

# REPORT

## Experiment 1: Basic AC Sweep Configuration

### 電路分析:

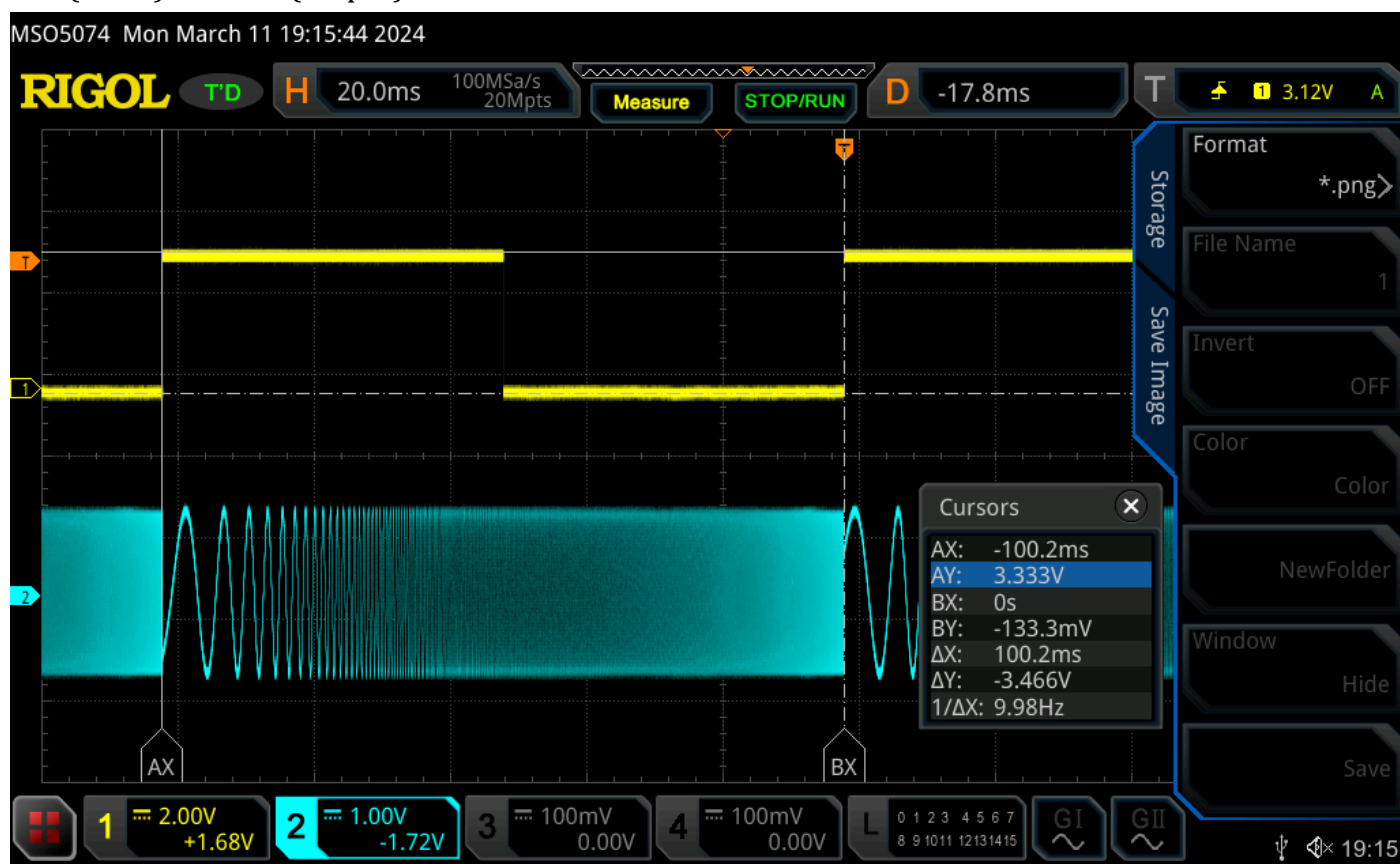
函數產生器的 sync 端口串接示波器的 Ch1；函數產生器的 output1 端口串接示波器的 Ch2。

### AC Sweep 是什麼？

AC Sweep 是一種在電子學和信號處理領域常見的技術，用於分析電路中交流(AC)信號的行為。透過在一個或多個電路元件的頻率被以一定範圍內的連續值進行改變，此技術主要用於模擬和測試電路在不同頻率下的響應，同時觀察和記錄相應的輸出，也包括觀察各種頻率波段被過濾的情形，這對於設計和優化許多電子產品系統之電路至關重要，也可以幫助工程師了解電路對於不同頻率下的響應情況，從而優化設計並確保其正常運作。

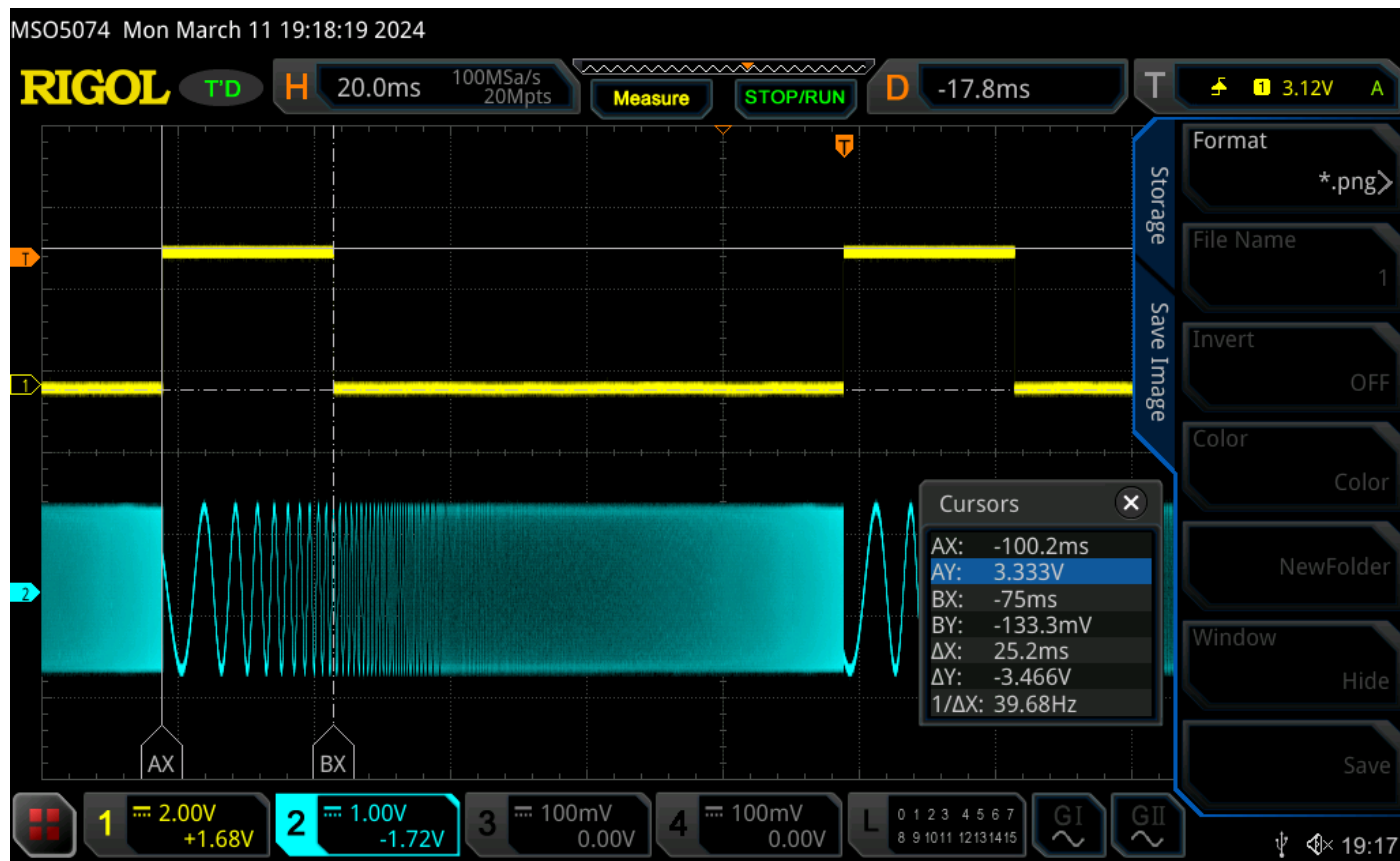
1.

