which  $N(t)$  is noise.

我們可以在原有的訊號再加上雜訊。透過這設定我們可以找到電壓差訊號 $v_d$ 、還有峰對峰值 $v_{d,pp}$ 

$$V_{d} = 10 \text{m sin}(2\pi ft) + N(t) - N(t) = 10 \text{m sin}(2\pi ft)$$
  
 $V_{d,pp} = |10 \text{m} - (-10 \text{m})| = 20 \text{m}.$ 



隨後我們分析 opamp,計算 Vout 與輸入訊號的關係式(假設 opamp 為理想 $A_0 \to \infty$ ):



$$V_{nt} = -10| (V_1 - V_2)$$

$$= -10| \left[ (0m sin(L\pi ft) + N(t) - N(t)) \right]$$

$$= -1.0| sin(L\pi ft)$$

從這分析我們可以認知到兩件事:

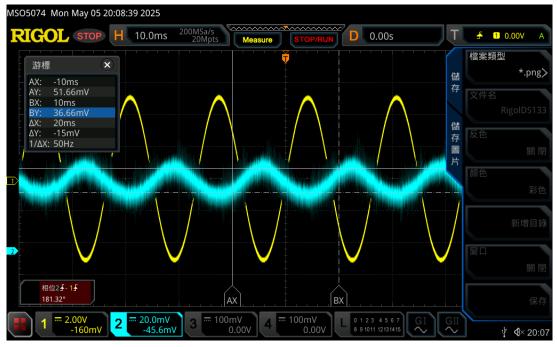
- 1. Vout 的訊號峰對峰值比 V1 多上 101 倍
- 2. 因為結果是反向,所以 phase 會 delay 180°

所以我們可以得知 $A_{DM}$ 的數值為:

$$A_{DM} = \left| \frac{V_{out.pp}}{V_{d.pp}} \right| = 101$$

10.06	15m	1.49m	181.32
v1,pp (V)	vout,pp (V)	ACM (V/V)	Phase (vout->v1) (degree)

vout and v1 waveform:



### ▲ 電路分析

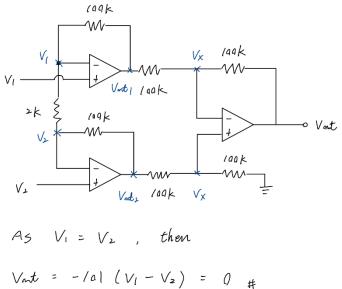
根據 PPT 的指引,我們將 V2 與 V1 相接在一起,這時電源訊號可以寫成:

Suppose power frequency 
$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$V_{1}(t) = 10 \text{ m sin}(2\pi ft) + N(t)$$

$$V_{2}(t) = V_{1}(t)$$
Which  $N(t)$  is noise.

隨後我們分析 opamp,計算 Vout 與輸入訊號的關係式(假設 opamp 為理想 $A_0 \to \infty$ ):



$$V_{\rm n}t = -701 (V_1 - V_2) = () #$$

從上述可以得知到 Vout 在理想 opamp 中會被抵銷掉,所以會變成 0 輸出,這與實驗一的結果相符,推測是因為 CMRR 顯示這電路抑制共模訊號的能力還不完全+有偏置電流造成的誤差。

4.

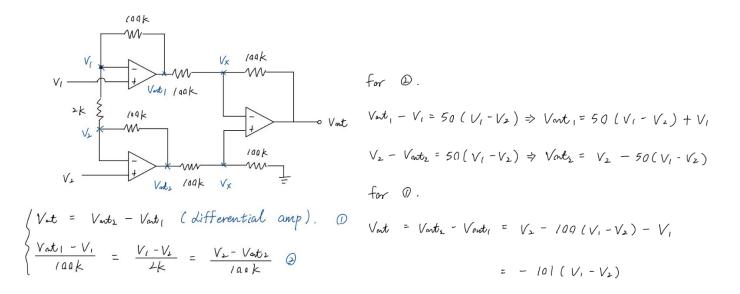
$$CMRR = \left| \frac{A_{DM}}{A_{CM}} \right| = 96.58 \text{ dB}$$

理想 instrumentation amplifier 的 CMRR 我們可以透過上面電路分析結果得知:

$$CMRR = \left| \frac{A_{DM}}{A_{CM}} \right| = \frac{101}{0} = \infty$$

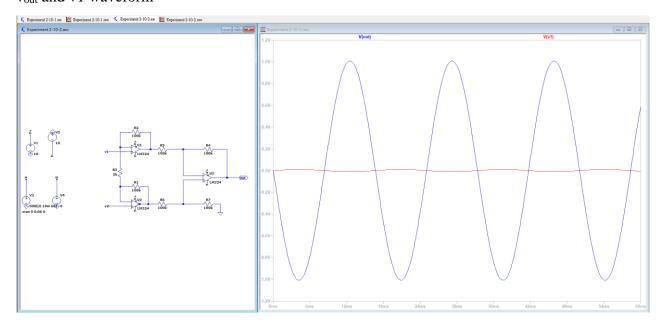
這結論也與助教簡報中的結果相符,但不一樣的是 instrumentation amplifier 相較於 difference amplifier 有著更高的 voltage gain 以及 CMRR,使得我們在差動的使用上精度提升了不少。

