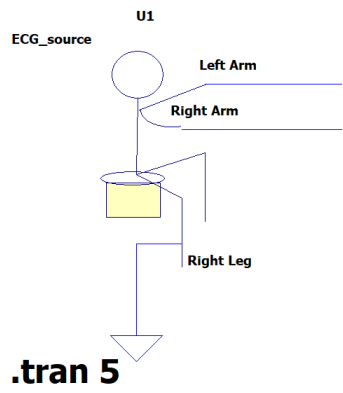


REPORT

Experiment 1: Human model observation

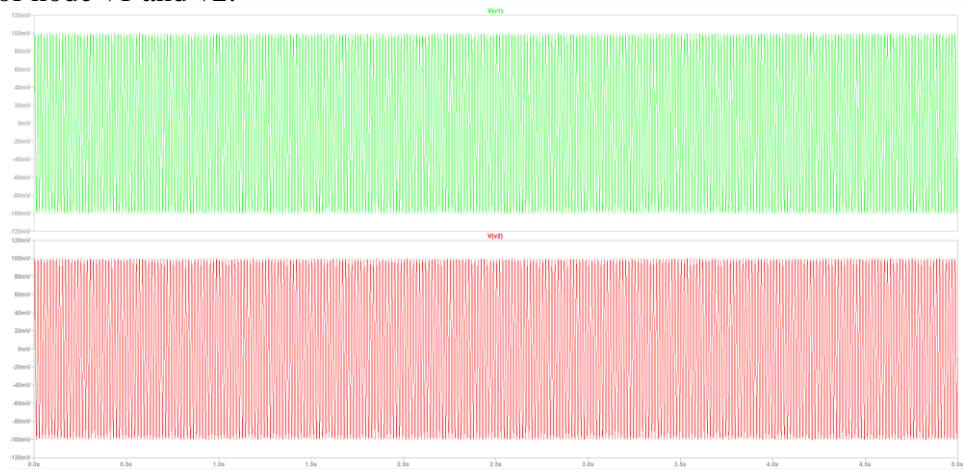
Transient analysis

SPICE simulation schematic screen capture:

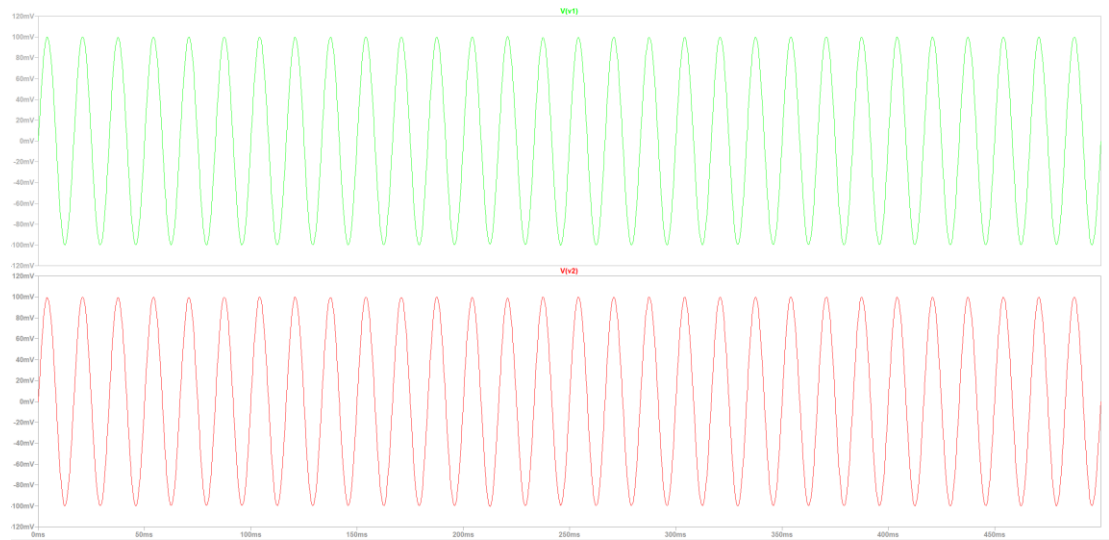


	High-level value of output voltage (mV)	Low-level value of output voltage (mV)
node v1	99.37mV	-99.26mV

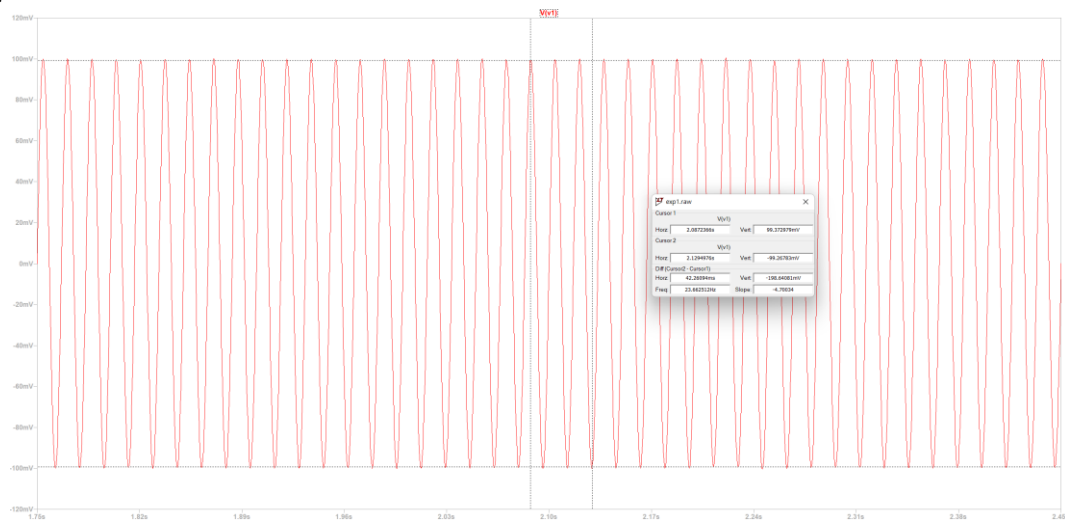
The waveforms of node v1 and v2:



Zoom in:

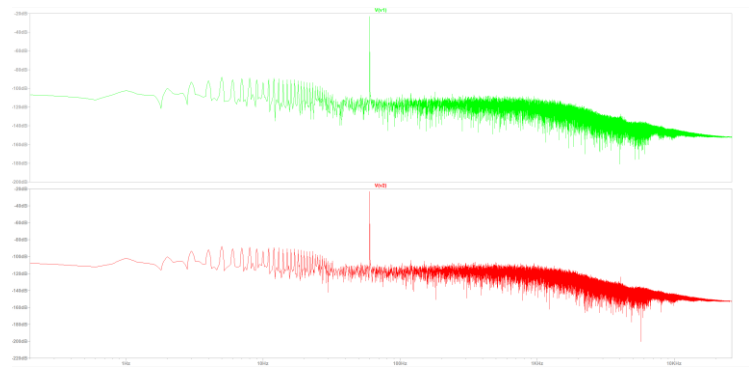


With cursor:

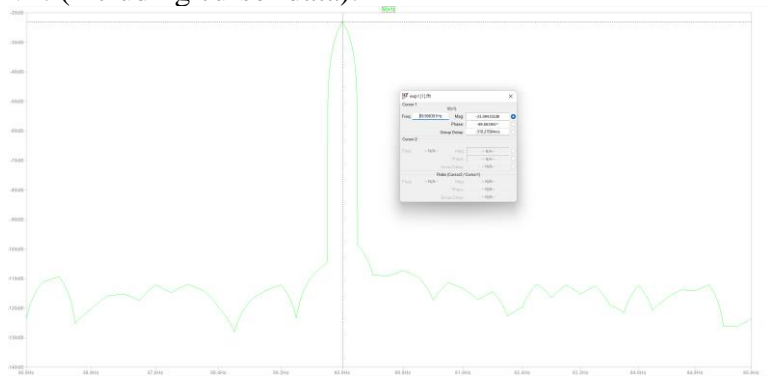


	The maximum magnitude of the waveform (dB)	The frequency of the largest signal (Hz)
Node v1	-23.30dB	59.99Hz
Node v2	-23.10dB	59.99Hz

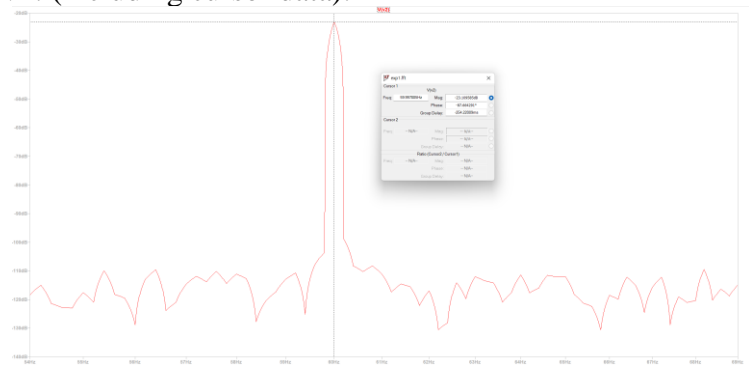
FFT on both node



The FFT results of node v1: (including cursor data):



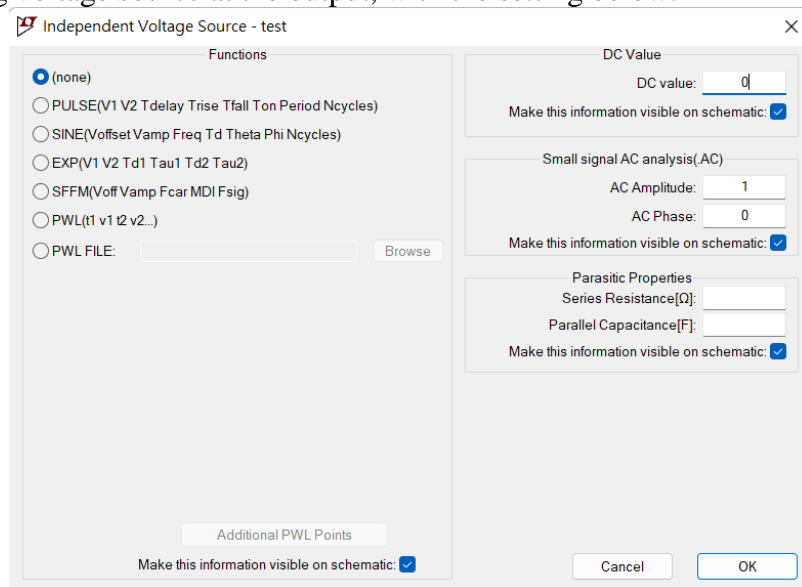
The FFT results of node v2: (including cursor data):



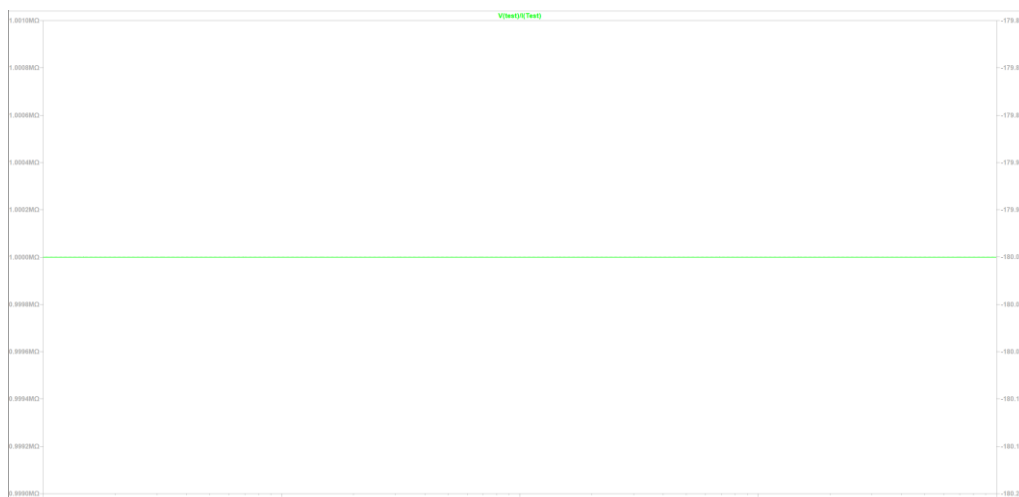
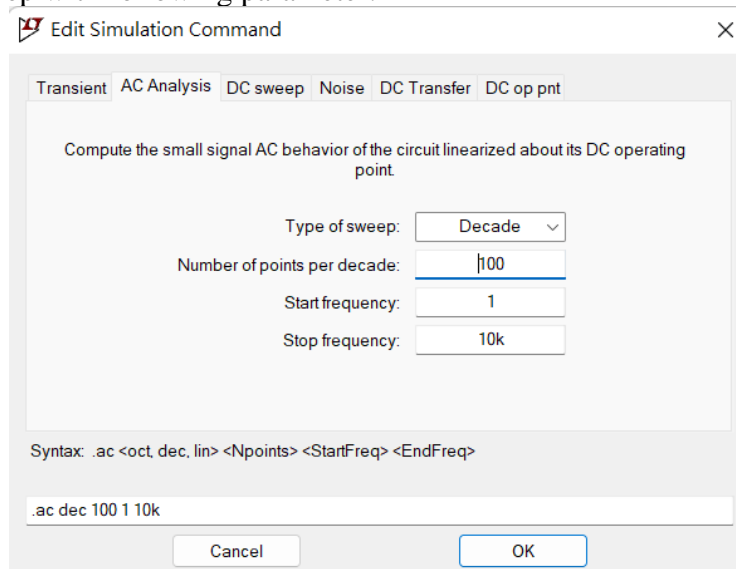
The output impedance of node v1 = 1.0000M Ohm.