CH1(SYNC) and CH2(output) waveform with marker= off

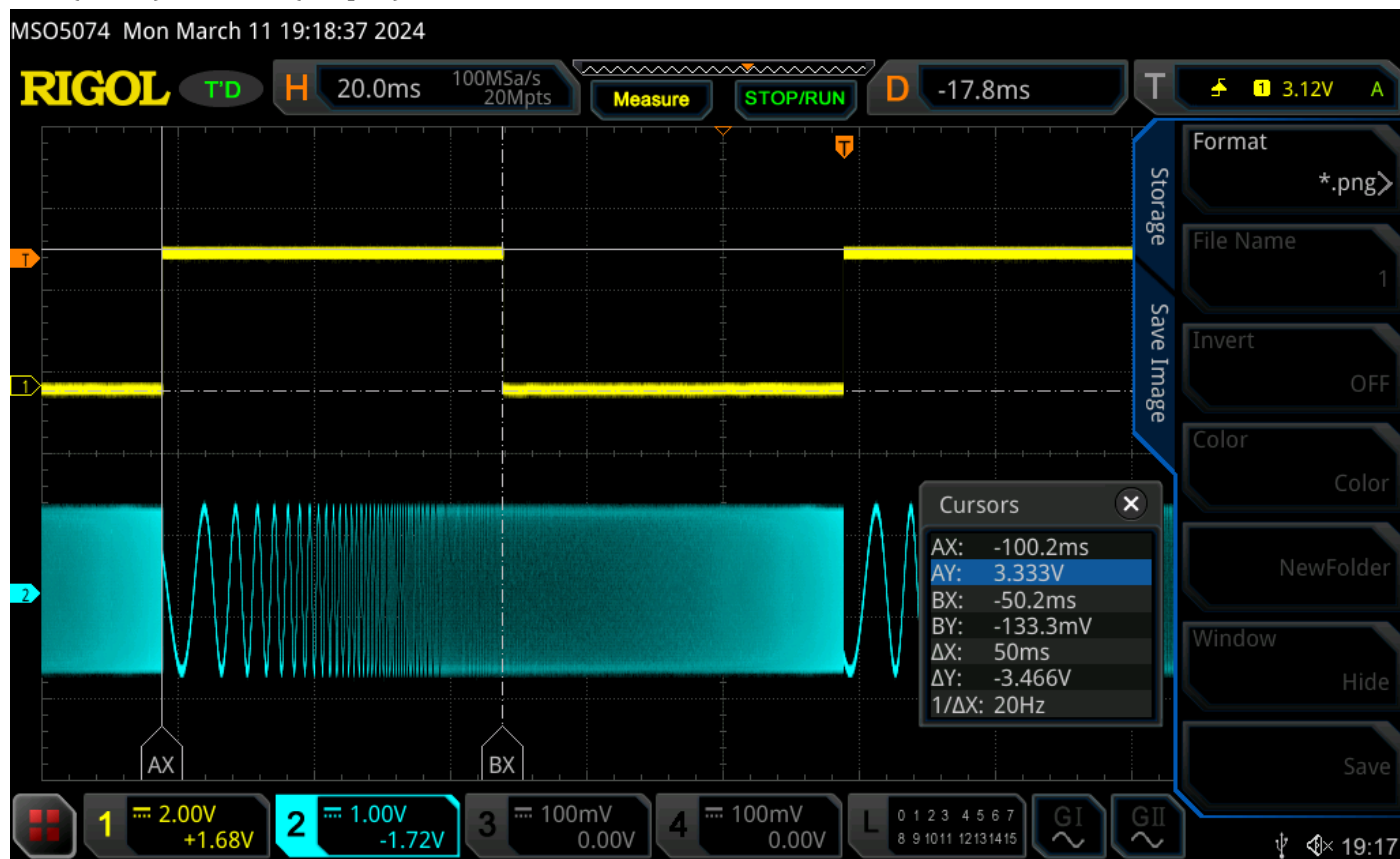


2.

CH1(SYNC) and CH2(output) waveform with marker=1k Hz



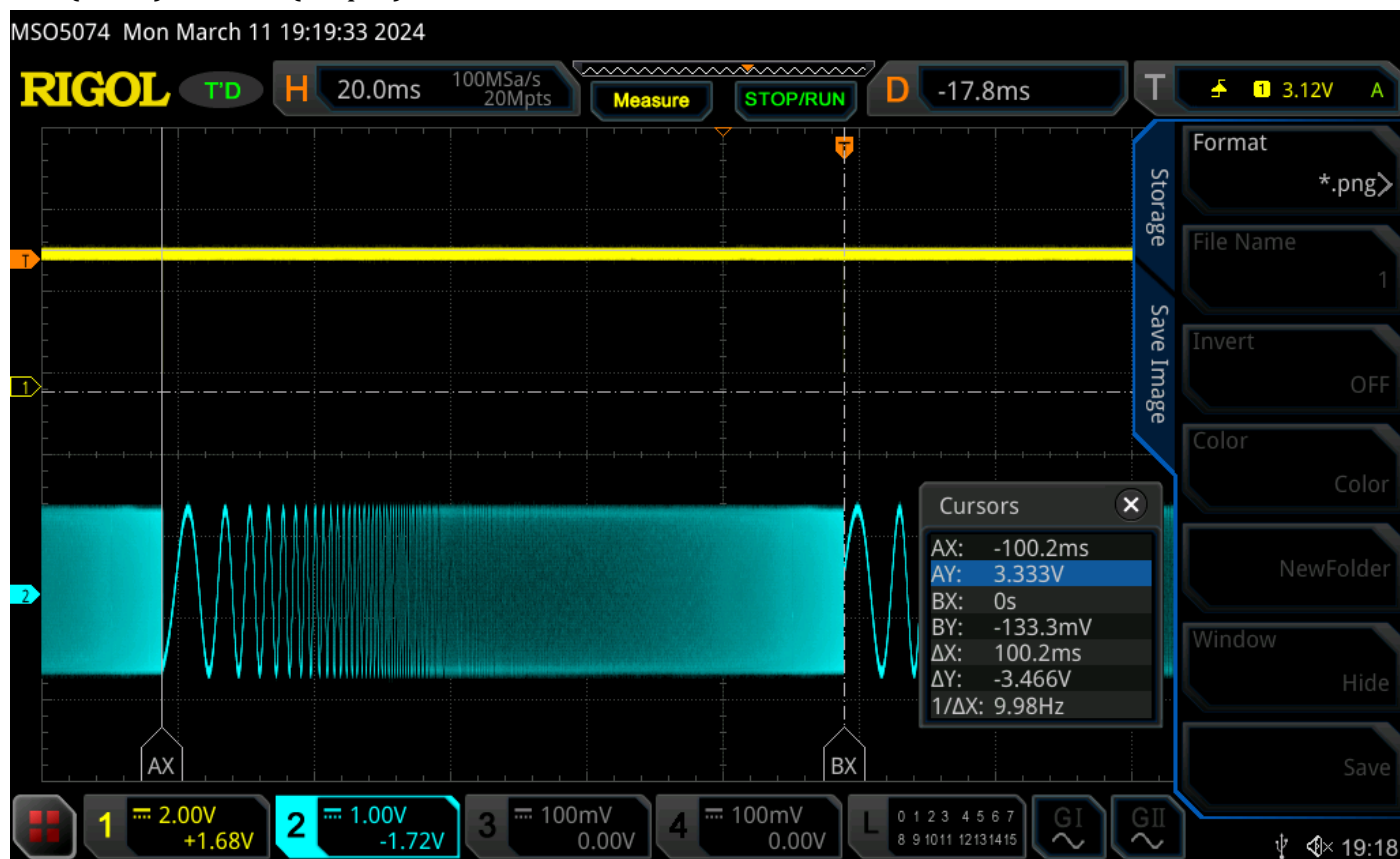
CH1(SYNC) and CH2(output) waveform with marker=10k Hz



CH1(SYNC) and CH2(output) waveform with marker=100k Hz



CH1(SYNC) and CH2(output) waveform with marker=1M Hz



## Question:

### What do you find?

一開始 Marker 關閉時，Sync 的方波 duty cycle 是 50%，當 Marker 開啟時，Sync 方波的 duty cycle 會隨著設定的 Marker frequency 變大而比例變高，以下是對應的表格：

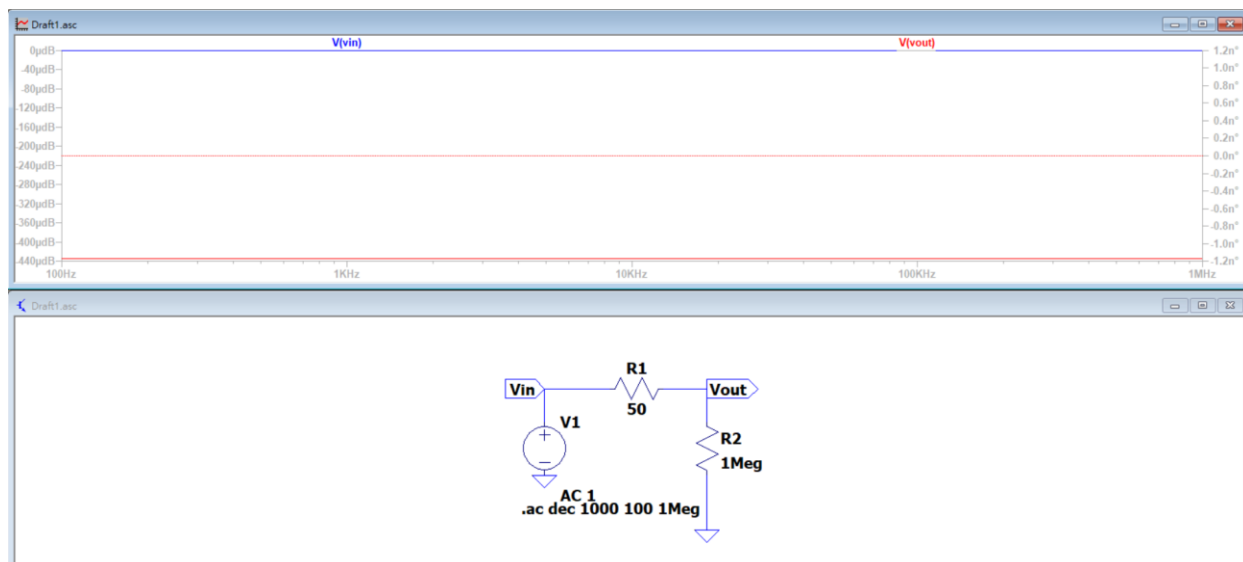
Marker frequency:	1k Hz	10k Hz	100k Hz	1Mk Hz	Marker off
Sync square wave duty cycle:	25.1497%	49.9002%	75.0499%	100%	50%

