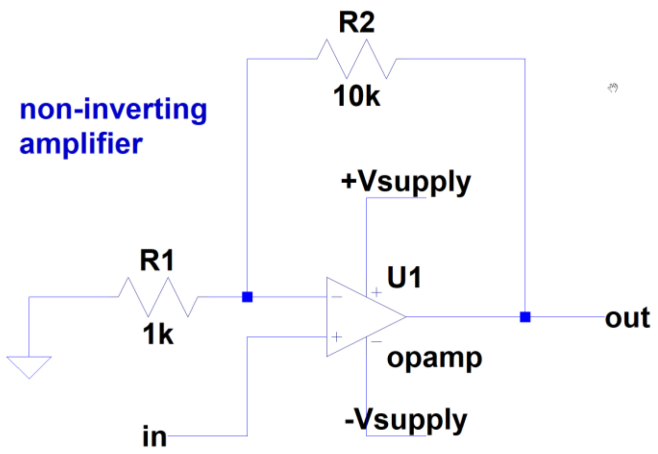
REPORT

Experiment 1: Non-inverting Amp. vs Inverting Amp.



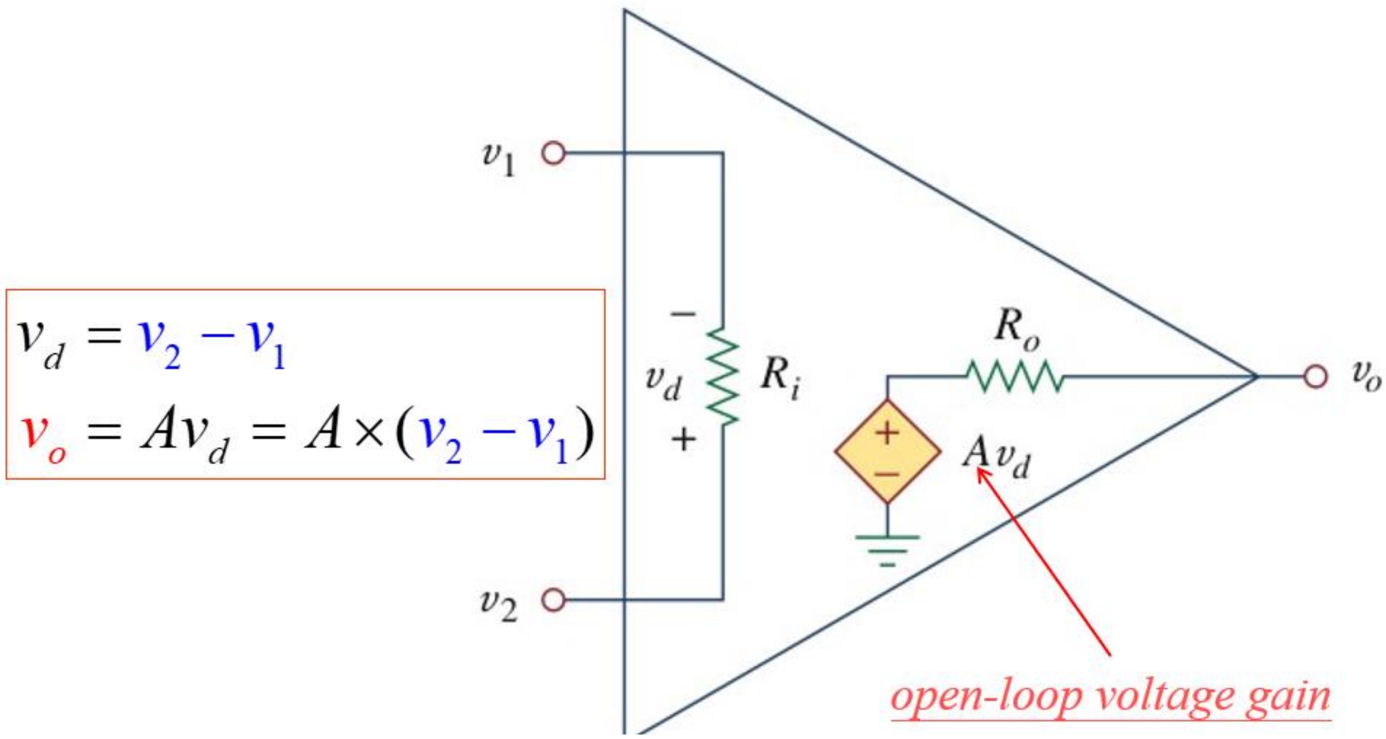
1.

When v_{in} is connected to the ground, v_{out} is <u>0.012Volt = 12mV</u>

Question:

According to the equation: $v_{out} = A_{open}(v_{+} - v_{-})$, the output voltage should be zero when $v_{+} = v_{-} = 0V$.

Why is the output voltage still not equal to zero?

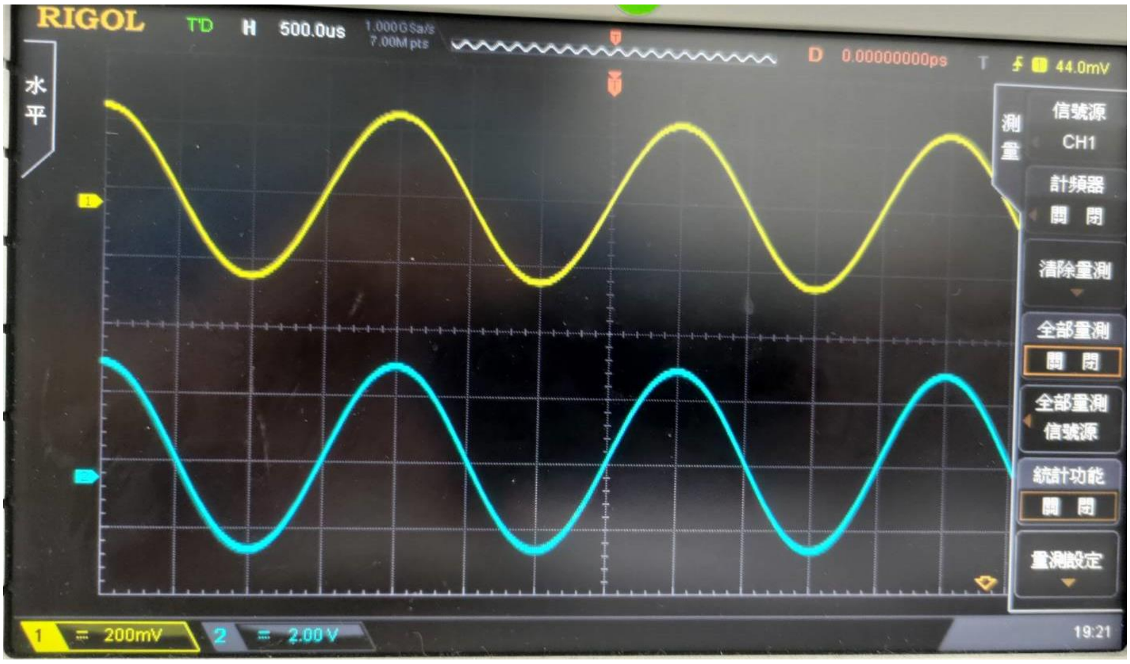


因為該放大器並非理想放大器，放大器的 R_i 並非無限大(經查表為 $2M\Omega$)，造成 inverting terminal 及 non inverting terminal 的電位不相同，因此 $v_d = v_+ - v_- \neq 0$，經過內部的 voltage control voltage source Av_d 放大後，經過查表會放大 $200\left(\frac{V}{mv}\right) = 200000$ 倍輸出，經概算後大約還會有毫伏特的電壓輸出，為相當小的數字，因此在往後的計算可以忽略該值的誤差，將放大器視為理想放大器以簡化運算。