我們接著計算在電路固定的情況下,改變輸入端會發大幾倍?(假設 opamp 為理想 $A_0 \to \infty$ )

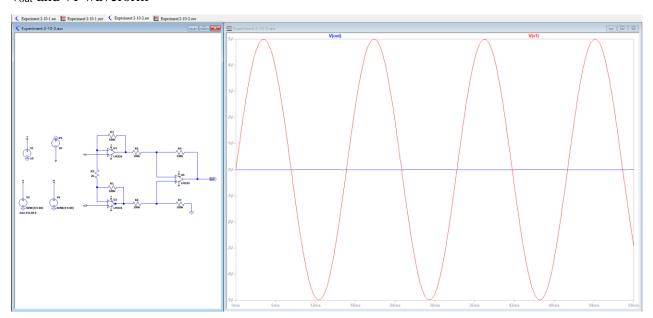


## **▲** LTspice 模擬

## $v_{out} \ and \ v1 \ waveform$



## $v_{out} \ and \ v1 \ waveform$

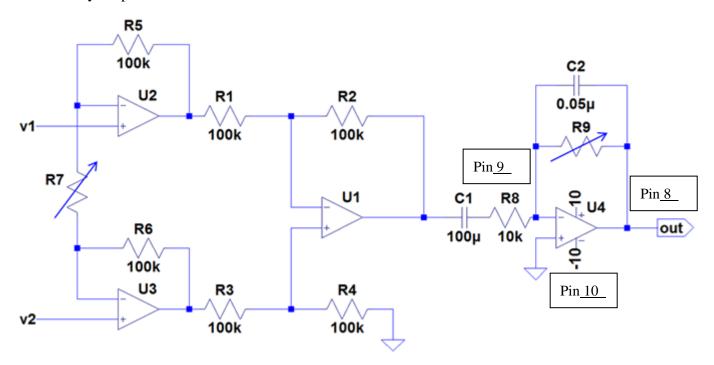


## ♣ 結論

在實驗二中我們透過三顆 opamp 接出 instrumentation amplifier,相較於 difference amplifier 其有著更棒的特性,隨後跟實驗——樣測量各組數據。

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

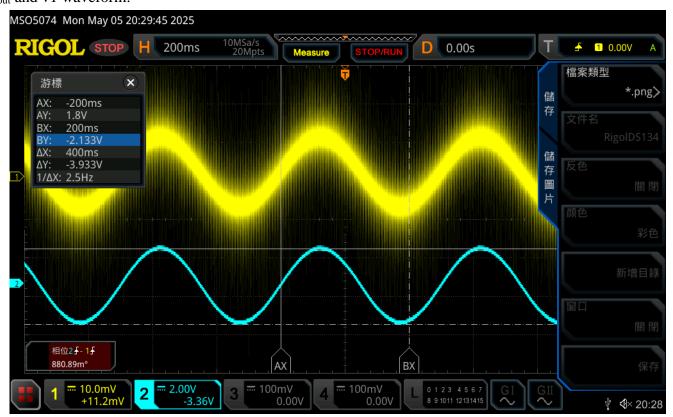
Write down your pinout.



2.

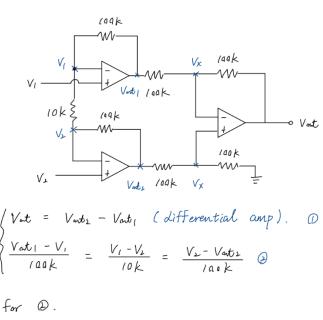
19.66m	0	19.66m	3.933	200.05	880m
v1, <sub>pp</sub> (V)	v2, <sub>pp</sub> (V)	vd,pp=v2-v1 (V)	V <sub>out,pp</sub> (V)	A <sub>DM</sub> (V/V)	Phase (vout->v1) (degree)

vout and v1 waveform:



## ዹ 電路分析

我將電路分成兩部分討論,一個是 instrumentation amplifier,另一個是 bandpass filter,並假設 opamp 為理想 $A_0 \to \infty$ 



$$Vat_{1} - V_{1} = 10 (V_{1} - V_{2}) \Rightarrow Vant_{1} = 10 (V_{1} - V_{2}) + V_{1}$$