### What is the main purpose of the marker frequency?

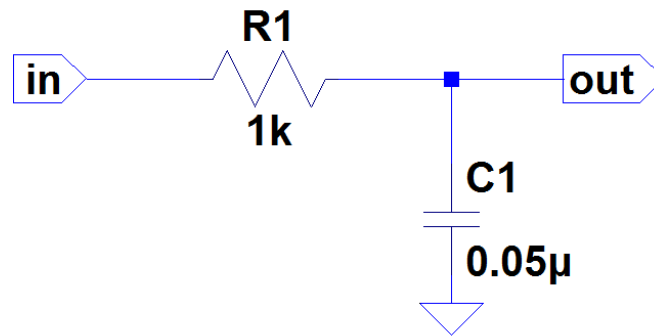
標記頻率的主要目的是在頻譜分析時，快速標記特定的頻率點，以幫助使用者或工程師快速識別觀察的信號或特定的頻率成分，方便進行頻率的相關測量、分析和電路的調整。

如實驗中我們設定的 1k Hz 標記頻率，其 Sync 方波在下降階段對應到的 AC Sweep 位置就是 1k Hz 的頻段，同理在 10k Hz、100k Hz、1M Hz Sync 方波下降階段對應到的 AC Sweep 位置也都是對應頻率的頻段，這也說明為甚麼當標記頻率設定為 1M Hz 時，Sync 方波 Duty cycle 會是 100%，因為我們對函數產生器的 AC Sweep 設定就是從 100Hz 跑到 1M Hz。

## LTSpice Simulation:



## Experiment 2: First-Order Low-pass filter

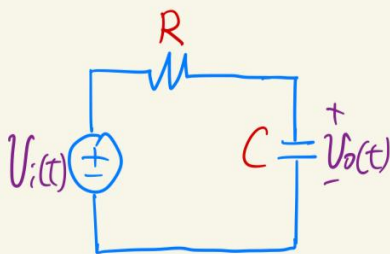


### 電路分析:

此電路為一個簡單的一階低通濾波器，是由一個與負載串聯的電阻以及與負載並聯的一個電容構成的 RC 電路，由於電容有電抗作用(直流時斷路，交流時短路)阻止低頻訊號通過，因此低頻訊號經過負載後較容易呈現在輸出端(OUT 端)，反之，在較高頻率的訊號輸入時，電容電抗作用減弱，起到短路作用，將大部分高頻信號導流至地，因此在輸出端(OUT 端)的高頻信號減弱。而高低頻率的區分頻率(截止頻率)則由所選擇的電阻和電容所確定，公式如下：

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

### Low-Pass Filter 截止頻率計算推倒:



$$\Rightarrow H(\omega) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1/j\omega C}{R + 1/j\omega C} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

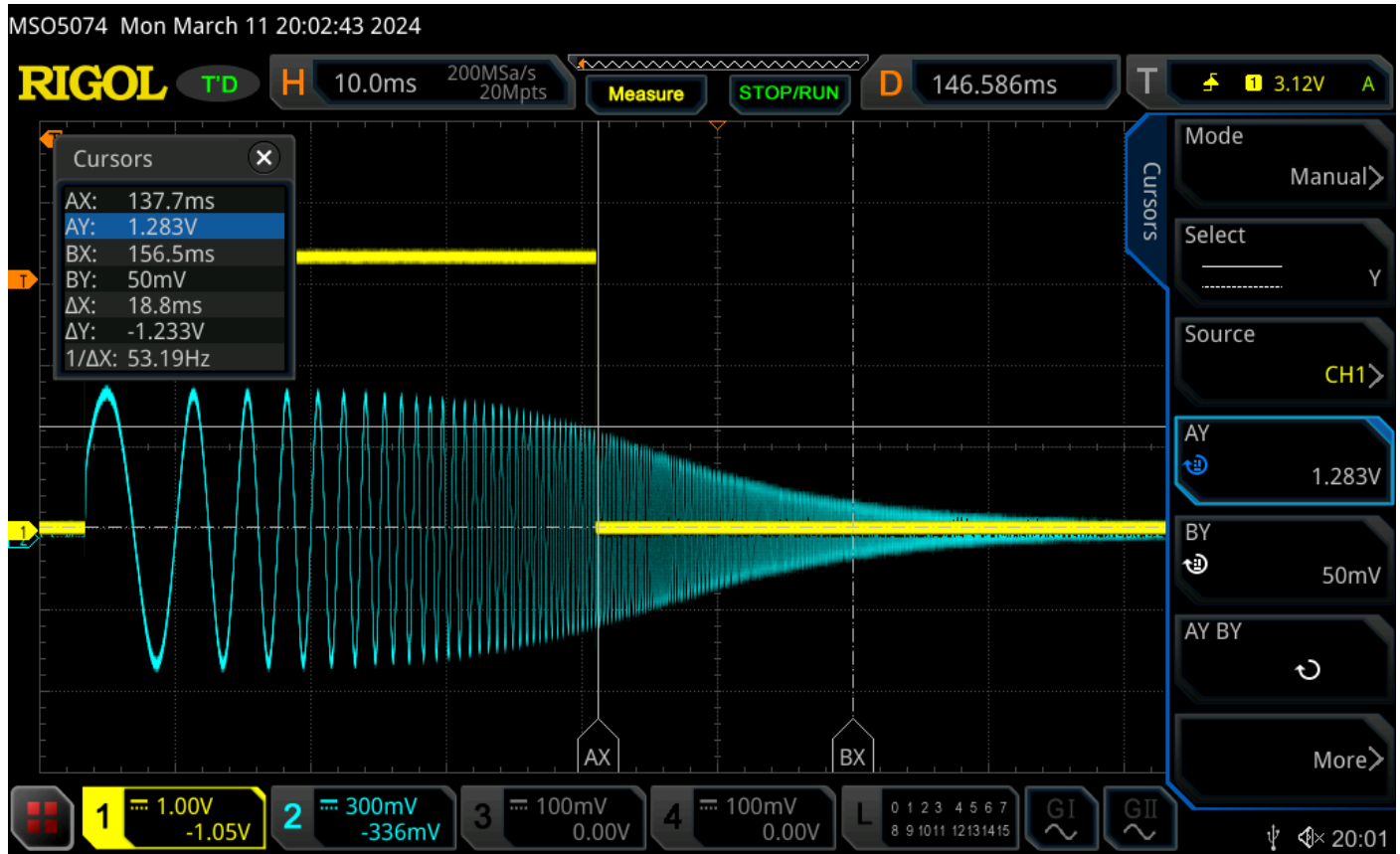
$$\underline{j\omega = s} \quad \underline{RC = \omega_c} \quad \frac{1}{1 + s/\omega_c} = \frac{\omega_c}{s + \omega_c}$$

$$\Rightarrow \text{Cutoff Frequency} = \omega_c = \frac{1}{RC}$$

$$\Rightarrow |H(\omega)| = \begin{cases} 1 & \Rightarrow \omega = 0 \\ 1/\sqrt{2} \approx 0.707 & \Rightarrow \omega = \omega_c \\ 0 & \Rightarrow \omega \rightarrow \infty \end{cases}$$

$$\Rightarrow \omega_c = \frac{\omega_c}{2\pi} \stackrel{R=1k\Omega, C=0.05\mu F}{=} \frac{1}{2\pi \cdot 1k \cdot 0.05\mu} \doteq 3183.09886183791 \text{ Hz}$$

## 2. Output AC Sweep waveform



Approximate 3db frequency = 3183 Hz

Calculate  $f_c$  = 3183.09886183791 Hz

## Question:

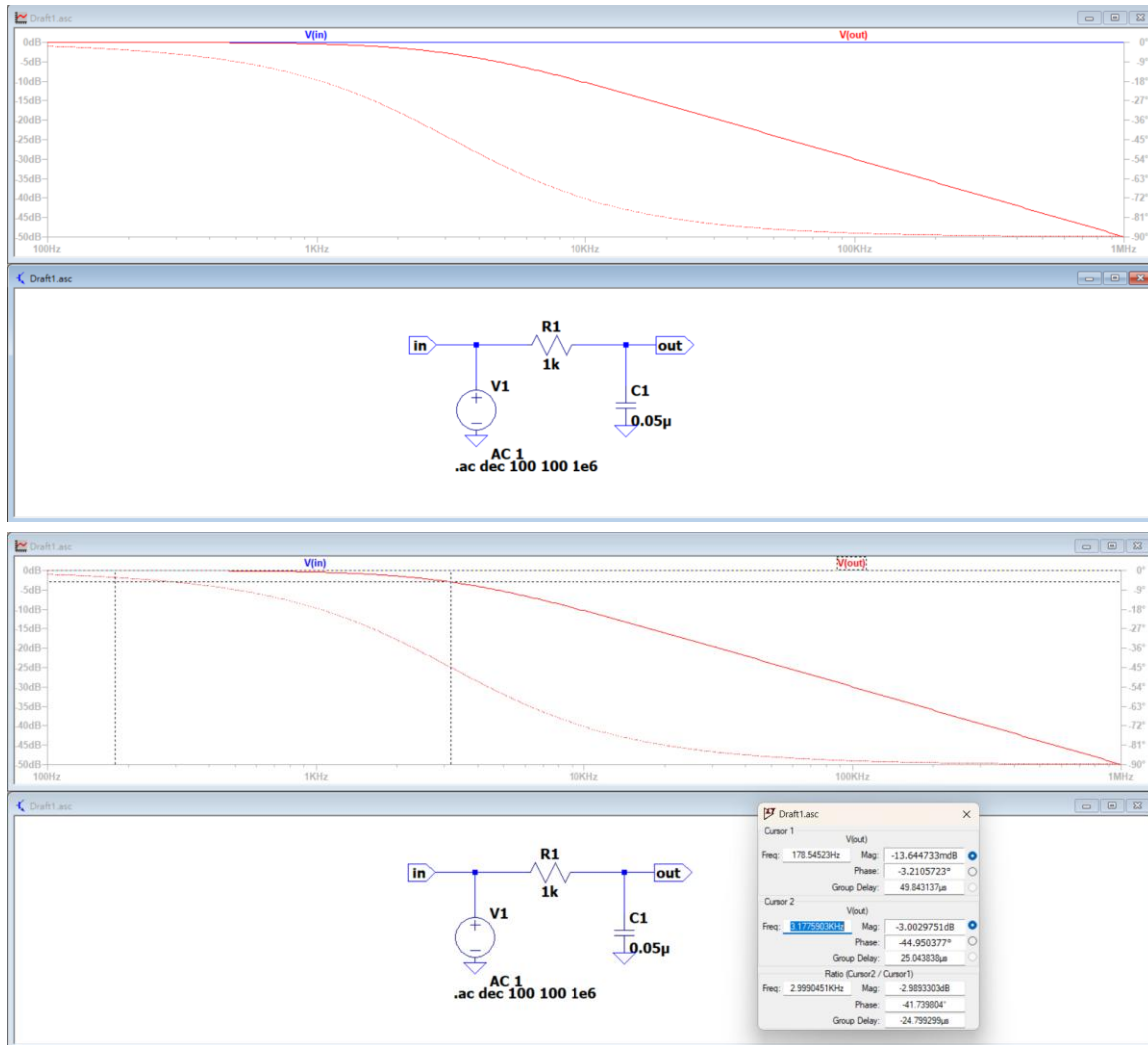
### How to measure -3db by AC Sweep Graphic?