The method of measuring the output impedance of the human model at node v1:

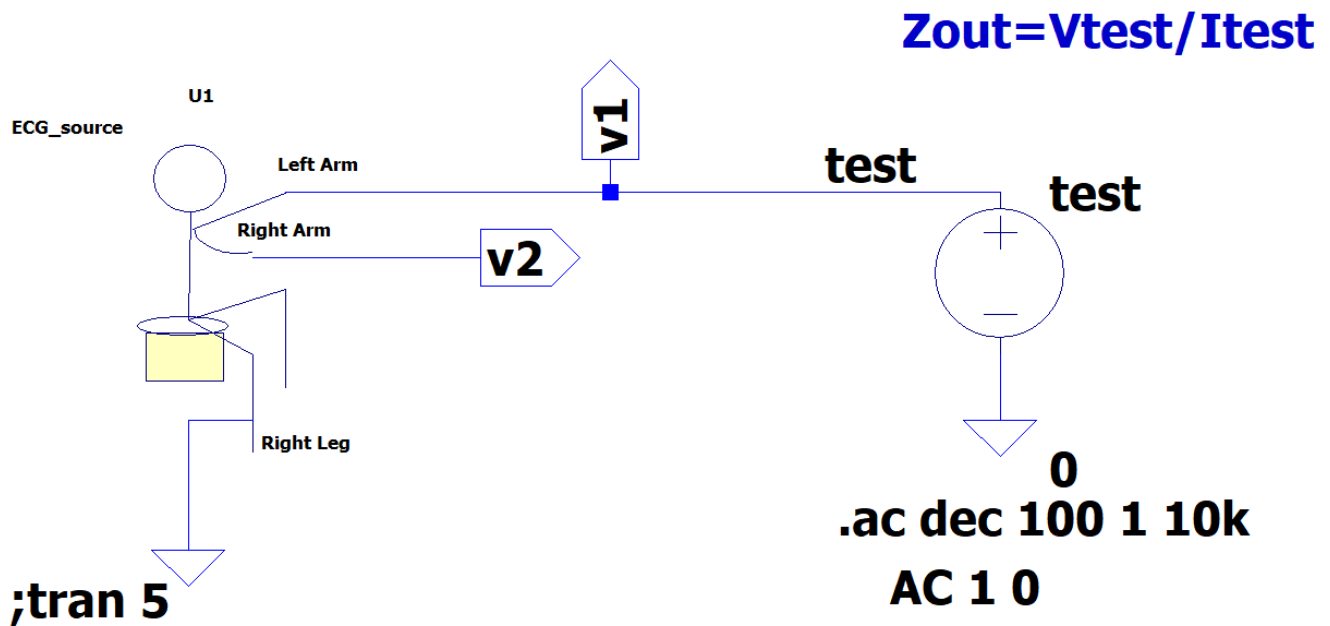
First, add a unit testing voltage source at the output, with the setting below:



Second, Perform AC sweep with following parameter:



SPICE simulation schematic screen capture:



Discussion:

```

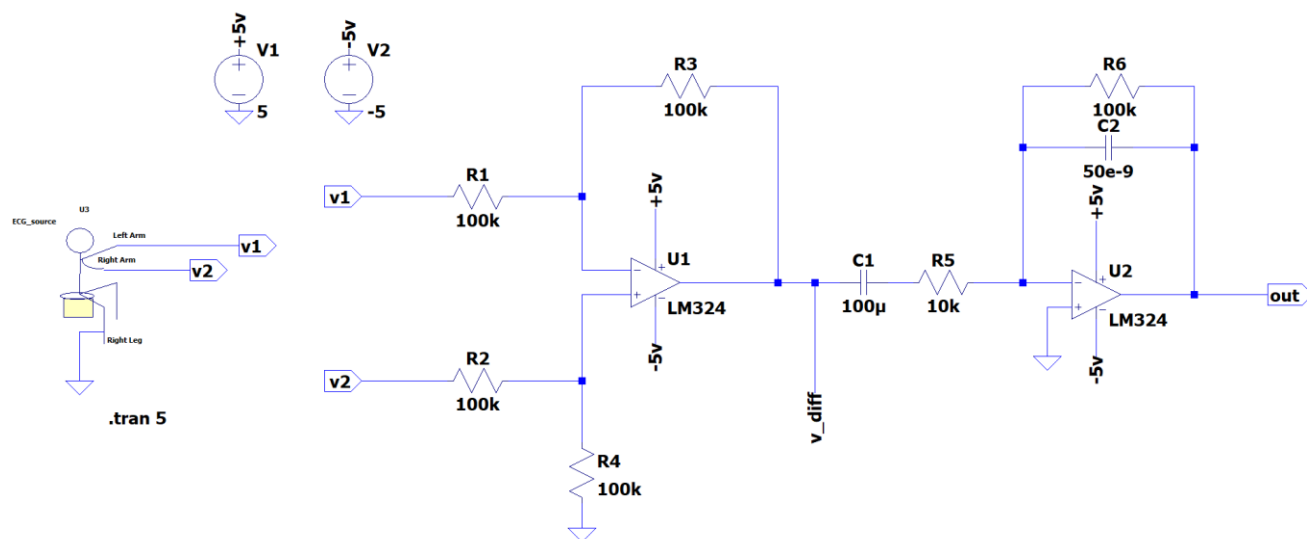
1  .SUBCKT ECG_Source      RA LA RL
2
3  R1 RA n001 1Meg
4  R2 LA n002 1Meg
5
6  V1 n001 RL wavefile="human.wav" chan=0
7  V2 n002 RL wavefile="human.wav" chan=1
8
9  .ENDS
10 *$
    
```

在進行後面的實驗前，我們應該要先了解這個人體的 model 是如何建成的，透過查閱 LTspice 的官網，可以發現在 human.sub 這個檔案中有給定這個 model 的定義。首先，可以得知，這個 model 有三個 pin，分別為 RA, LA, RL，而我想這個大概是對應到英文的 Right arm, Left arm, Right leg。接著，在第三行及第四行可以看出這邊給定 model 的 resistor 為 1Meg Ohm，與我們在上面以給定單元電壓源測試所求得的 input impedance 相符。最後，在第六行與第七行則是定義在左手及右手輸出的訊號為何。可以清楚的看到是讀取給定的 human.wav 的這個音檔，且這個音檔是一種 stereo(立體聲)的訊號，因此要再多指定從左右手輸出的訊號分別會是對應到 human.wav 這個訊號的第幾個 channel 的訊號，並且是以 Right Leg 為基準，因此我們在使用個 human model 時才會需要將左腳接地。在搞清楚我們的輸入模型後，我們對後面的實驗才能夠比較有掌握。