Operational Amplifier

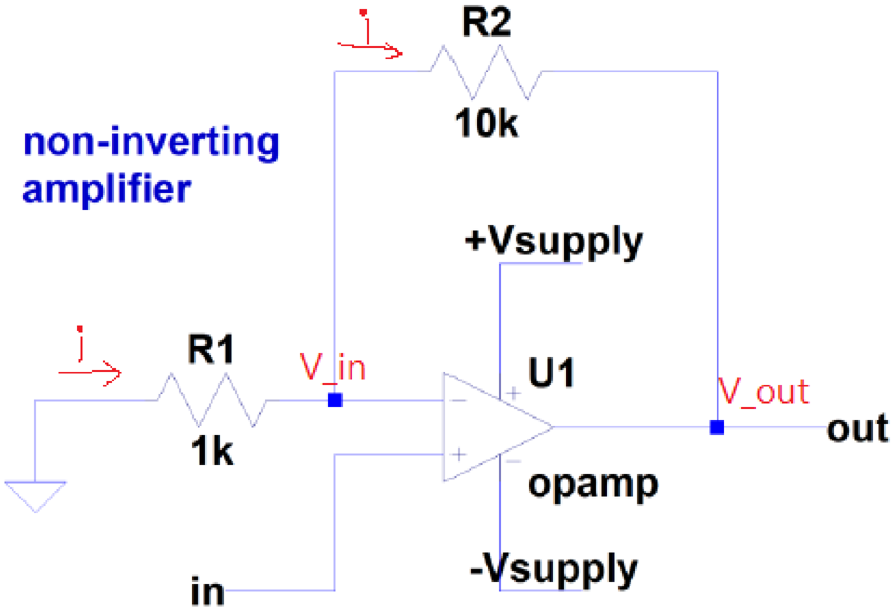
2.

v_{in} and v_{out} waveform in the same graph



黃線為輸入，藍線為輸出，經過 cursor 的標記後可以看出大致上峰對峰值放大了 11 倍，且輸出與輸入同向，與理論計算相符。

$v_{in,pp}$ (V)	$v_{out,pp}$ (V)	Measured voltage gain; A_v (V/V)	Theoretical voltage gain; A_v (V/V)
0.51	**5.68**	**11.13**	**11**

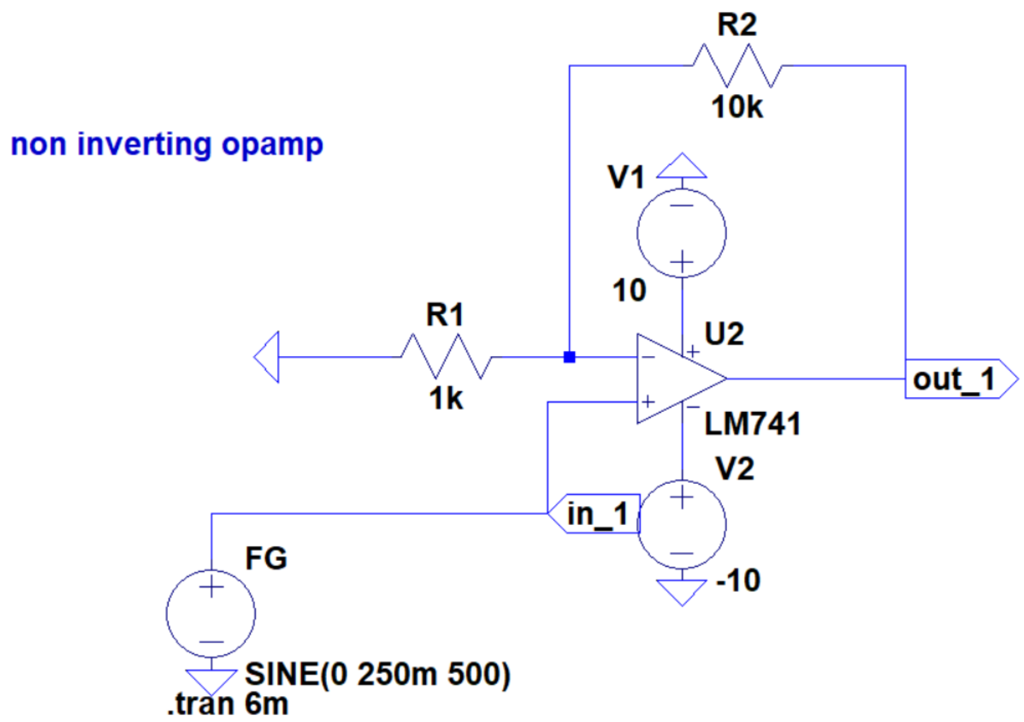


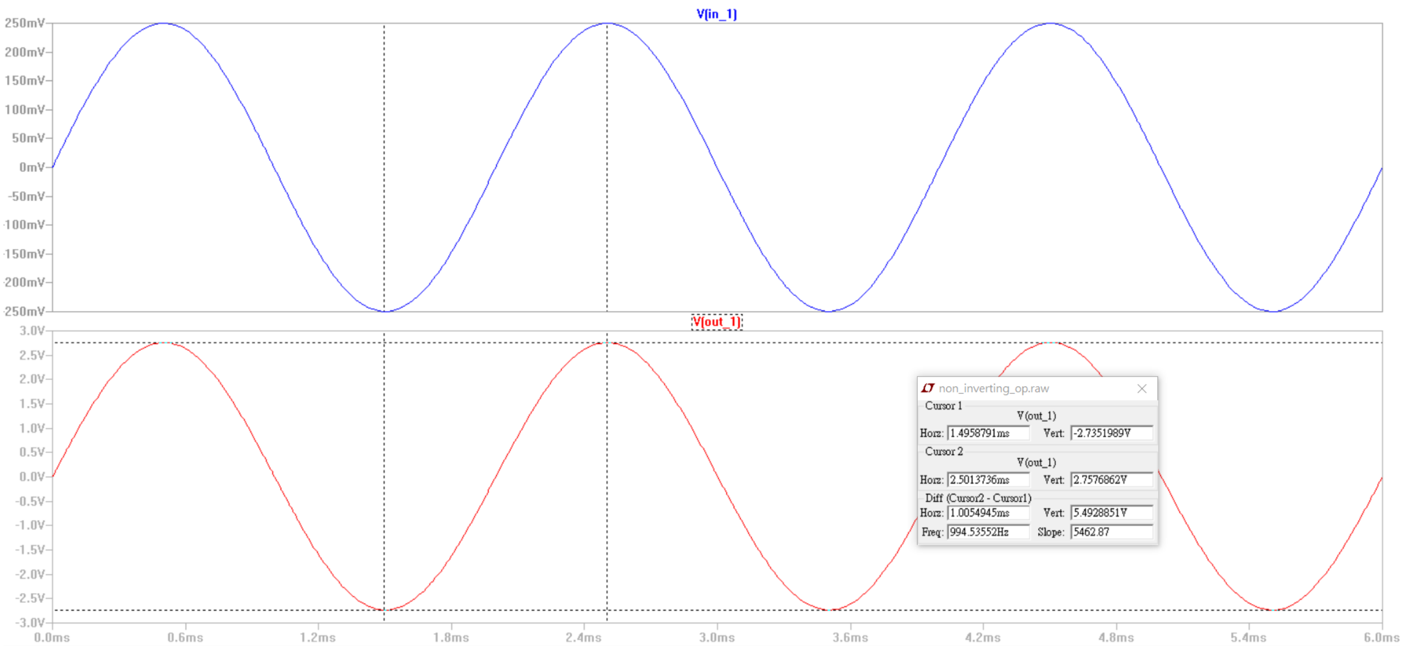
Theoretical voltage gain:

$$\frac{0-V_{in}}{R_1}=\frac{V_{in}-V_{out}}{R_2}\Rightarrow\frac{V_{out}}{V_{in}}=A=\frac{R_1+R_2}{R_1}=\frac{1+10}{1}=11$$

Operational Amplifier

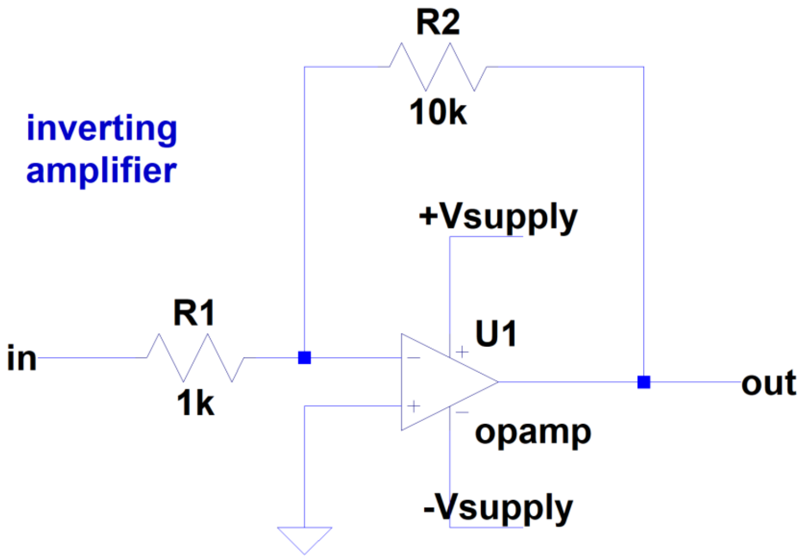
LTspice simulation:





藍線為 V_{in}（$V_{pp}=500mV$），紅線為 V_{out}（$V_{pp}=5.49V$），$A=\frac{V_{out}}{V_{in}}=\frac{5.49}{0.5}=10.98\approx 11$，與理論計算相同。也可以從 waveform 中觀察到兩個波是同向的。

Operational Amplifier



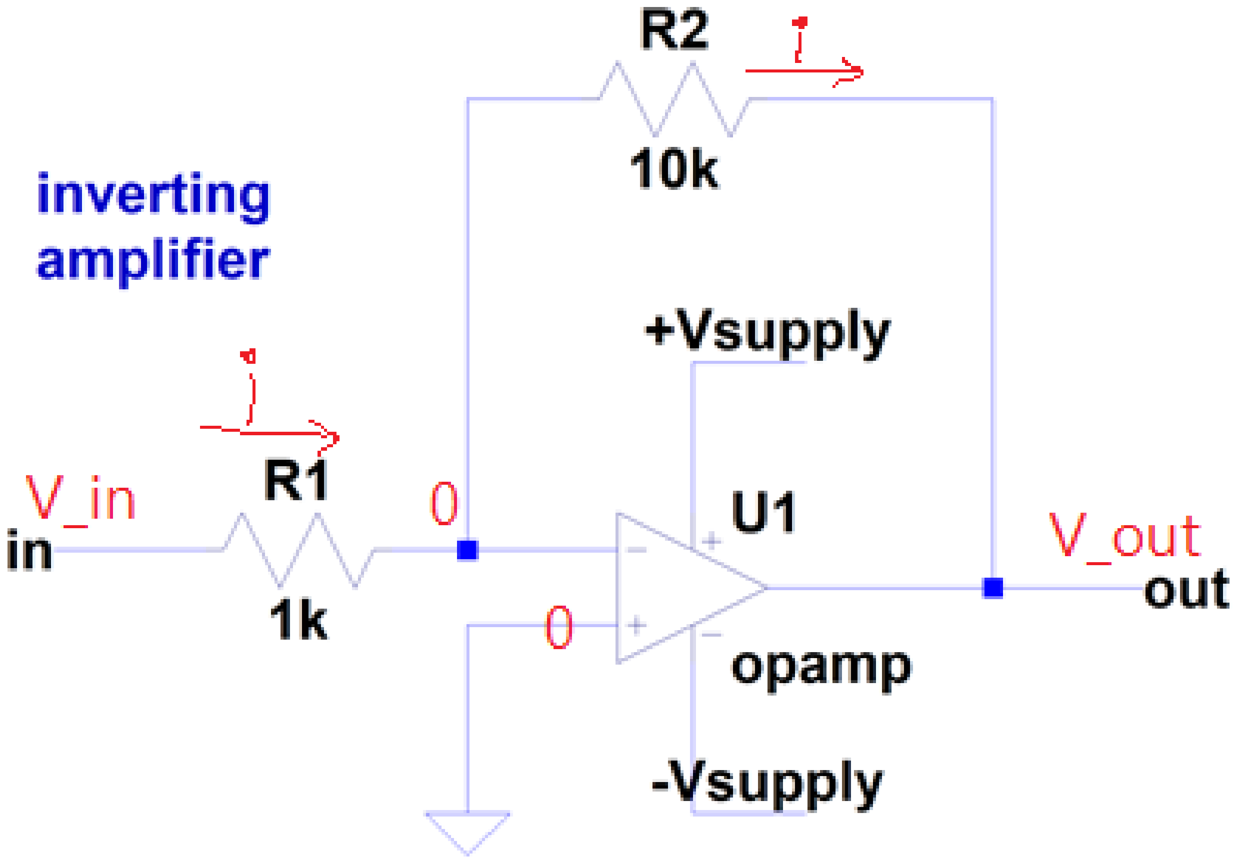
3.

v_{in} and v_{out} waveform in the same graph

黃線為輸入，藍線為輸出，經過 cursor 的標記後可以看出大致上峰對峰值放大了 10 倍，且輸出與輸入反向，與理論計算相符。

$v_{in,pp}$ (V)	$v_{out,pp}$ (V)	Measured voltage gain; A_v (V/V)	Theoretical voltage gain; A_v (V/V)
0.49	**4.98**	**10.16**	**10**