通過簡單的計算如下：

$$\text{db} = 20 \log|A| \rightarrow -3\text{db} = 20 \log|A'| \rightarrow A' = 0.707A$$

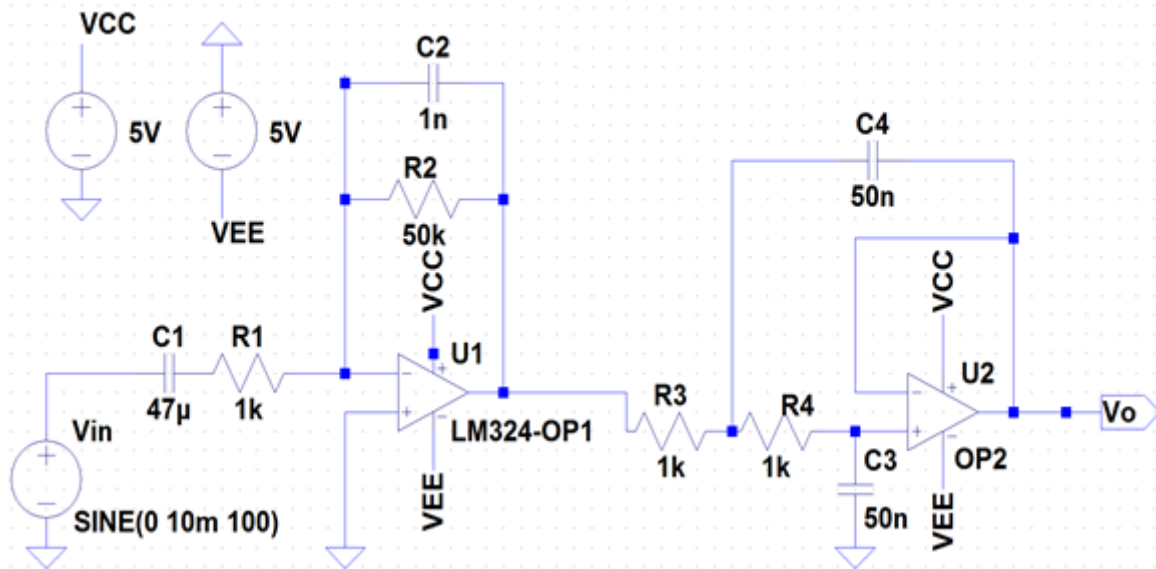
可以得知當高頻率的振幅慢慢衰減至原振幅的 0.707 倍時，該位置的頻率就是 -3db 點，因此可以用示波器的 cursor 測量原本波形圖的振幅，將量測到的振幅乘以 0.707 後，再去用 cursor 找到振幅為 0.707 倍的頻率位置，之後再大概計算該位置對應的 Sync 方波 duty cycle，最後使用函數產生器的 Marker frequency 進行確認。



**LTSpice Simulation:**

Cursor 量出截止頻率約為 3.1775kHz

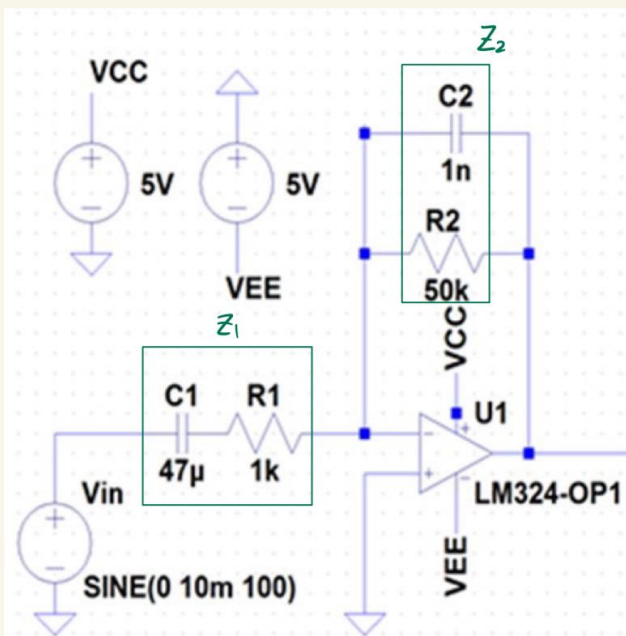
## Experiment 3: Split Supply vs. Single Supply



### 電路分析:

此實驗的電路由前半部分的 Band pass filter 和後半部分的 Active Second-Order Low-pass filter 所組成，以下我將分開討論：

### Band pass filter 之電路數學計算與分析：



$$Z_1 = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}; Z_2 = R_2 \parallel \frac{1}{j\omega C_2} = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}$$

$$\Rightarrow H(\omega) = -\frac{Z_2}{Z_1} = -\frac{\frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}} \stackrel{j\omega = s}{=} -\frac{SC_1 R_2}{(SC_1 R_1 + 1)(SC_2 R_2 + 1)}$$

$$= -\frac{s/z_0}{(1 + \frac{s}{p_1})(1 + \frac{s}{p_2})}$$

simple  $z_0 = 0$

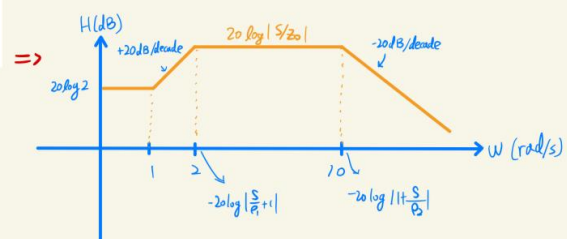
$$\text{simple } p_1 = \frac{1}{C_1 R_1} \rightarrow f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_1}$$

$$R_1 = 1k\Omega, R_2 = 50k\Omega, C_1 = 47\mu C, C_2 = 1nC$$

$$\Rightarrow f_{z0} = \frac{1}{2\pi R_2 C_1} \doteq 0.0677Hz$$

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_1} \doteq 3.3863Hz$$

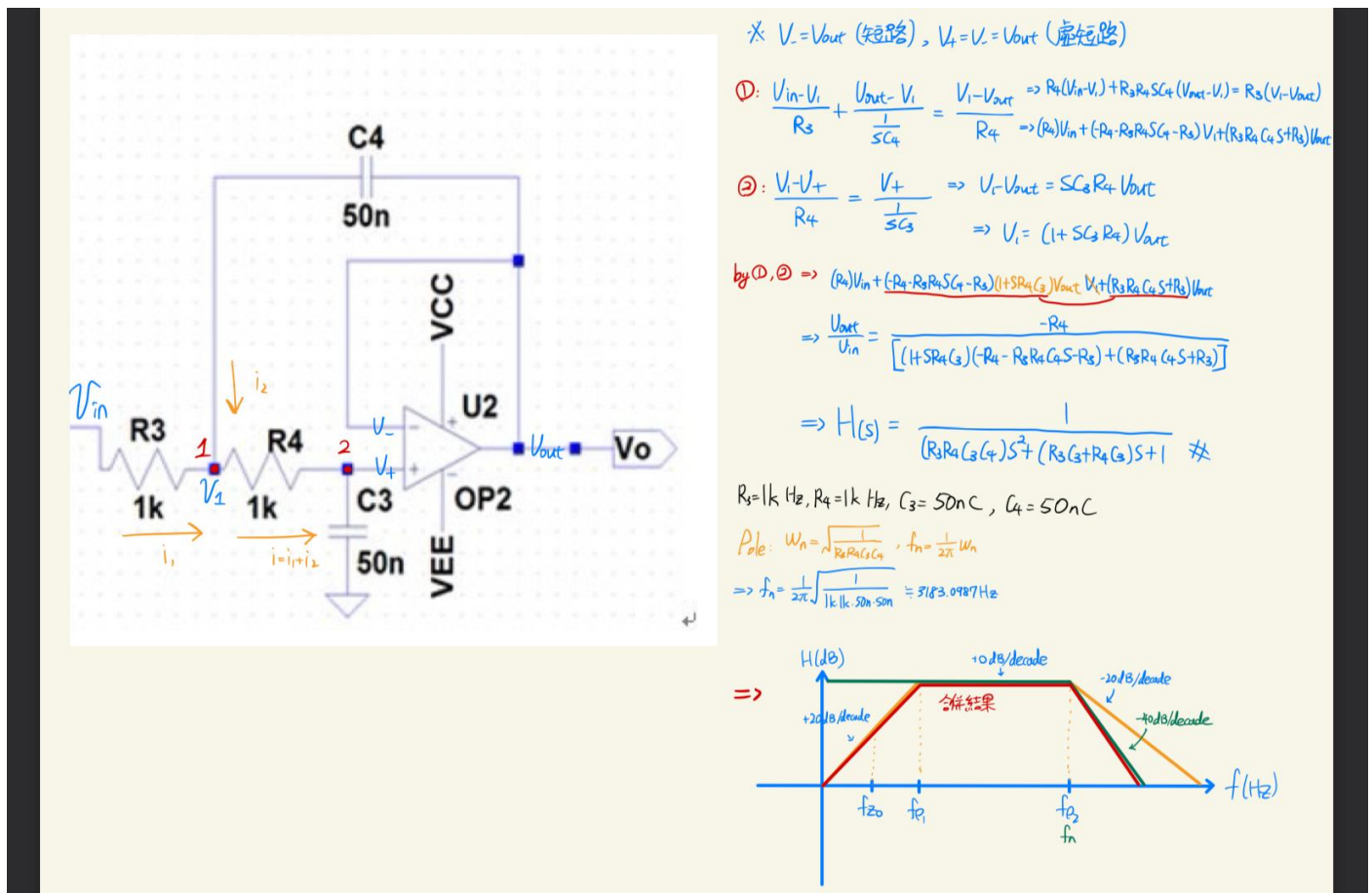
$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} \doteq 3183.1Hz$$