Experiment 2: Input ECG signal to difference amplifier with filter

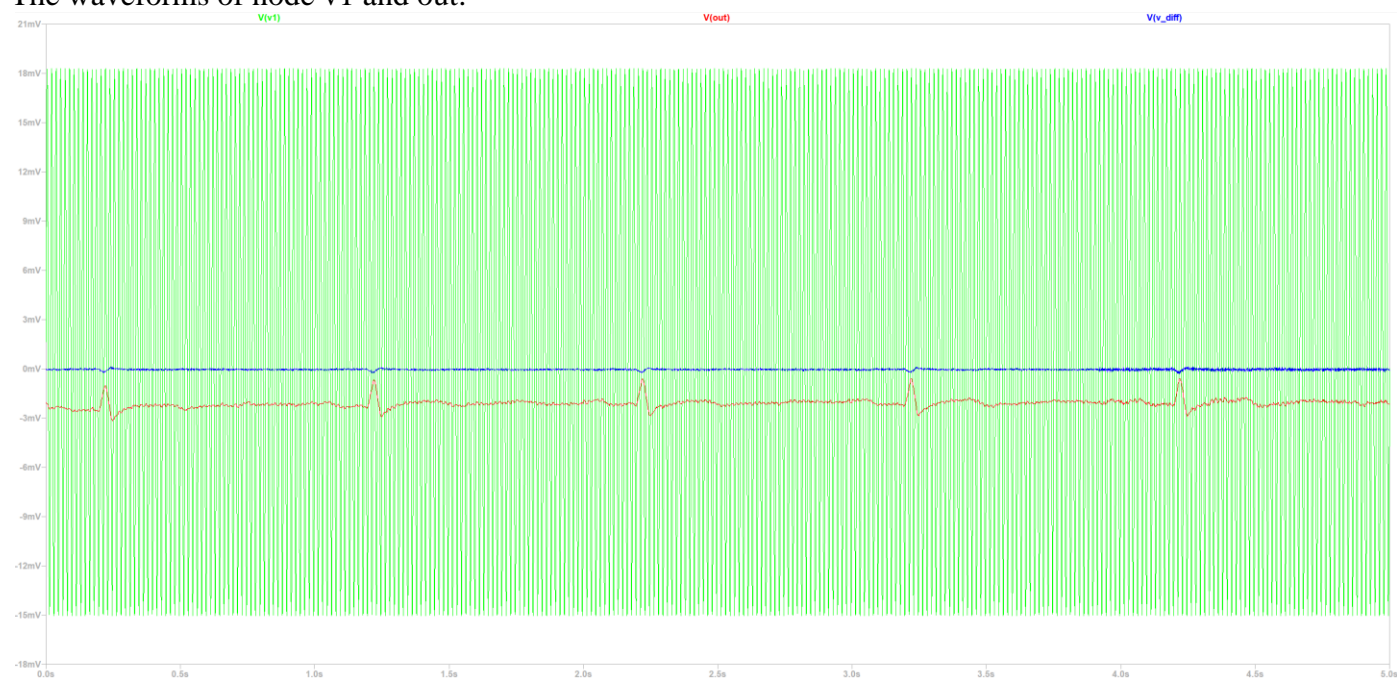
Transient analysis

SPICE simulation schematic screen capture:

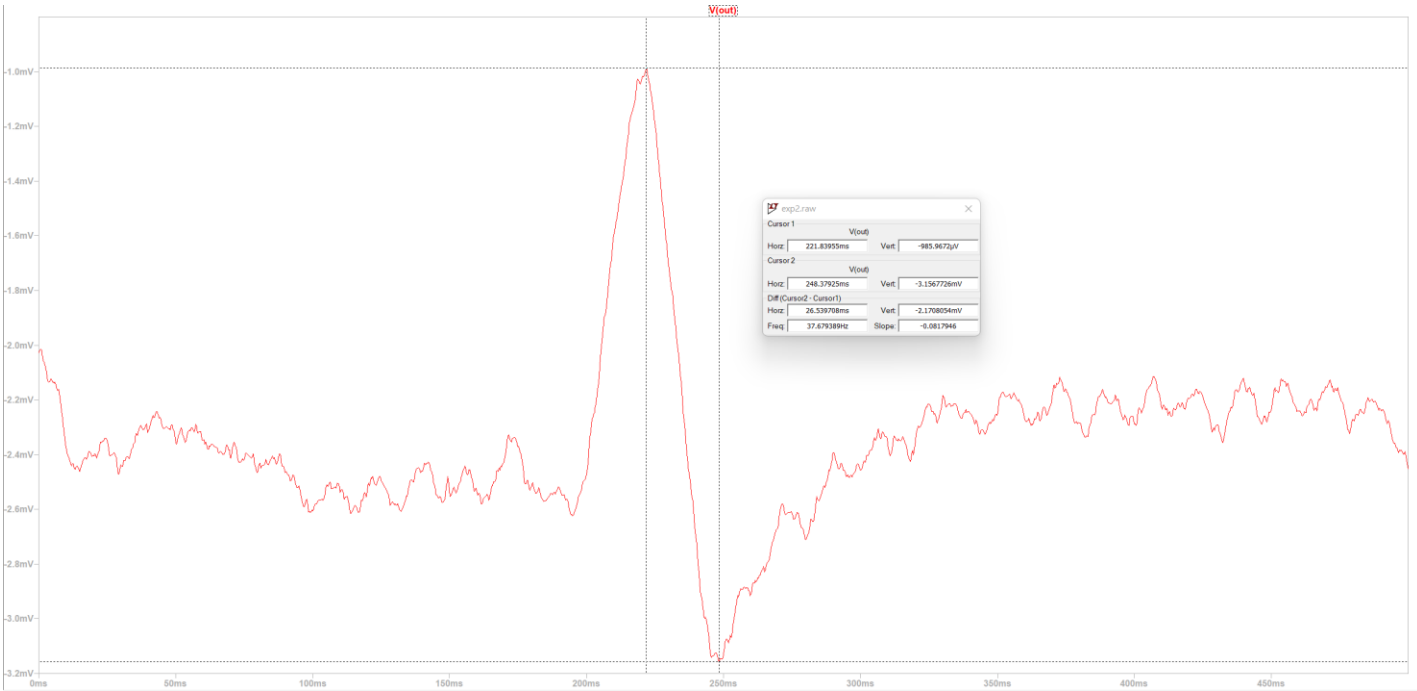


	High-level value of output voltage (mV)	Low-level value of output voltage (mV)
node v1	18.28mV	-15.02mV
node out	-0.985mV	-3.156mV

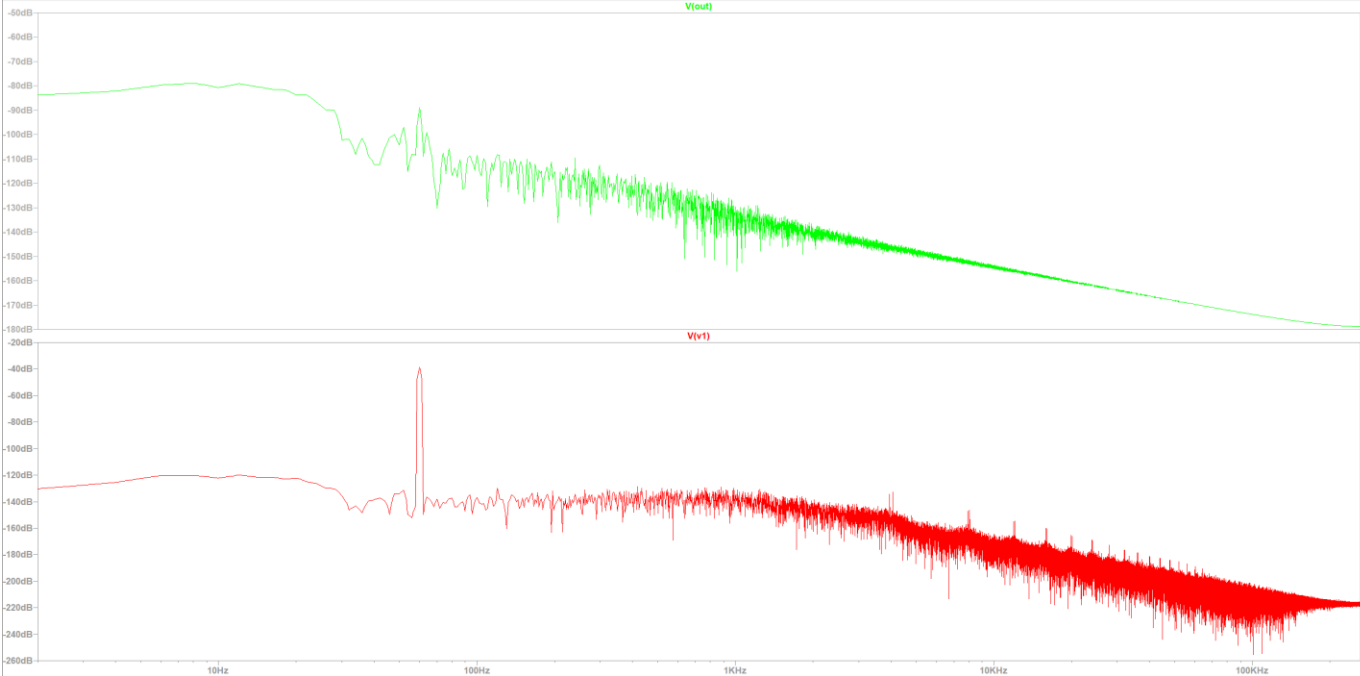
The waveforms of node v1 and out:



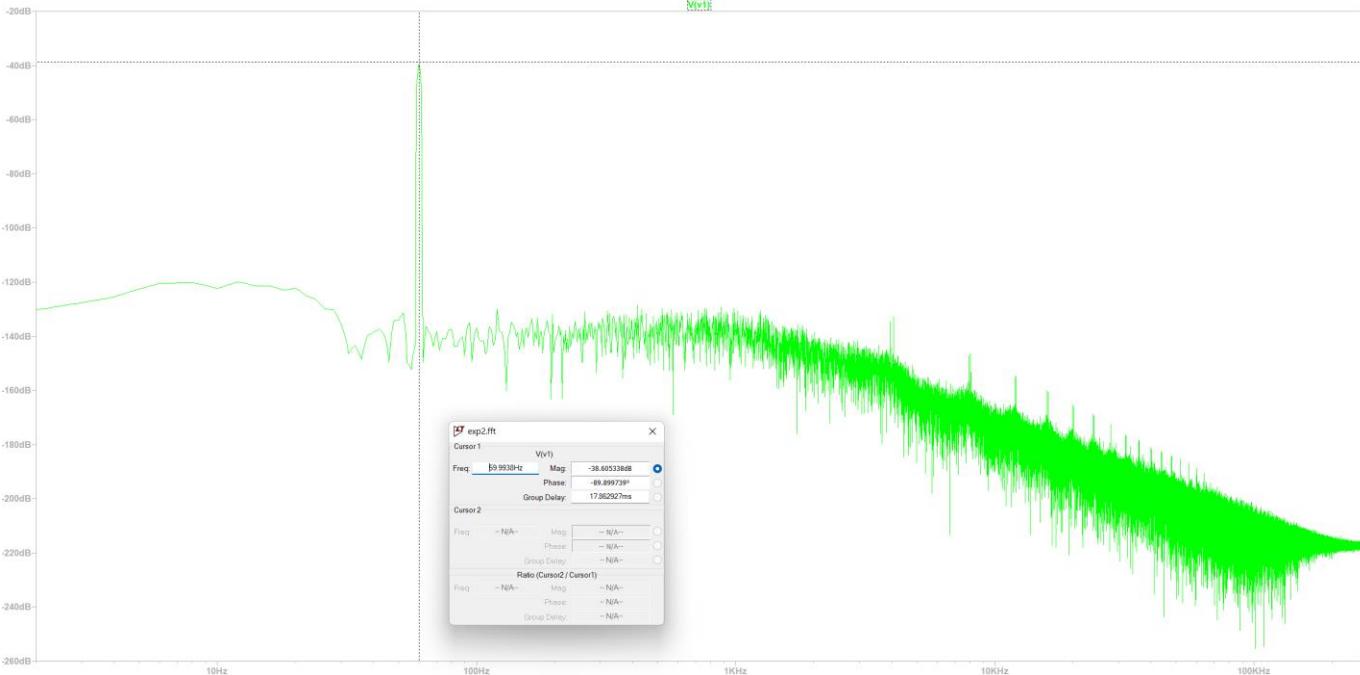
Zoom in with cursor:



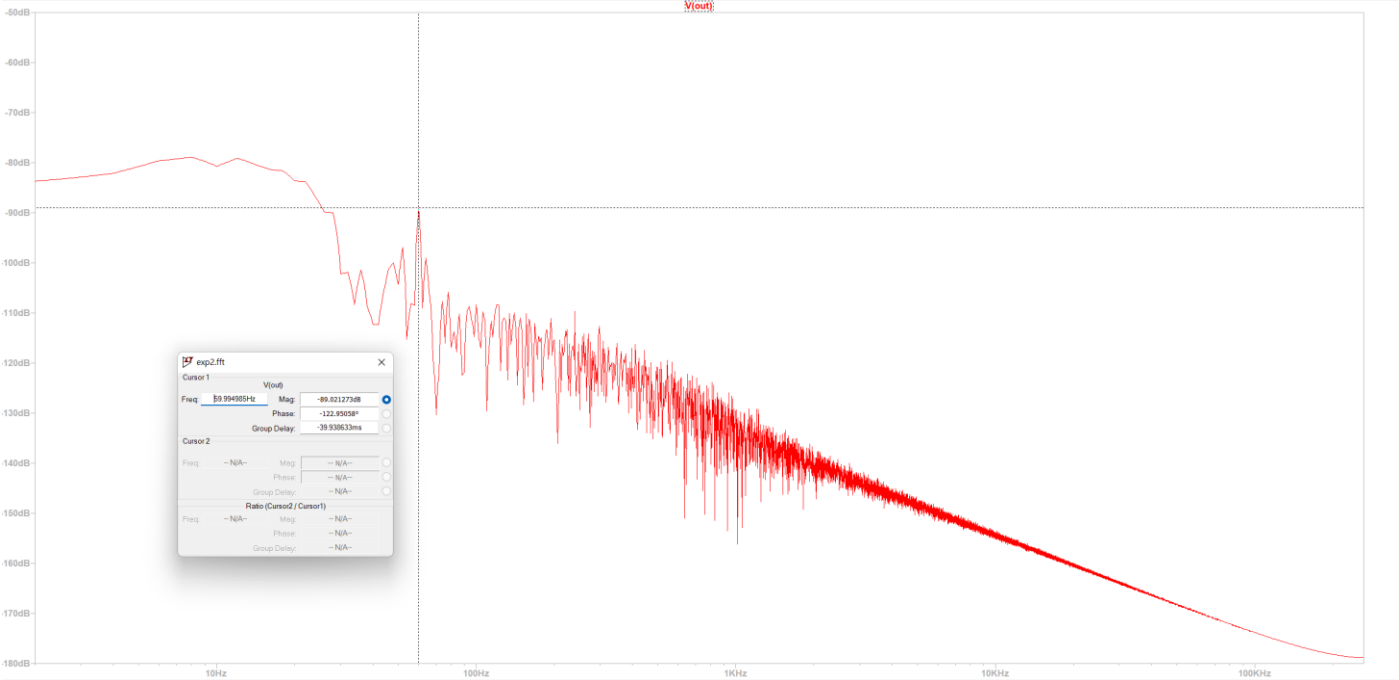
	The maximum magnitude of the waveform (dB)	The frequency of the largest signal (Hz)
Node v1	-38.60dB	59.99Hz
	The magnitude of the specified frequency (dB)	Specified frequency (Hz)
Node out	-89.21dB	60
Node diff	-102.85dB	60



The FFT results of node v1: (including cursor data):



The FFT results of node out: (including cursor data):



The FFT results of node diff: (including cursor data):



Time Domain Analysis:

在這題的電路中，我在通過第一級的減法器之後加了一個節點以觀察該減法器的行為是否如預期所式。在這當中，因為 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 100k\Omega$ ，因此 $v_{diff} = v_2 - v_1$ ，而在 Exp1 中直接觀測 v_1 及 v_2 時可以觀察到他們的 V_{pp} 幾乎一樣，而 phase difference 也約為 0° ，因此可以預期 $v_{diff} = v_2 - v_1 \approx 0V$ ，透過模擬，可以觀測到上圖的藍線的訊號非常小，與預期的相符，但是大約每經過一秒會有一個小顫動出現。

而最後，再透過一個 inverting active RC band pass filter，將頻率為 $f_{c_1} = \frac{1}{2\pi R_5 C_1} = 0.1591Hz$ 到

$f_{c_2} = \frac{1}{2\pi R_6 C_2} = 31.83Hz$ (3dB 頻寬) 的頻率過濾出來，因此並不會將 v_{diff} 1Hz 的小震動完全濾除，但是

卻可以將振動頻率更高的雜訊濾除，並且放大的 $gain = -\frac{R_6}{R_5} = -10\left(\frac{V}{V}\right)$ ，因此可以看到 V_{out} 與 v_{diff} 差

一個負號，與理論數值計算相符。而為什麼不會剛好是 10 倍呢？是因為雖然 1Hz 是在這個 band pass filter 的接收帶中，但是 frequency response 的原因，並不會剛好是乘上 1，而會小了一點，因此量測出來的結果應該會放大的比 10 倍少一點點。

Frequency Domain Analysis:

接下來，我們來分析 FFT 圖可以告訴我們的事情：

◦	The maximum magnitude of the waveform (dB) ◦	The frequency of the largest signal (Hz) ◦
Node v1 ◦	-38.60dB ◦	59.99Hz ◦
◦	The magnitude of the specified frequency (dB) ◦	Specified frequency (Hz) ◦
Node out ◦	-89.21dB ◦	60 ◦
Node diff ◦	-102.85dB ◦	60 ◦

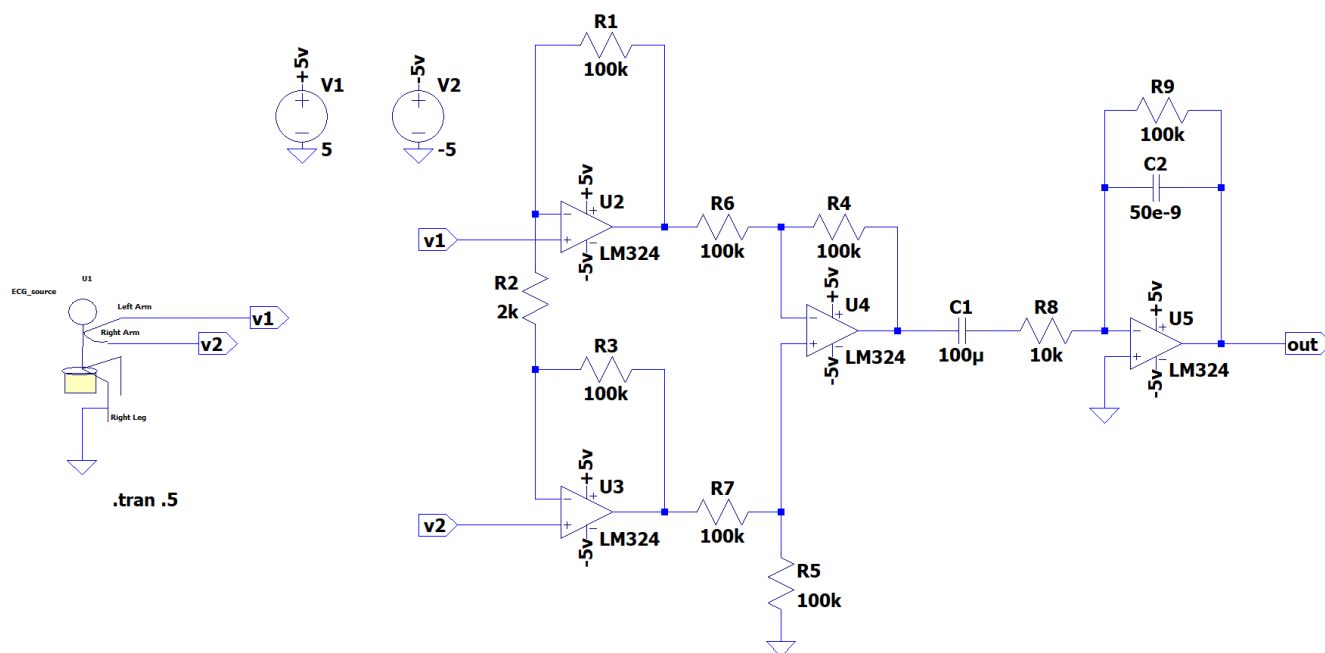
透過這張表格，我們可以清楚的知道 $v_{diff} = v_2 - v_1$ ，而 $v_1 \approx v_2$ ，因此相較下 v_{diff} 去做 FFT 之後得到的數值就會小非常多，可以看到他比原始訊號少了 64dB 為 $-102.85dB$ ，而最後的輸出大小應該為 v_{diff} 轉到頻譜之後乘上最後一級 inverting band pass filter 的 frequency response 之後再轉回 time domain 再乘上 gain 為 -10 ，而可以發現的是 60Hz 是在這個 band pass filter 外面的部分，因此在乘上 frequency response 時，會被削掉一部份，但是又因為是一個 active band pass filter 又在將其放大 10 倍，因此可以看出假如 v_{diff} 是不考慮 frequency response 直接放大 10 倍為 v_{out} 的話，則

$v_{out} = -102.85dB + 20\log_{10}(10) = -82.85dB$ ，與實際上量測的相差了 6.36dB，因此可以推得這 6.36dB 的來源是最後一級 filter 的 frequency response 所致。