Operational Amplifier



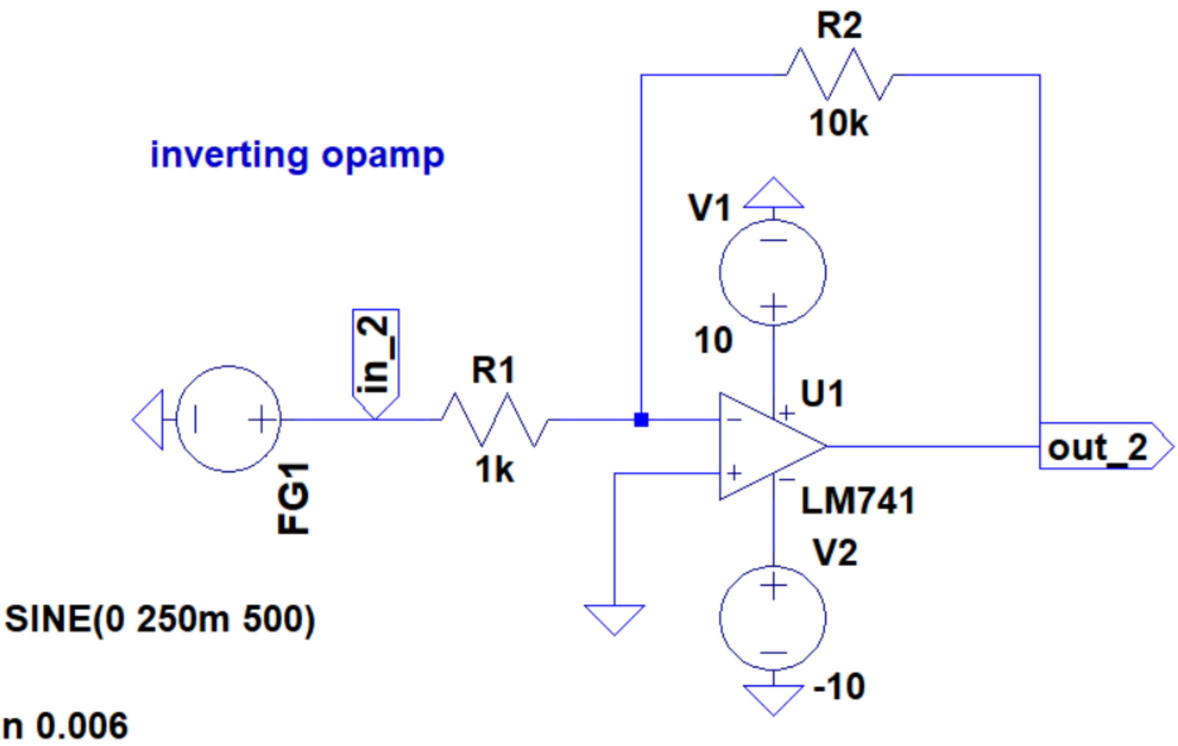
Theoretical voltage gain:

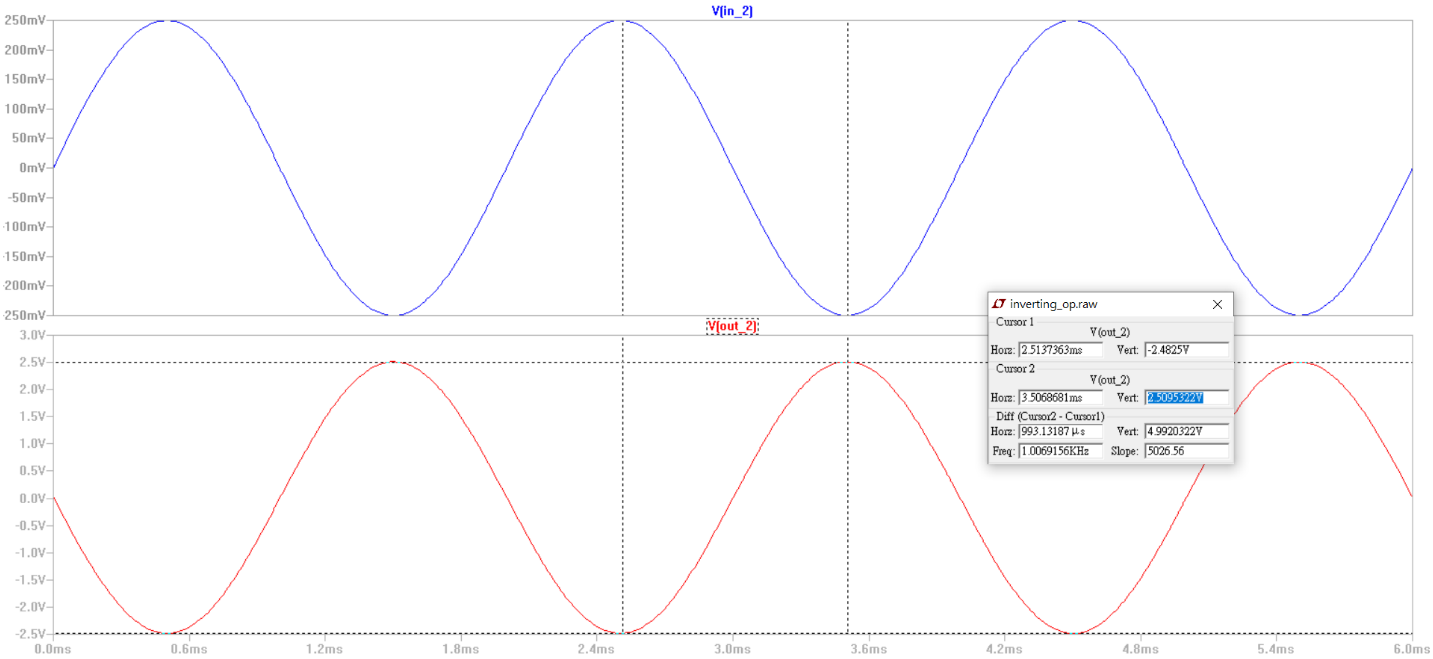
$$\frac{V_{in}-0}{R_1}=\frac{0-V_{out}}{R_2}\Rightarrow\frac{V_{out}}{V_{in}}=A=-\frac{R_2}{R_1}=-\frac{10}{1}=-10$$

Operational Amplifier

Question:

Please attach your LTSPICE simulation result. (Both schematic and waveform)