由計算可見，在頻域分析中，當  $f=0.0677Hz$  時，圖形會以  $20dB/decade$  往上升；當  $f=3.3863Hz$  時，圖形會以  $(20-20)dB/decade = 0dB/decade$  保持水平；當  $f=3183.1Hz$  時，圖形會以  $-20dB/decade$  往下降。



## Active Second-Order Low-pass filter 之電路數學計算與分析：



由計算可見，在頻域分析中，當  $f=3183.0987Hz$  時，圖形會以 40dB/decade 往下降。

## Split-supply 與 Single-supply 介紹分析與差別：

### 1.Single-supply（正電源）：

Single-supply 電路只使用一個電源對 IC 進行供電，通常是正電源，也就是電路的地（GND）是相對於電源電壓的唯一參考點。

Single-supply 電路通常適合用在輸入和輸出訊號都是正向的情況下，例如這次的 Arduino Uno 板就是因為輸入輸出只能在 0~5V，因此適合用 Single-supply 進行電路操作。

### 2.Split-supply（正負電源）：

Split-supply 電路使用兩個電源對 IC 進行供電，一個供應正向電壓，另一個供應負向電壓，此設計使得電路的地不再是唯一參考點，而是位於正向和負向電源之間的一個電位。

Split-supply 電路常用於需要雙向訊號（正向和負向）操作的應用中。

**Split-supply 與 Single-supply 的直流分析(推導表格中的電壓值)：****1.Split Supply 下，直流分析(AC Ground):**

首先 U1V+接地，因此電壓為 0V，而由於放大器需短路的現象，因此 U1V-的電壓也是 0V，再根據 KCL 定理(此時 Vin 接地無訊號輸入)，可以確定 U1Vout=0V，進而推導出輸入至 U2V+的電流不存在，因此 U2V+也是 0V，而再次通過放大器需短路的現象，可以推導出與 U2V-短路的 U2Vout 也是 0V。

**2. Single Supply 下，直流分析(AC Ground):**

首先 U1V+由 R5 和 R6 電阻進行對 Vcc 的分壓，得到 U1V+電壓為  $5 * \frac{2k}{3k+5k} = 2V$ ，由於放大器需短路的現象，因此 U1V-的電壓也是 2V，再根據 KCL 定理(此時 Vin 接地無訊號輸入)，可以確定 U1Vout=2V，進而推導出輸入至 U2V+的電壓也是 2V，而再次通過放大器需短路的現象，可以推導出與 U2V-短路的 U2Vout 也是 2V。

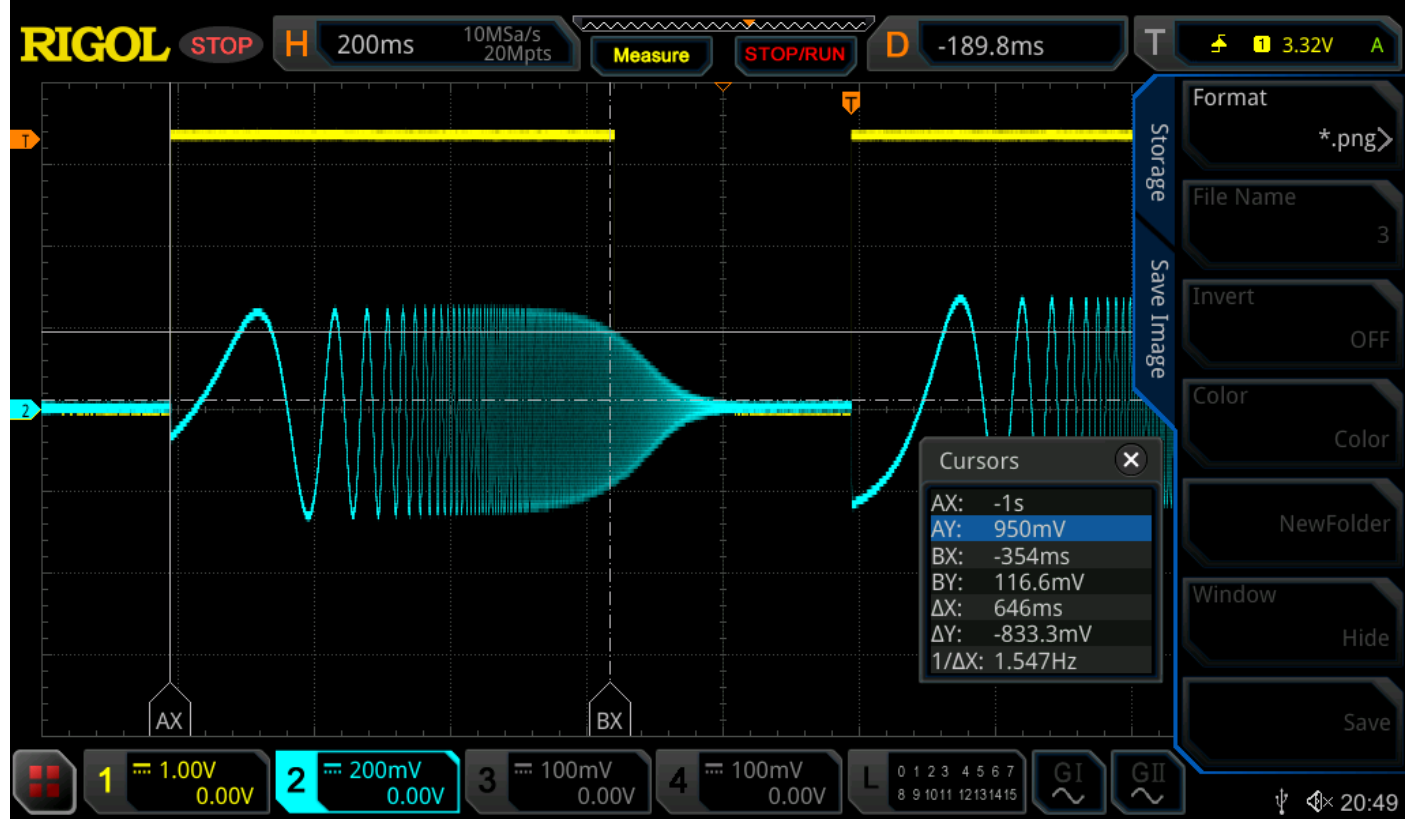
可以發現將 split 接成 single，差別就是輸出的上下界從原本的 5~-5 變為 5~0，而將 U1V+端接 2V 是讓工作點改到 2V，相當於加了 2V 的 DC offset 一樣。

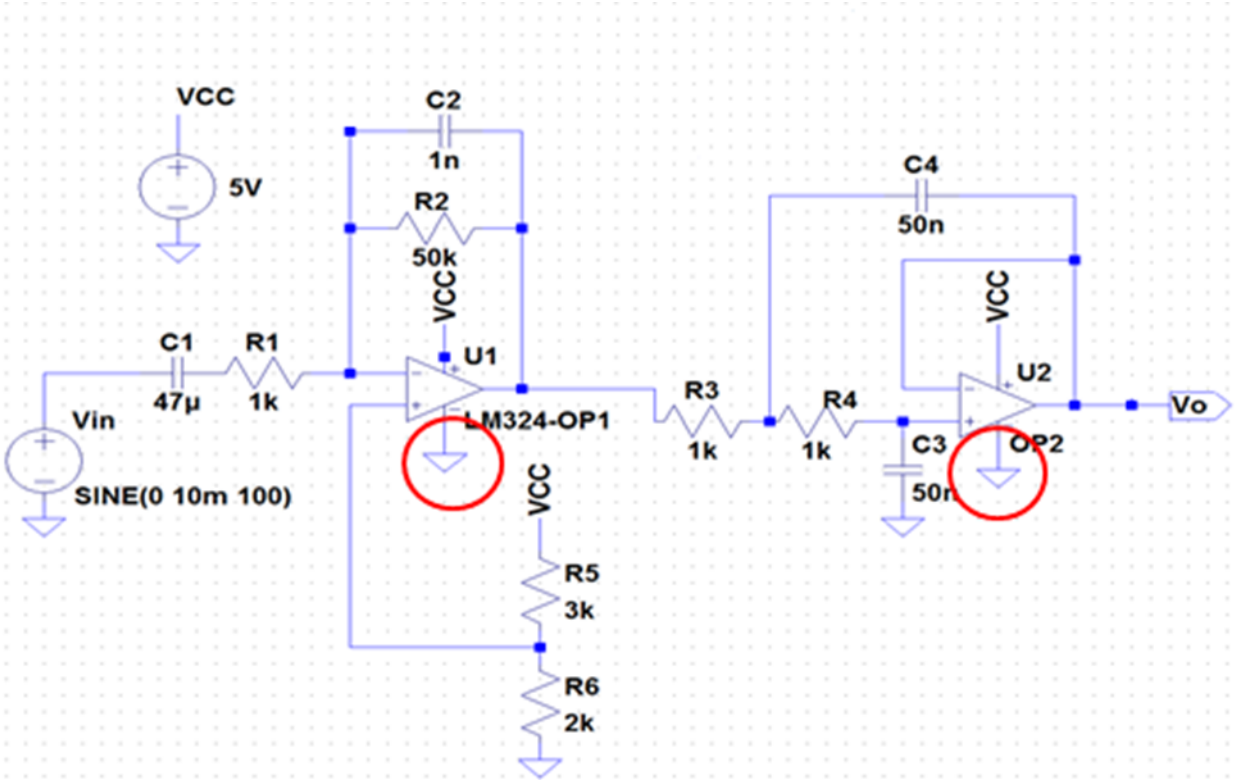
**2. Bias**

U1,V+ (V)	U1,Vout (V)	U2,V+ (V)	U2,Vout (V)
<b>0</b>	<b>-0.04</b>	<b>-0.02</b>	<b>0</b>