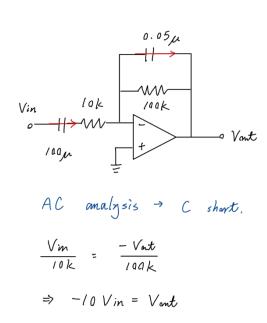
$$V_{2} - Vant_{2} = 10 (V_{1} - V_{2}) \Rightarrow Vant_{2} = V_{2} - 10 (V_{1} - V_{2})$$

$$for 0.$$

$$Vat = Vant_{2} - Vant_{1} = V_{2} - 20 (V_{1} - V_{2}) - V_{1}$$

$$= - \times ((V_1 - V_2))$$

### **▲**instrumentation amplifier

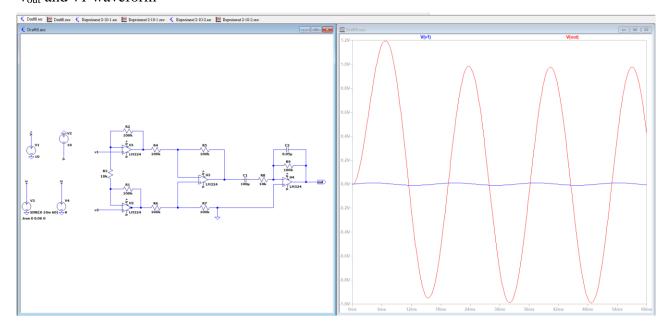


▲bandpass filter

透過將這兩個結果合併我們可以發現 voltage gain 變成 210 倍,並且無 delay 的發生

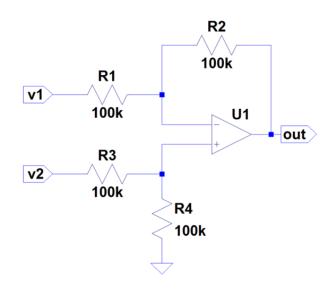
## **▲ LTspice 模擬**

#### vout and v1 waveform



## ♣ 附加問題

1. 在實驗 1-(3)和 2-(3)的結果裡,為什麼 Phase 可能為  $0^{\circ}$ 或  $180^{\circ}$ ? (Hint:考慮電路中各種電阻的實際取值,假設 v1=v2,以下面電路進行推導)



首先我們先考慮到電壓增益的問題

$$V_{out} = A_d \cdot (V_1 - V_2) + A_{cm} \cdot rac{V_1 + V_2}{2}$$

在理想的狀況下 $A_d=1$ 、 $A_{CM}=0$ ,但是因為不理想的關係,所以  $A_{CM}$  並不會完全歸零,首先我們可以確認 V1-V2(輸入訊號差)的部分為零,因此我們只需考慮 $A_{CM}$ 那項就好。然後因為 $A_{CM}$ 值得正負是隨時間改變的,所以就會造成:

- 如果共模增益  $A_{CM} > 0$ ,則輸出與輸入訊號同相,相位為  $0^{\circ}$
- 如果共模增益  $A_{CM} < 0$ ,則輸出與輸入訊號反相,相位為  $180^{\circ}$

### ♣ 心得

今天這個電子實驗的速度簡直可以用「飛快」來形容,原本還想說可能又要奮戰到晚上九點、十點,沒想到八點不到就能收拾東西離開實驗室,那種提早解放的感覺,真的是這學期以來最令人心情愉悅的時刻了,而且這次的實驗內容總算和我們這學期學的電子學有了更直接的關聯。

回想一下,之前的那些實驗,不是玩轉 Arduino 的各種功能,就是 Audio 在聲音訊號的世界裡,雖然也學到了不少實用的技能,但總覺得不是在電子學中看到的重要概念,像是電流鏡(current mirror)、差動放大器(differential amplifier)等等。這也讓我常常在想,到底什麼時候才能真正把課堂上學到的理論,實際應用到實驗操作中,所以當我一看到這次實驗的主題是差動對(differential pair)的時候,心裡就湧現了一股莫名的期待和興奮。

#### ♣ 引用

#### 1. LM324 datasheet

https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Lm324%20Datasheet&gad\_source=1&gad\_campaignid=1421144141&gbraid=0AAAAADcdDU-yvnmFjJR6RhtDls3IsZ3Wo&gclid=CjwKCAjwz\_bABhAGEiwAm-P8YRJN8qu0d4pHw3ae4HHLLiYV8FuRSc2I7ihtR5UX6wZ94X-JYsFg1BoCMVMQAvD\_BwE

#### 2. 電路躁聲

https://component.eetrend.com/article/2019-09/1003071.html

#### 3. CMRR

https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%85%B1%E6%A8%A1%E6%8A%91%E5%88%B6%E6%AF

## 4. Instrumentation amplifier

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