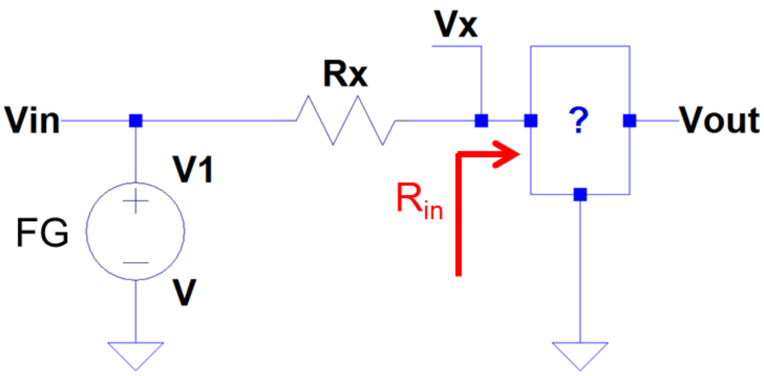




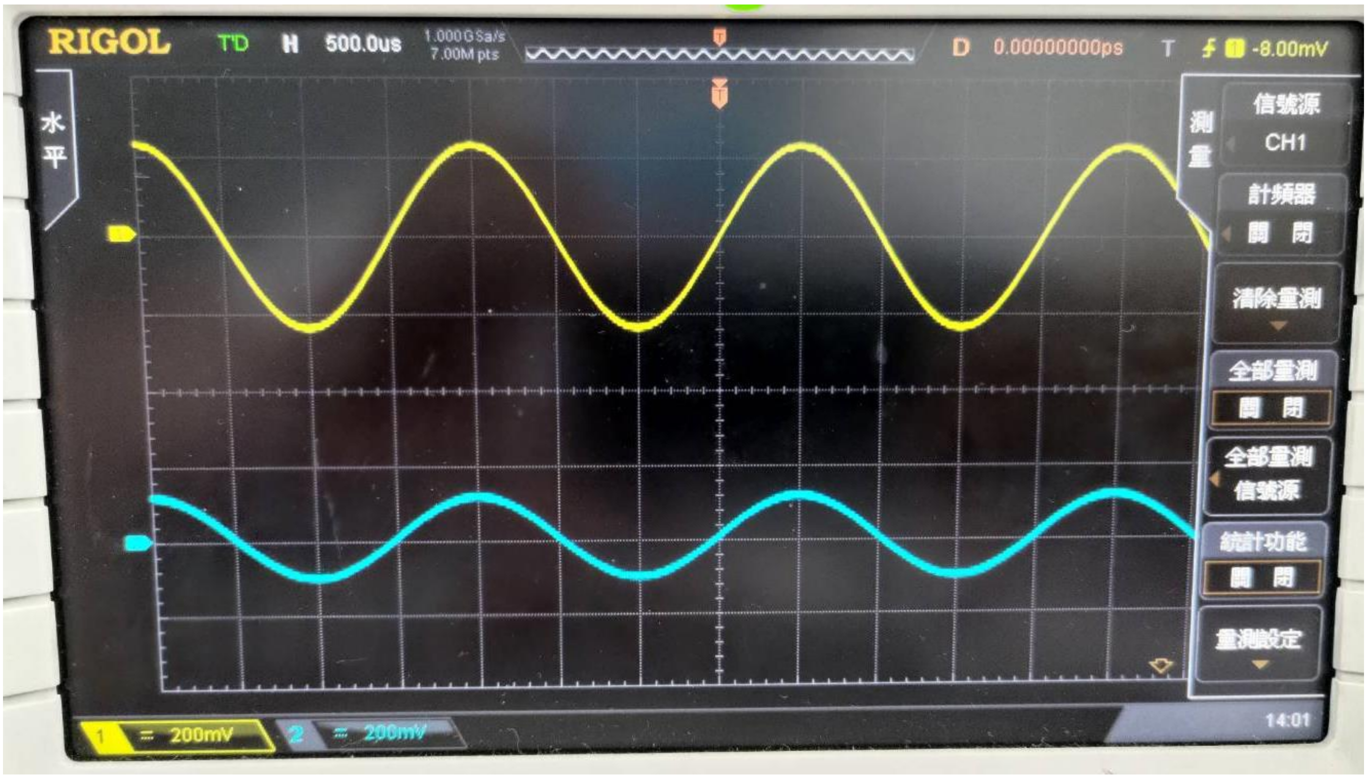
藍線為 V_{in}（$V_{pp}=500mV$），紅線為 V_{out}（$V_{pp}=4.99V$）， $A=\frac{V_{out}}{V_{in}}=\frac{4.99}{0.5}=9.98\approx 10$ ，與理論計算相同。

也可以從 waveform 中觀察到兩個波是反向的。

4.

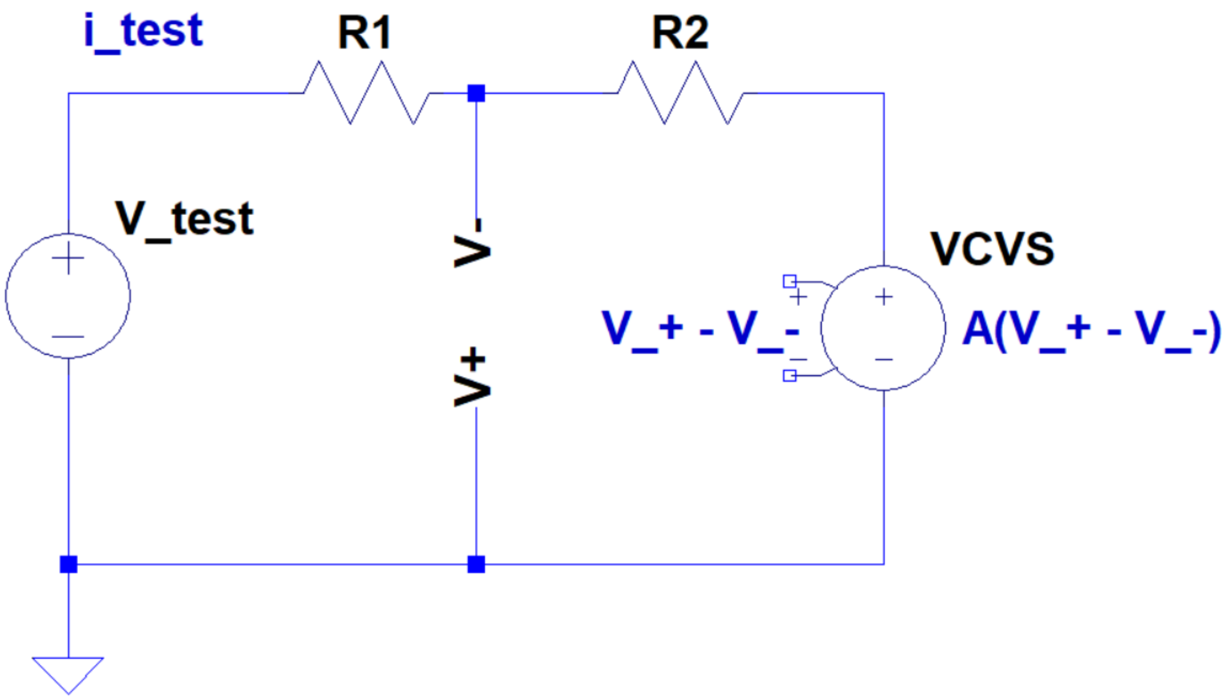


The input impedance of the inverting amplifier is __1.02k____ Ohm.