3. AC Sweep waveform  $f_{H3dB} = 1.86 \text{ kHz}$ 

MSO5074 Mon March 11 20:50:07 2024

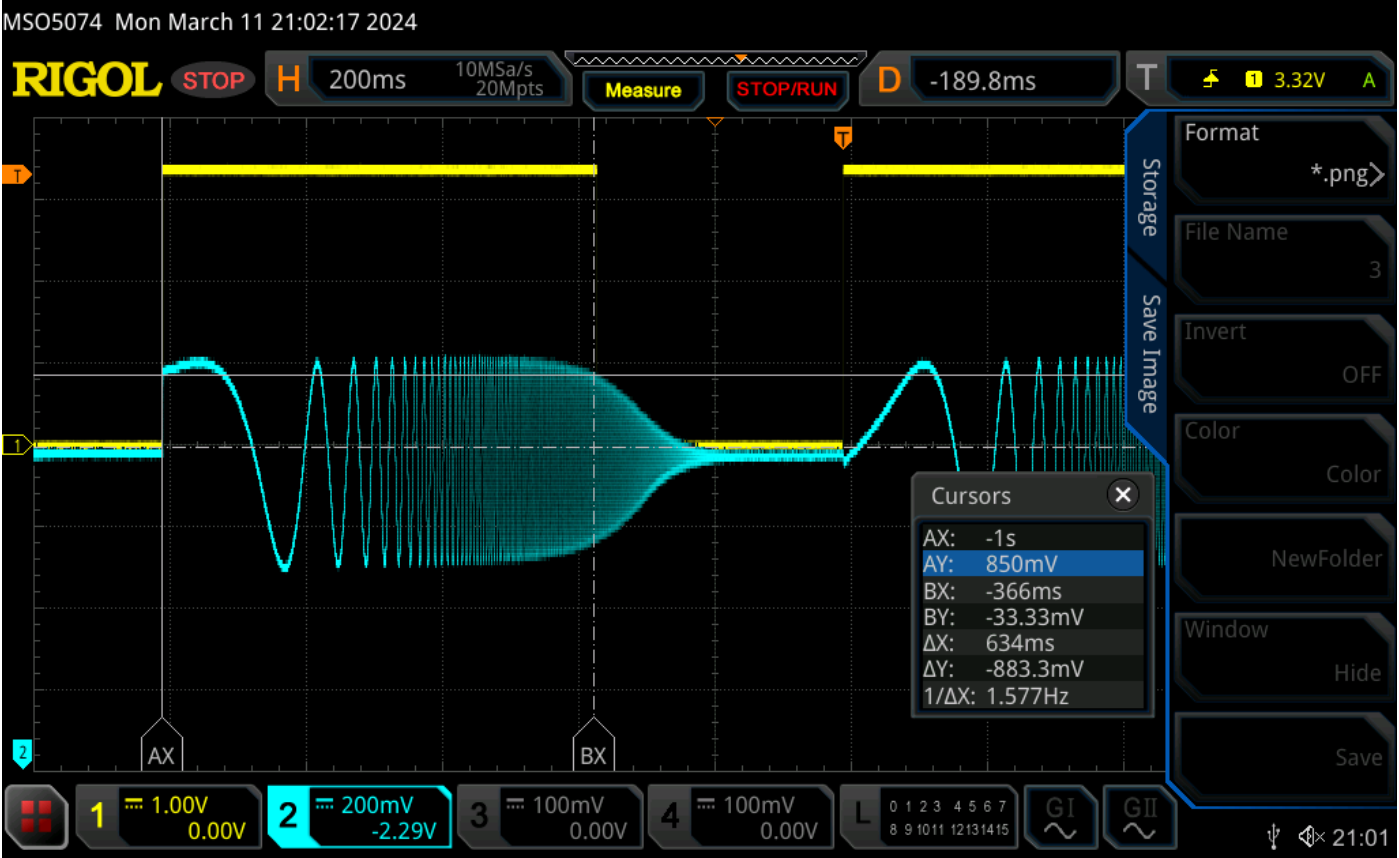




5. Bias

U1,V+	U1,Vout	U2,V+	U2,Vout
(V)	(V)	(V)	(V)
2.0	1.99	1.98	1.99

6. AC Sweep waveform  $f_{H3dB} = 1.52 \text{ kHz}$



## Question:

實驗中，大助教有提醒做完 **split supply** 之後，接著做 **single supply**，有可能發生沒有訊號輸出的現象，這是為甚麼呢？該如何排除？

在排除電路接錯以及元件損壞的情況下，會出現這個現象的原因是因為 C1 電容接反了，由於在做 **split supply** 時，電容正負極交換並不會阻礙 **Vin** 訊號進入電路，但是當在做 **single supply** 時，**Vin** 輸入端的電容針腳就要是負極，因此如果原本是正極接在 **Vin** 端，就會導致做 **single supply** 時沒有訊號輸出的現象。

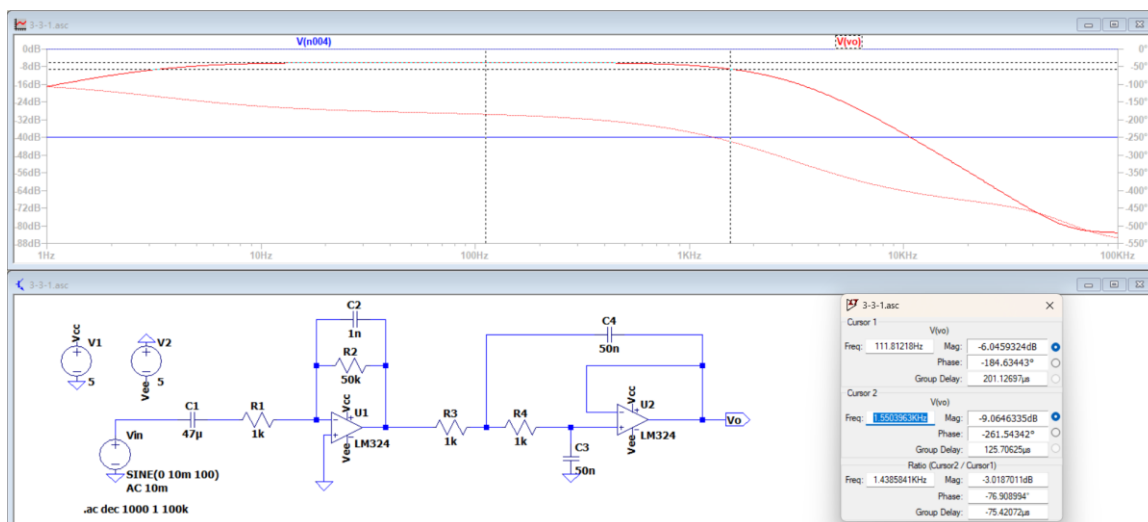
解決這個現象的辦法就是將電容正負接腳交換，若如此還無法解決問題，就要先將電容放電，之後再接上電路即可。

實驗中，同桌出現 **Sync** 訊號歪掉的情況，可能原因是？

推測他是在 **trigger** 設定的地方忘記調成 **DC coupling** 而是使用 **AC coupling**，因此造成 **Sync** 訊號進入示波器時經過內部的電容，導致方波經過微分( $i = c \times \frac{dv}{dt}$ )後，變為脈衝波。

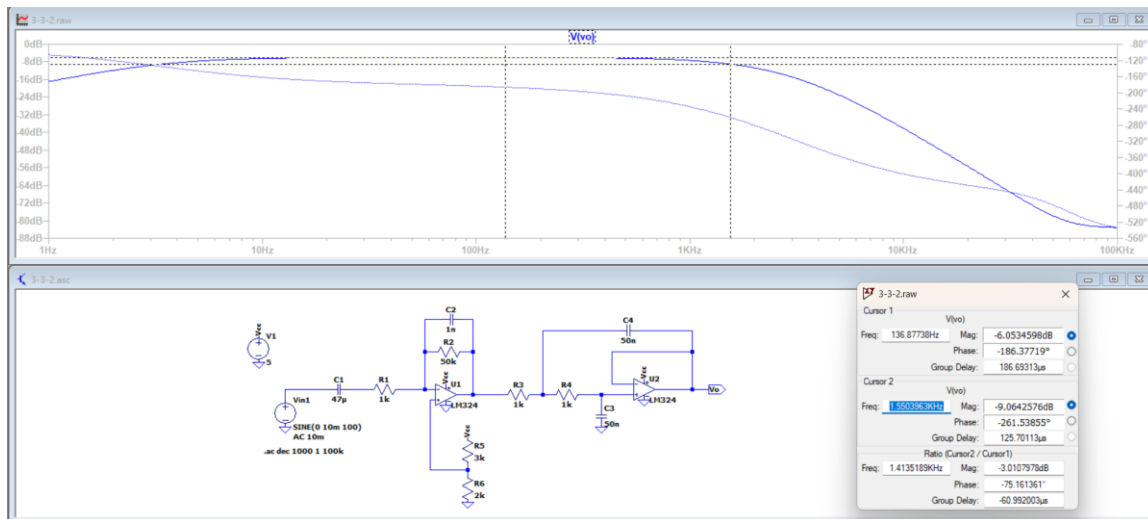
## LTSpice Simulation:

Split Supply:



AC Sweep waveform  $f_{H3dB} = \underline{1.55 \text{ kHz}}$

## Single Supply:



AC Sweep waveform  $f_{H3dB} = \underline{1.55 \text{ kHz}}$





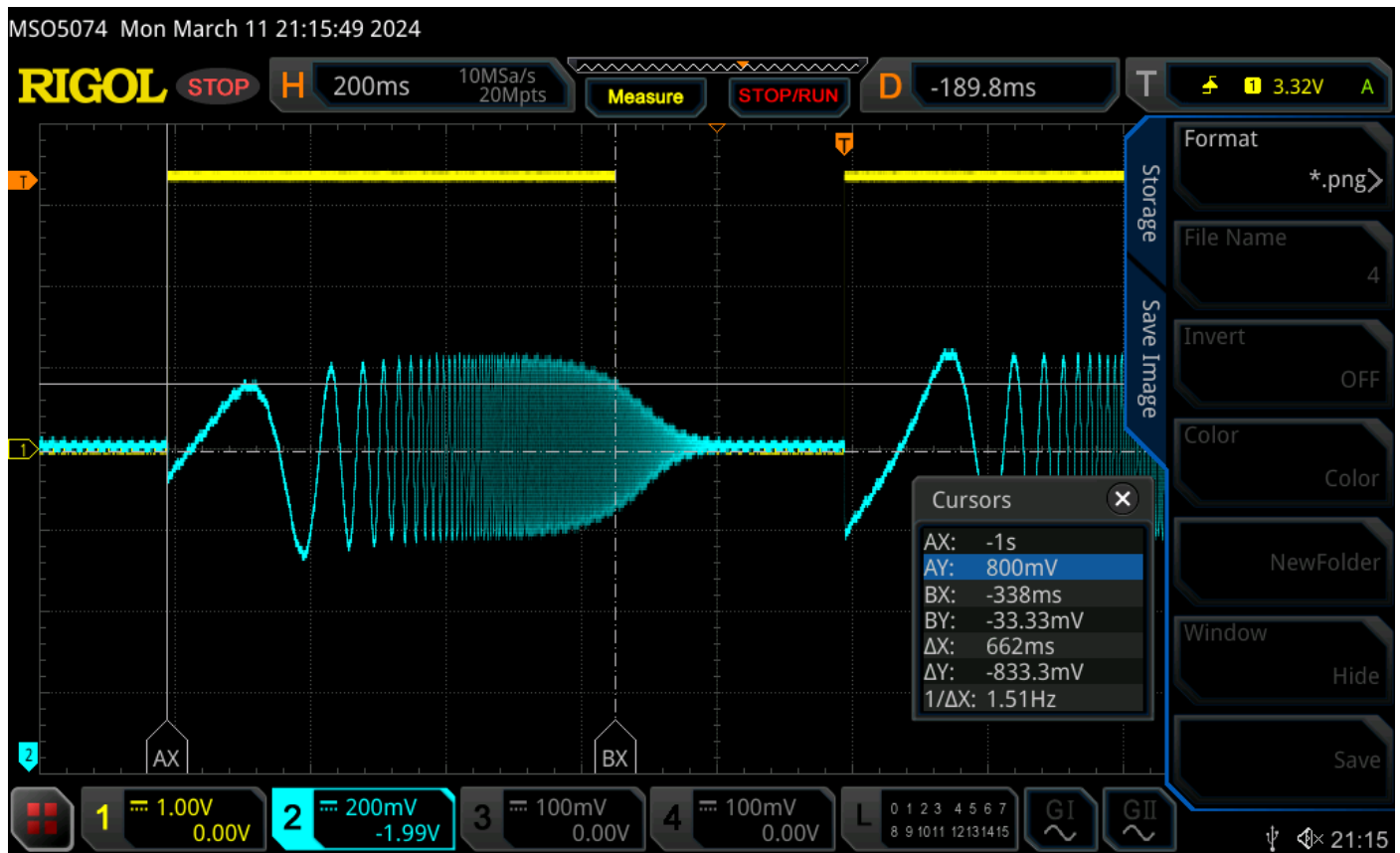
壓直為 5V，接著 U1V+ 的電壓直為 Vcc 經過 3k ohm 和 2k ohm 電阻分壓後得到的 2V ( $5 * \frac{2k}{3k+2k} = 2V$ )，再由放大器的虛短路得知 U1V- 也是 2V，再根據 KCL 定理，可以確定 U1Vout=2V，因為電容視作斷路，進而推導出 U2V+ 的電壓也是 2V，而再次通過放大器需短路的現象，可以推導出與 U2V- 短路的 U2Vout 也是 2V。

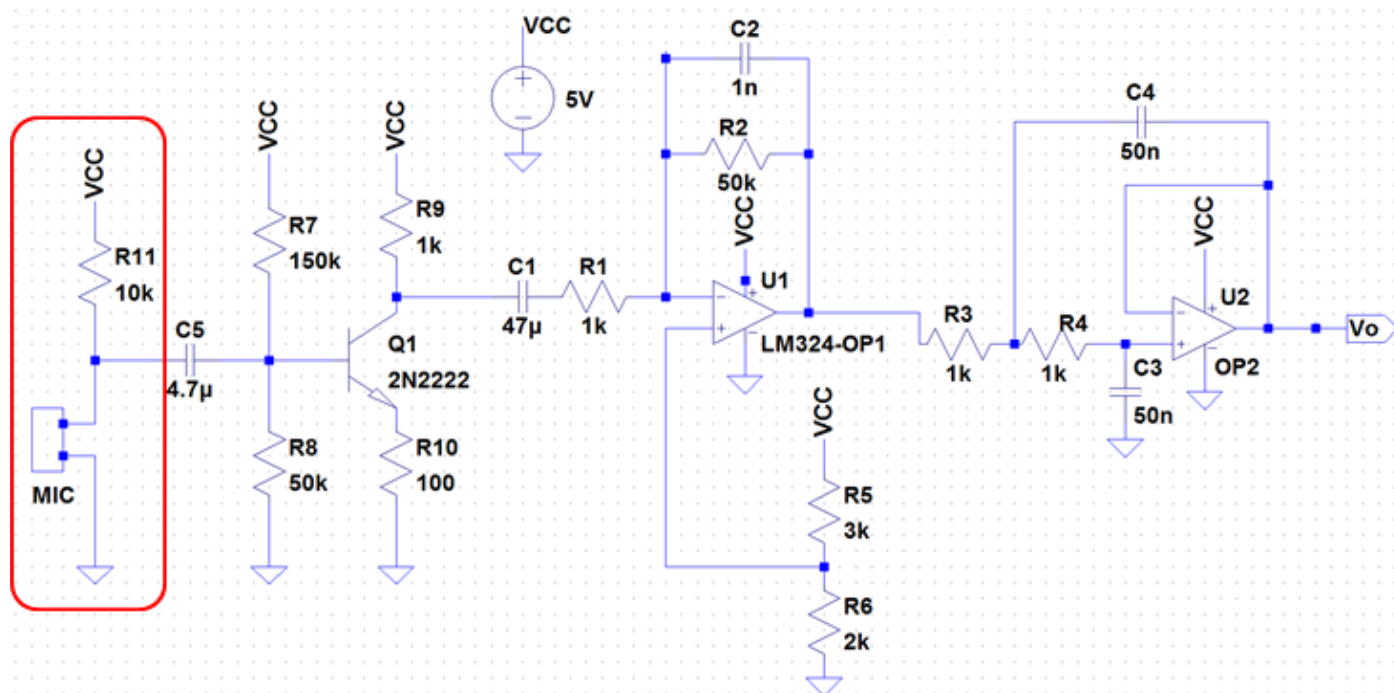
2.

Q1,Vc (V)	U1,V+ (V)	U1,Vout (V)	U2,V+ (V)	U2,Vout (V)
5.00	1.98	1.99	1.99	1.99

3.

AC Sweep waveform  $f_{H3dB} = 1.93 \text{ kHz}$





## 電路分析:

將函數產生器輸入改成麥克風輸入，值得注意的是，麥克風需要額外供電，因此上方有一個上拉電阻將麥克風啟動電壓拉至  $V_{cc}$ 。

5.

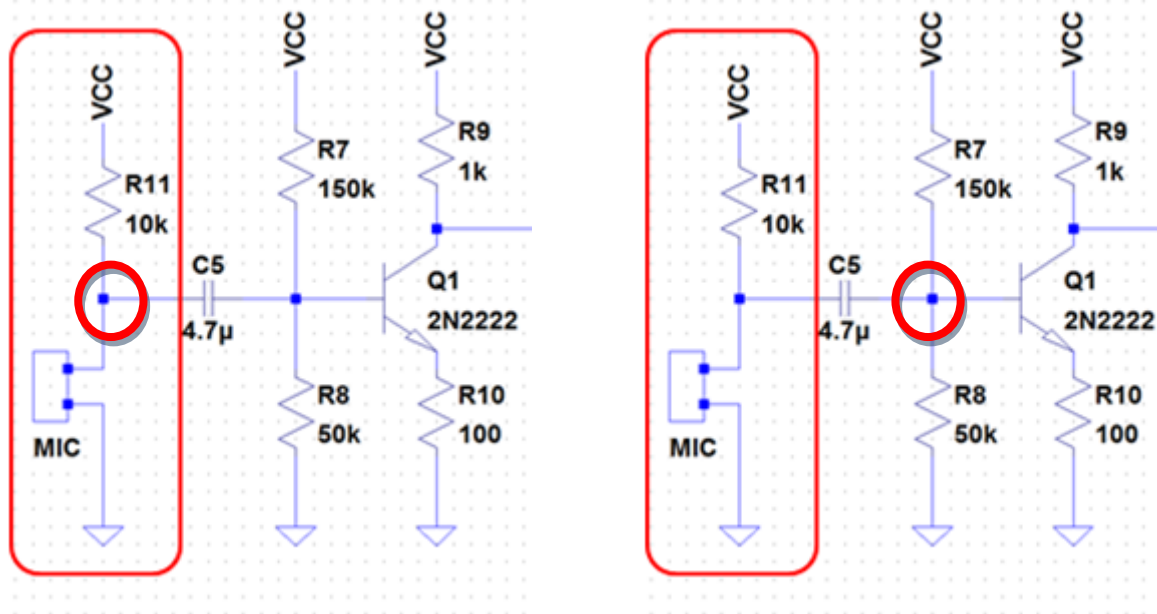
$V_o$  and MIC waveform



## Question:

量測麥克風波形時，有著很嚴重的 **DC offset**，為什麼？後來如何改善？

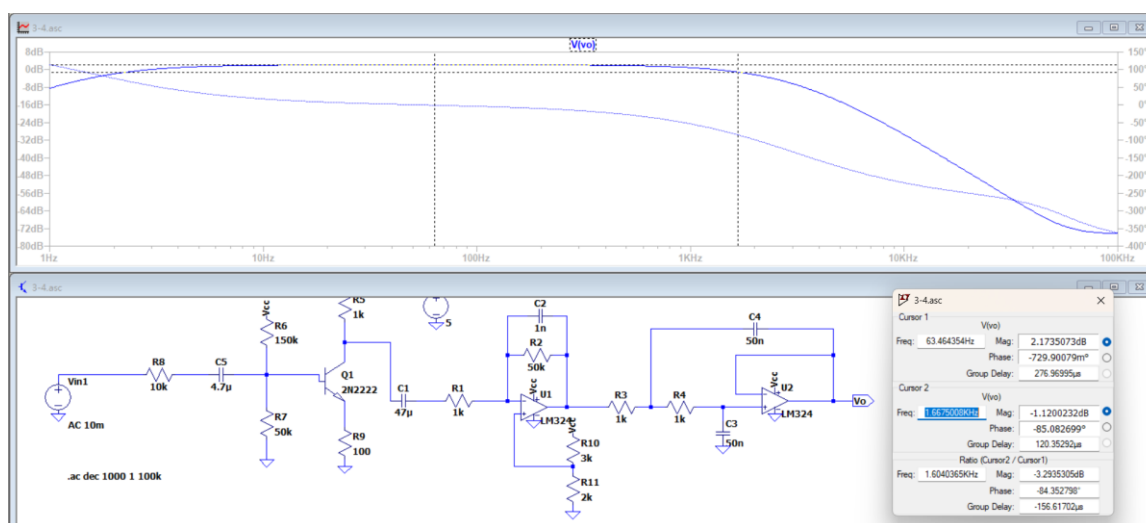
由於麥克風輸入的小訊號振幅非常的小，在  $mV$  等級，而這樣的小訊號是乘載在一個  $DC$  電壓之上，也就是供麥克風啟動的電壓，由於當時我直接將示波器 Ch1 的輸入點接在如左下圖圈起處：



導致  $V_{cc}$  會嚴重影響到觀測的 offset。

後來我的改善方式是將示波器 Ch1 的輸入點改接在如右上圖圈起處，因此經過  $C5$  電容後， $V_{cc}$  的偏壓將會被阻擋，因此可以量測到較小 offset 的麥克風輸出信號。

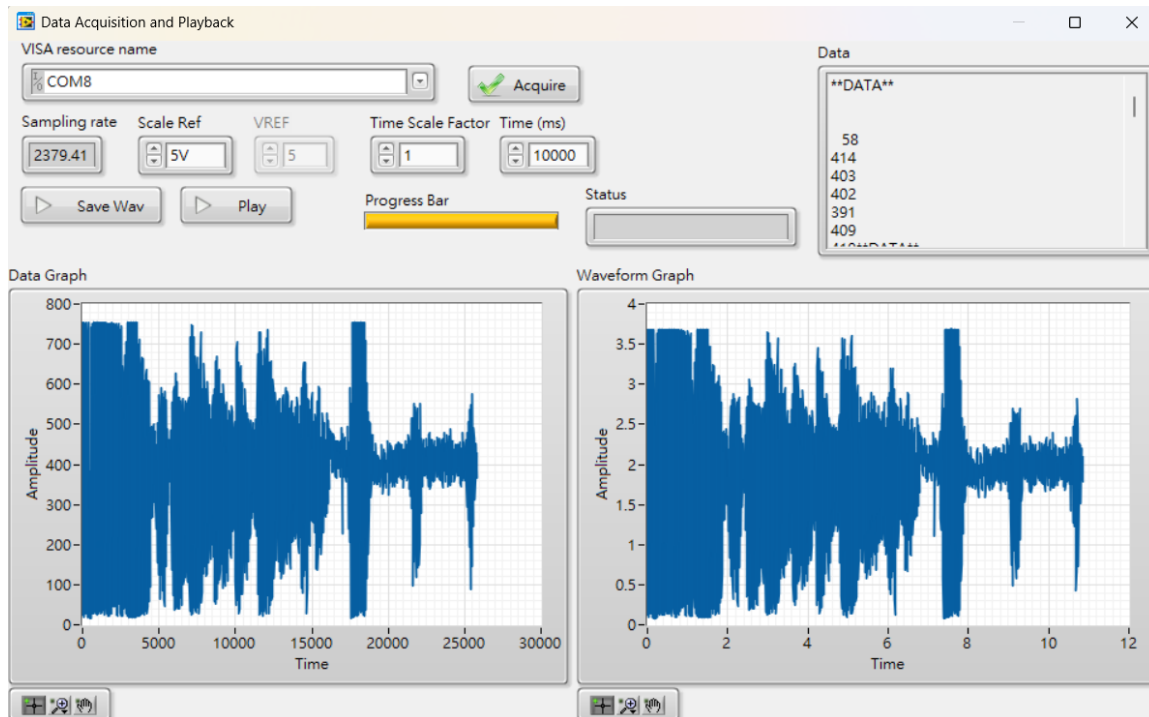
## LTSpice Simulation:



AC Sweep waveform  $f_{H3dB} = \underline{\quad 1.6675 \quad} \text{ kHz}$

## Experiment 5: Audio Playback

### 2. Record and playback a 10-second music or wave.



### Question:

大部分的麥克風輸入訊號最後都會被截掉，如上圖，該如何解決？

我認為麥克風的輸入訊號在經過濾波與放大後，最後在輸出到 Arduino 上會有截波的產生，是因為中間的放大器放大倍率太大，以至於輸出給 Arduino 的訊號超出+5V，導致在經過 ADC 轉成數位訊號後失真，因此要解決這個問題，來發揮麥克風最好的效果，應該要適當調整 CE Amplifier 那邊小訊號模型的電阻，來找到一個最適合的訊號  $A_v$  增益。

## 實驗心得:

這次實驗算是比較複雜的一次實驗，也是我第一次接觸 AC Sweep 等相關知識，因此做起實驗與寫起結報相當的燒腦與不熟悉，但好在經過不斷的試錯與努力下，總算是有點了解了這次實驗是要做什麼，整體來說這次實驗相比前兩次實驗更需要細心操作與調整示波器的技巧，可以明顯感受到電子實驗的難度以及有趣的程度都在增加。

除此之外，這次實驗在電路分析階段需要使用非常多電路學以及電子學的知識，也算是幫助我好複習的訊號模型以及波德圖的計算。

## 實驗結論:

實驗一的重點在於幫助我們了解 AC Sweep 與 Marker 的產生與使用，透過改變不同的 Marker frequency 來抓取 AC Sweep 的不同頻率位置。

實驗二的重點在於藉由簡單的低通濾波器，來讓我們了解過濾高頻信號的原理以及實際的-3db 點該如何計算與尋找。

實驗三開始進入本次實驗的重點，藉由 band-pass filter 與 Active Second-Order Low-pass filter 組合電路，讓我們對信號處理上更了解多次濾波後對信號的影響以及其對應的波德圖改變。

實驗四算是實驗三的電路實用，藉由加入一個 bjt 來模擬將輸入信號放大後，再進行多次濾波的一個過程，讓我們對類比訊號處理的實際流程與應用更加熟悉。

最後實驗五為成果展現，將電路實際的錄音訊號，經過放大、濾波與 ADC 轉換後，由電腦軟體錄下並最終可以撥放。

## Reference:

Charles Alexander. & Matthew Sadiku. (2016). Fundamentals of Electric Circuits, 6th Edition. McGraw-Hill Education

Adel S. Sedra , Kenneth C. (KC) Smith , Tony Chan Carusone , and Vincent Gaudet (2020). Microelectronic Circuits, 8<sup>th</sup> edition. Oxford University

Engineering Radio. (2012/01/14) Low Pass Filter design. retrieve from: [Low Pass Filter design – Engineering Radio](#) (2024/03/16)

維基百科。 (2023/07/30) 低通濾波器。 檢自: [低通濾波器 - 維基百科，自由的百科全書 \(wikipedia.org\)](#) (2024/03/16)

Cadence. (unknown) Defining an AC/DC Sweep Simulation Profile. retrieve from: <https://resources.pcb.cadence.com/blog/2019-defining-an-ac-dc-sweep-simulation-profile> (2024/03/16)