$\frac{v_x}{v_{in}} = \frac{R_{in}}{R_x + R_{in}}$，透過調整可變電阻 R_x 的值，將 $\frac{v_x}{v_{in}}$ 的峰對峰值調整為 $\frac{1}{2}$，那麼此時 $R_x = R_{in}$，反向放大器的 R_{in} 會與可變電阻的 R_x 值相同，此時透過量測可變電阻的電阻值，便可以得到反向放大器的 R_{in} 為何，透過量測後，得到 $R_x = R_{in} = 1.02k\Omega$

另外，我們也可以透過戴維寧等效電路來計算 R_{in} 為何，先將放大器展開，並接上測試電源，透過測試電源與測試電流間的關係，可以得到等效電阻值:



By KVL:

$$V_{test} - i_{test}\left(R_1 - R_2\right) - A\left(V_+ - V_-\right) = 0 \qquad \ldots(1)$$

With:

$$\begin{cases} V_+ = 0 \\ V_- = V_{test} - i_{test} R_1 \end{cases} \Rightarrow V_+ - V_- = 0 - \left(V_{test} - i_{test} R_1\right) = i_{test} R - V_{test} \qquad \ldots(2)$$

Substitute (2) into (1):

$$V_{test} - i_{test}\left(R_1 - R_2\right) - A\left(i_{test} R - V_{test}\right) = 0 \qquad \ldots(3)$$

Get R_{in}:

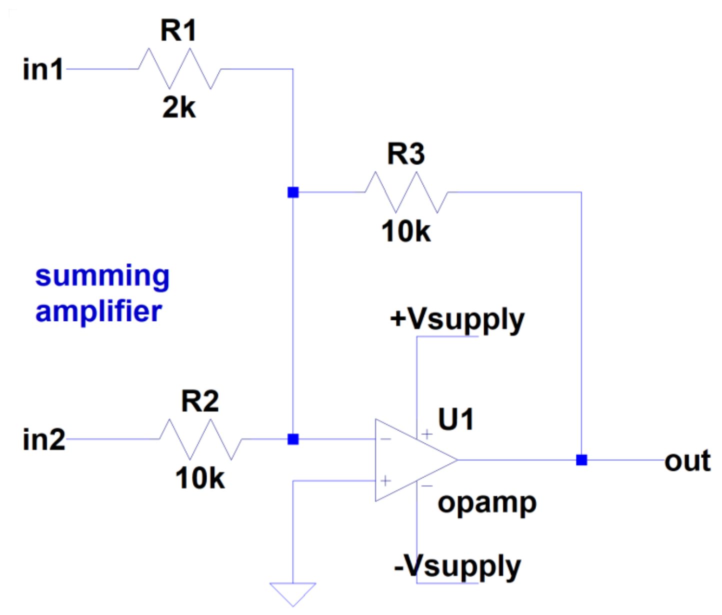
$$R_{in} = \frac{V_{test}}{i_{test}} = \frac{R_1 + R_2}{1+A} + \frac{AR_1}{1+A} \qquad \ldots(4)$$

With the condition that $A \gg R_{1,2} \gg 1$:

$$R_{in} \approx \frac{AR_1}{1+A} \approx R_1 \qquad \ldots(5)$$

Therefore, the input impedance of inverting amplifier can be roughly estimate as R_1.

Experiment 2: Weighted Adder



$v_{in1,pp}$ (V)	$v_{in2,pp}$ (V)	Measured $v_{out,pp}$ (V)	Theoretical $v_{out,pp}$ (V)
0.102	**0.304**	**0.76**	**0.8**

in1 & in2 waveform

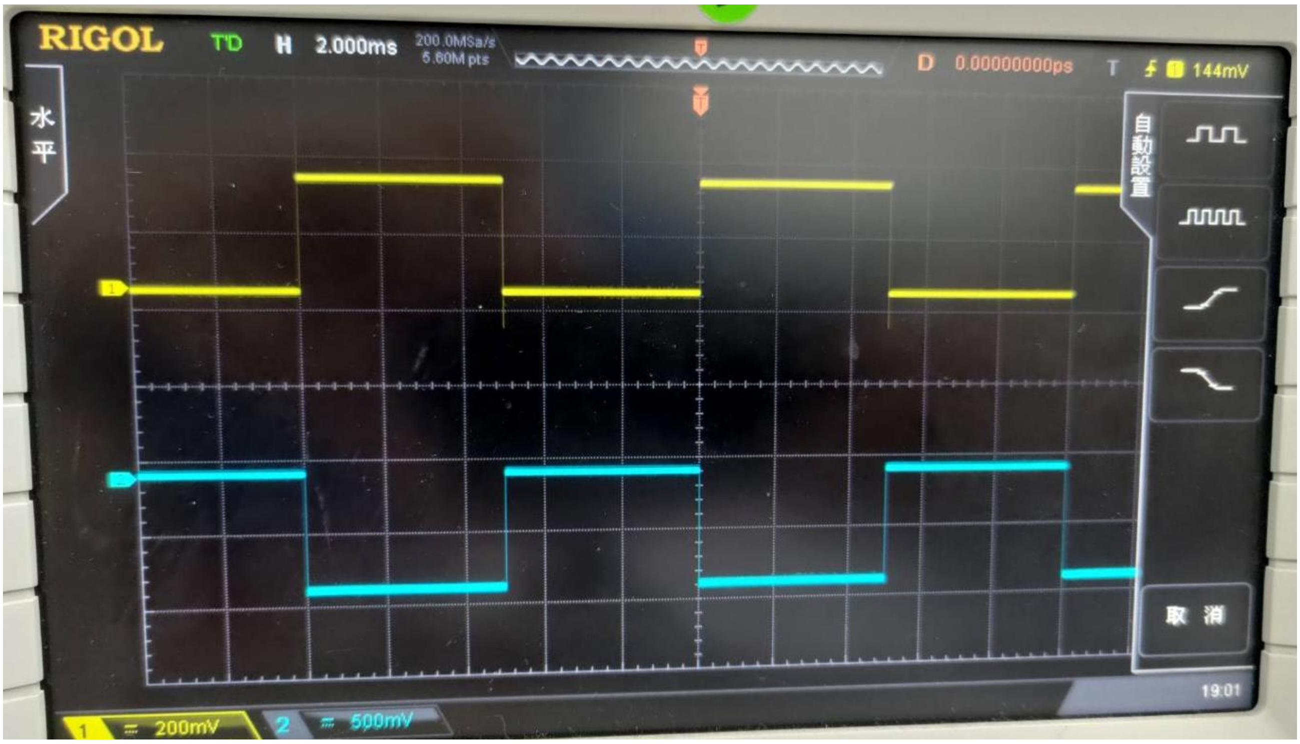
黃線為 in1，藍線為 in2，透過設定 phase align 後起始相位相同。

Operational Amplifier

in1 & out waveform

黃線為 in1，藍線為 out，觀察到這個加法器輸出與輸入為反向。

in2 & out waveform

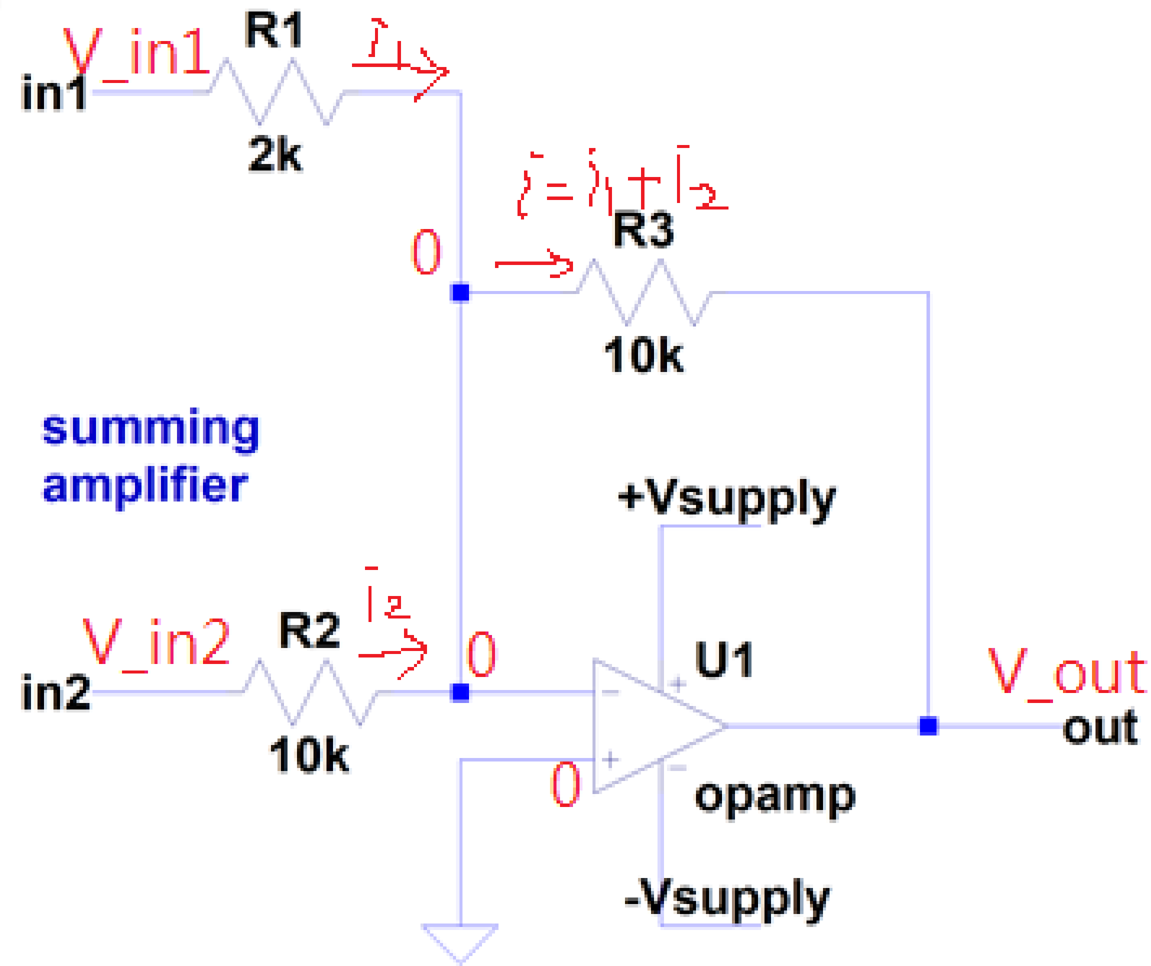


黃線為 in2，藍線為 out，觀察到這個加法器輸出與輸入為反

Operational Amplifier

Question:

Please derive the equation for v_{out}. Use symbol (v_{in1}, v_{in2}, R1, R2, R3, etc.) to represent.



The current passing through R_3:

$$i = i_1 + i_2 \qquad \ldots(1)$$

$$\begin{cases} i_1 = \dfrac{v_{in1} - 0}{R_1} \\ i_2 = \dfrac{v_{in2} - 0}{R_2} \end{cases} \qquad \ldots(2)$$

Substitute (2) into (1):

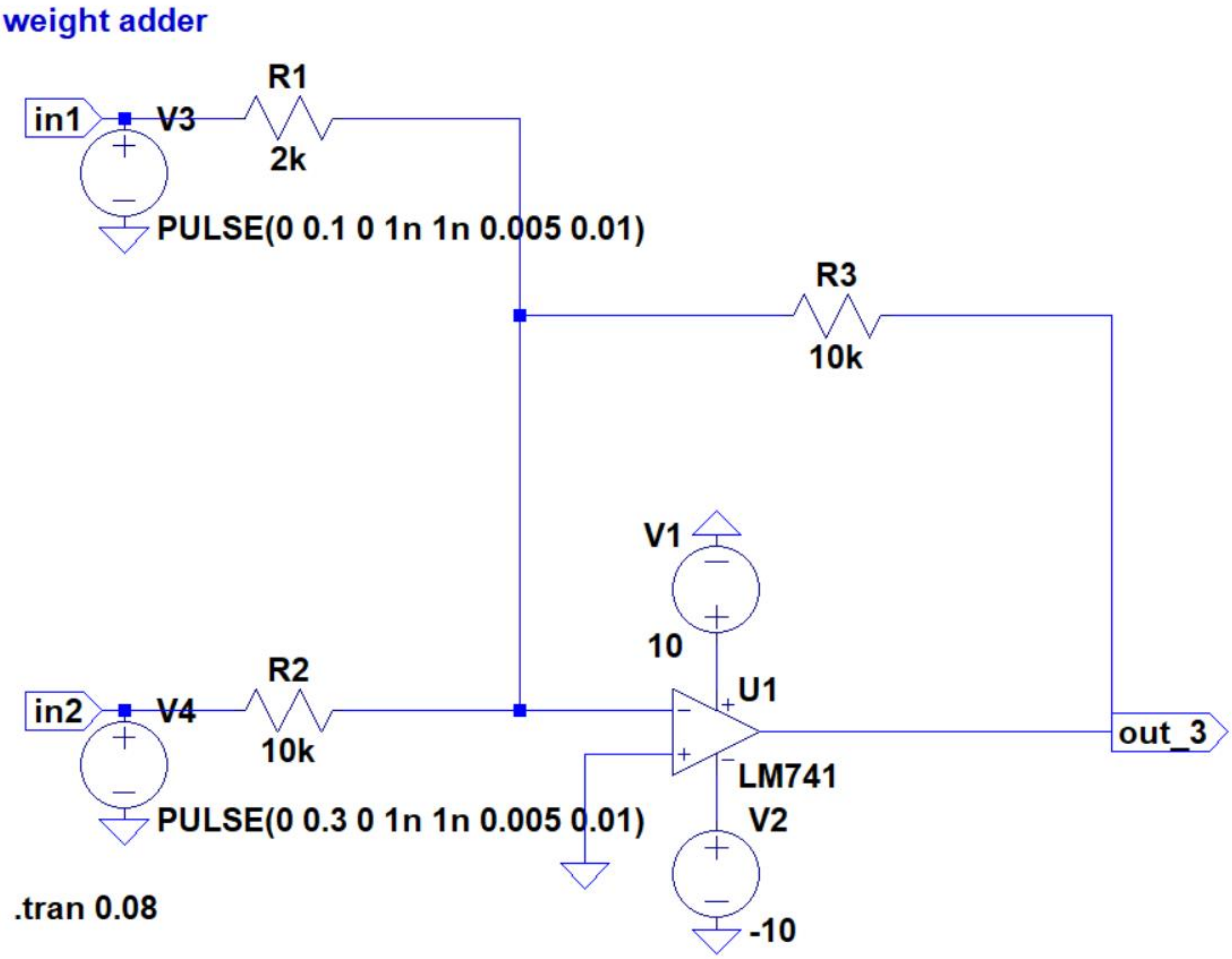
$$i = \frac{v_{in1} - 0}{R_1} + \frac{v_{in2} - 0}{R_2} = \frac{0 - v_{out}}{R_3} \qquad \ldots(3)$$

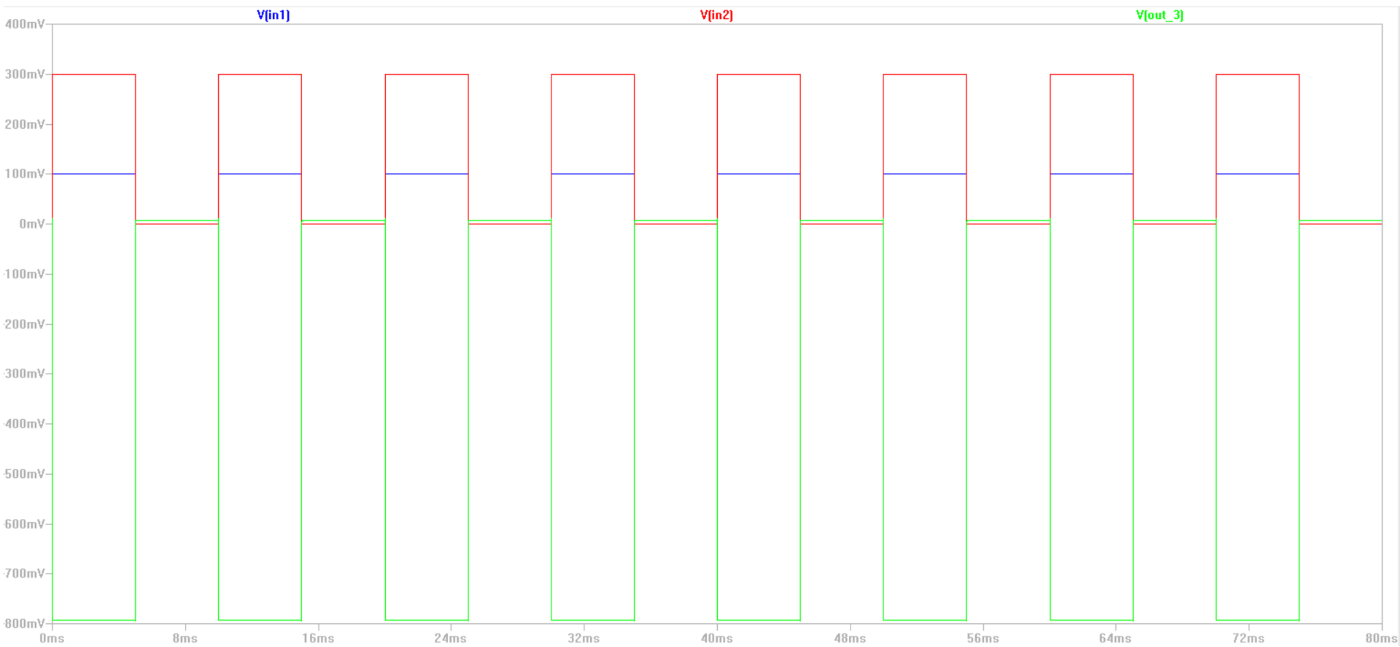
Therefore:

$$v_{out} = -R_3\left(\frac{v_{in1}}{R_1} + \frac{v_{in2}}{R_2}\right)$$

Operational Amplifier

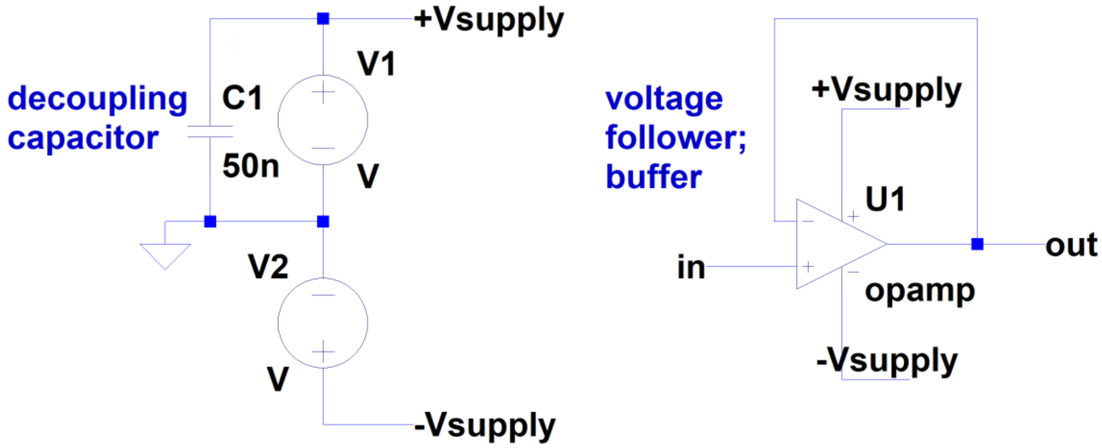
LTspice simulation for weighted adder:



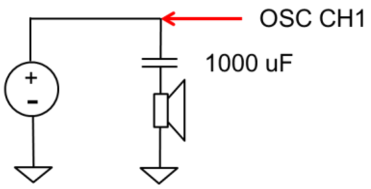


紅線為 in1，藍線為 in2，綠線為 out。可以觀察到這個權重加法器真的有把 in1 乘上 5 再加上 in2 再進行反向，確實蠻酷的。可惜這次只有做加法器，如果能夠連減法器甚至是微分器甚至積分器一起實作，一定會非常有趣。

Experiment 3: Voltage Follower



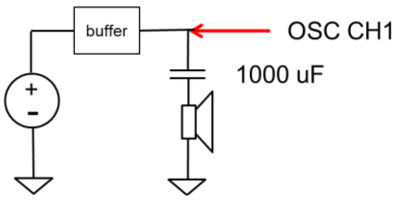
2.



waveform for FG + OSC + Speaker

Operational Amplifier

3.



waveform for FG + Buffer + OSC + Speaker

Question:

Are there any differences between these two connections?

(a) 在還沒接上 buffer 前，輸出的波型為 sine wave。但是在接上 buffer 之後，輸出的波型變成有點類似方波的波型。

(b) 在接上 buffer 之後，喇叭發出的聲響明顯大了許多，甚至讓我開始有點耳鳴的感覺。

(c) 若是要比較峰對峰值，在接上 buffer 後，可以看到在 posedge 和 negedge 都有尖端的出現，若是撇除尖端，兩者的電壓峰對峰值其實相差不多。

Can you explain the phenomena? Hint: voltage divider

若是沒有接上 buffer，那麼 OSC 所觀測到的電壓其實會是函數產生器與喇叭之間的分壓。倘若能夠接上 voltage follower，那麼便能夠像是分離了兩個 stage，讓兩個部分各自運作，維持電壓的穩定，及輸出電流的穩定，這也充分地表示了 buffer 的功用:在兩個 stage 間達到隔離的效果。