Experiment 3: Input ECG signal to instrumentation amplifier with filter

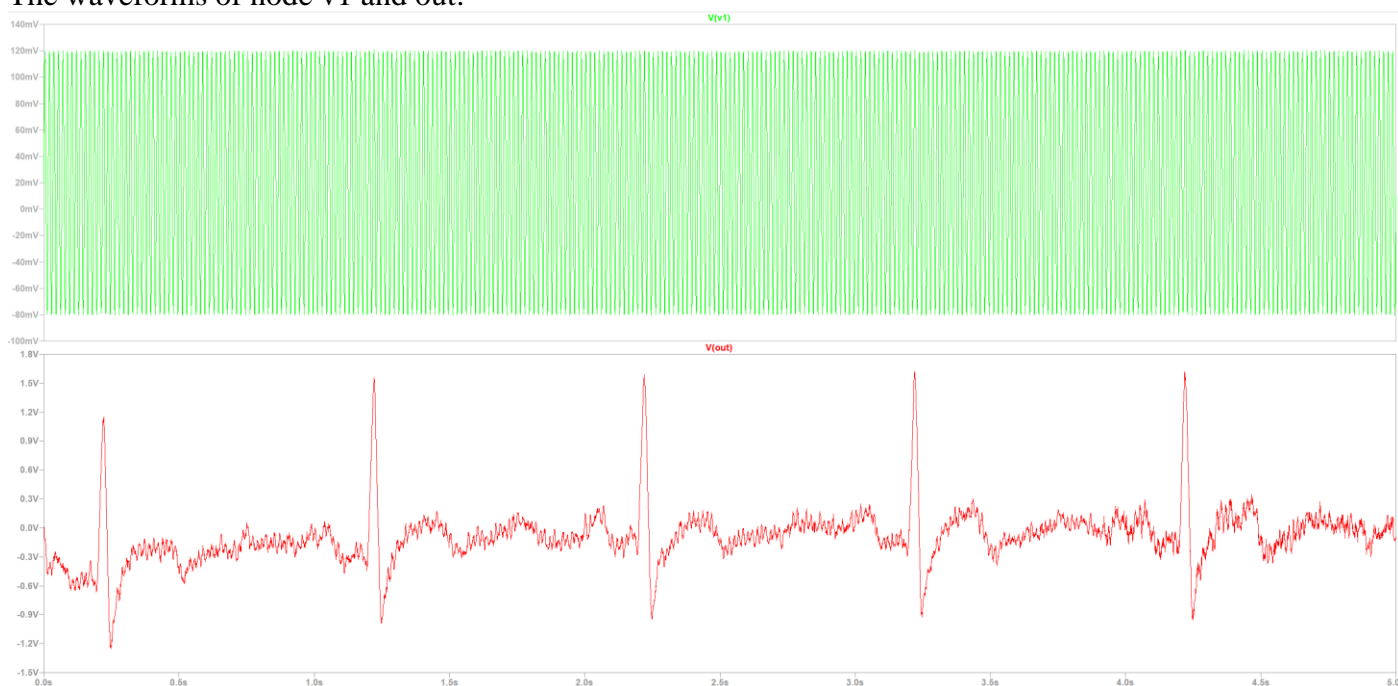
Transient analysis

SPICE simulation schematic screen capture:



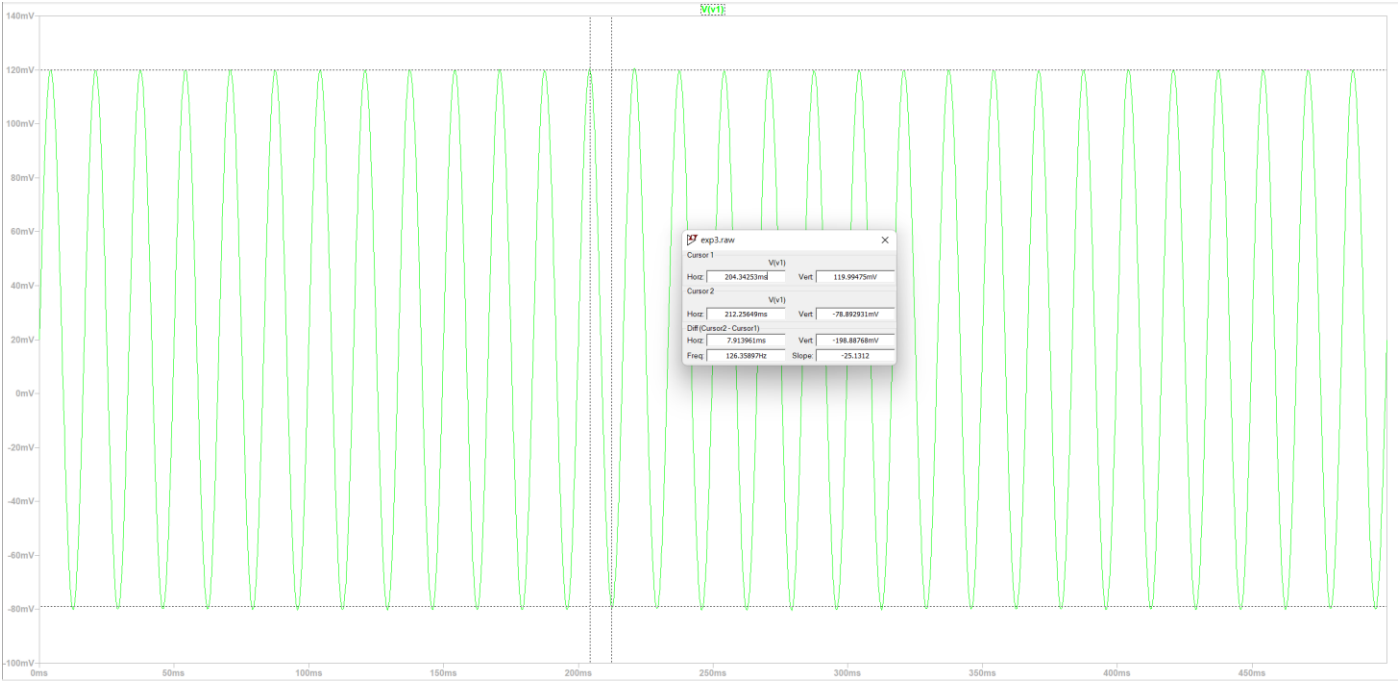
	High-level value of output voltage (mV)	Low-level value of output voltage (mV)
node v1	119.99mV	-78.89mV
node out	1152.39mV	-1243.02mV

The waveforms of node v1 and out:

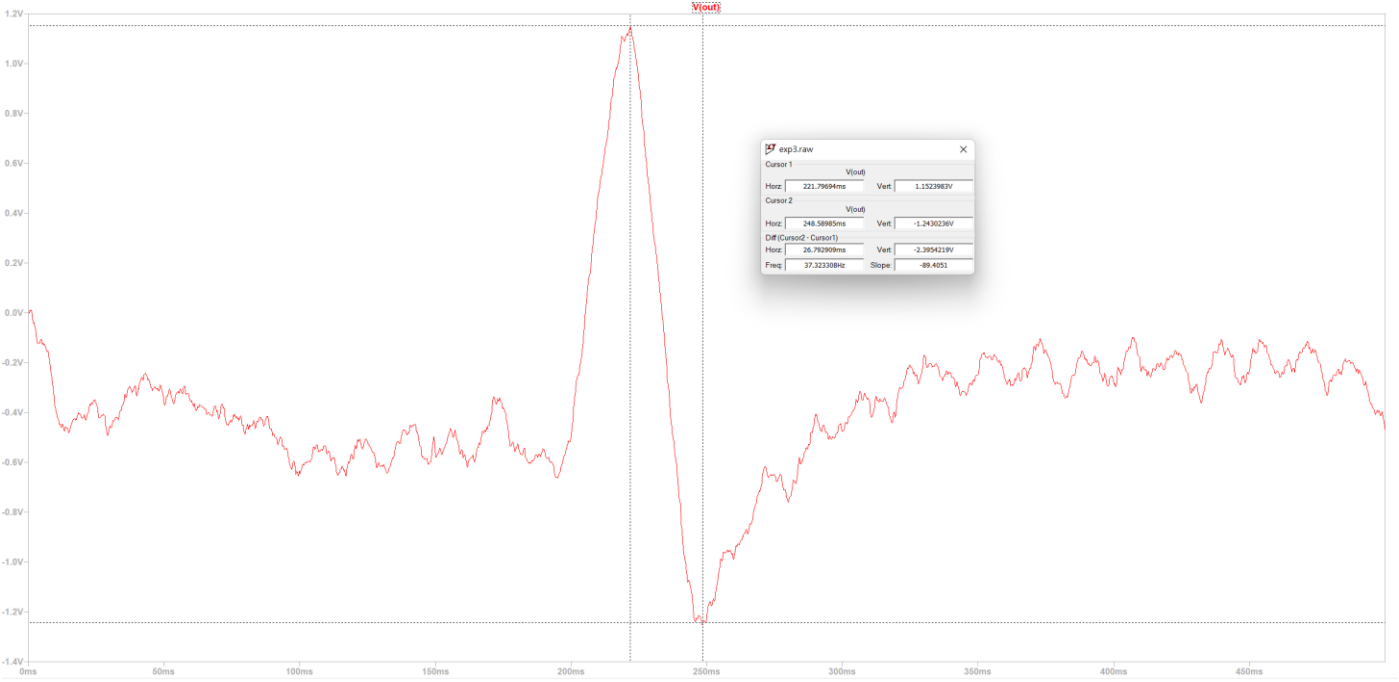


Zoom in with cursor

The waveforms of node v1



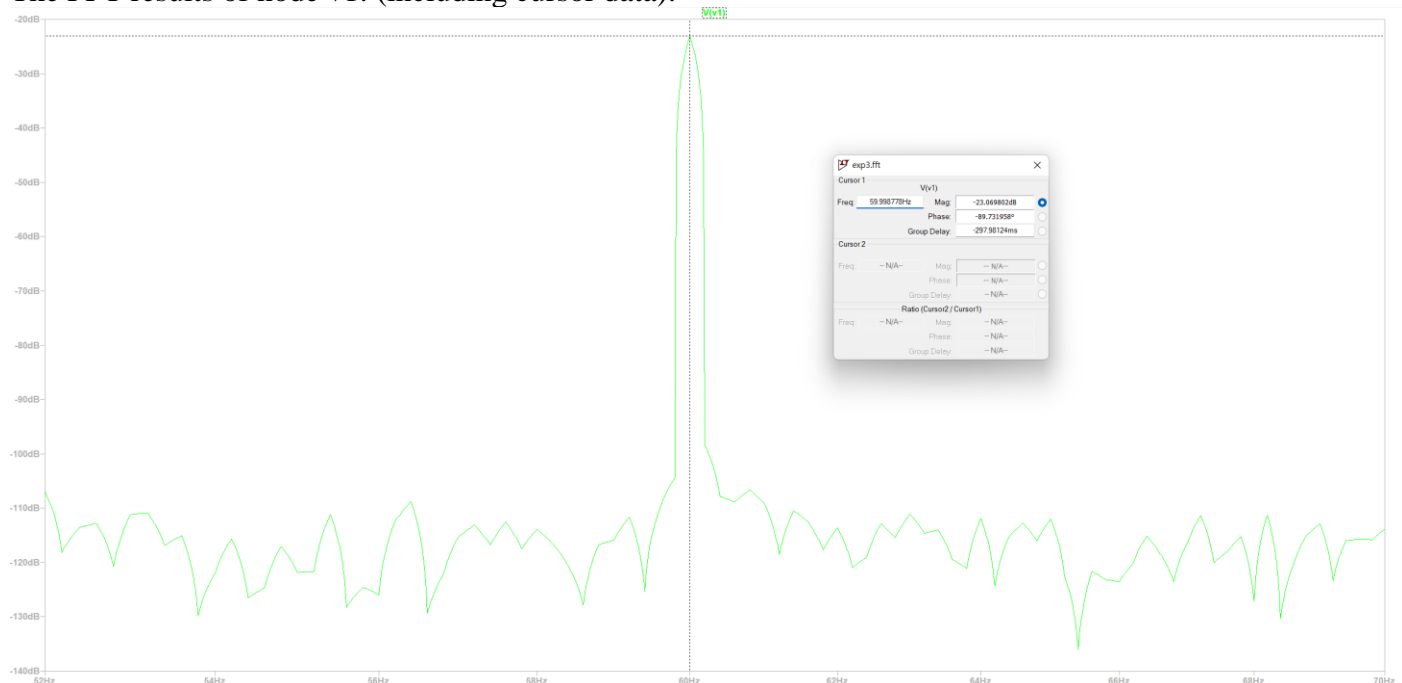
The waveforms of node vout



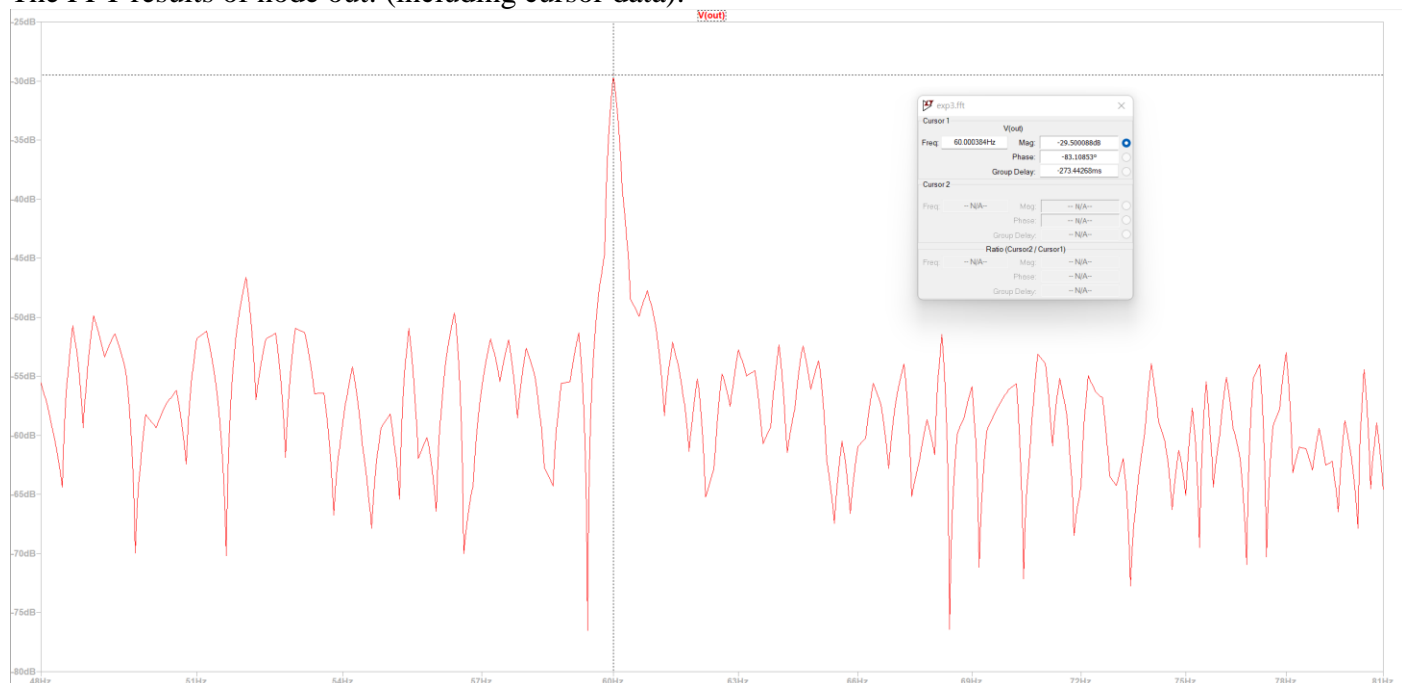
Electrocardiography (ECG) (LFH ver.)Final Project

	The maximum magnitude of the waveform (dB)	The frequency of the largest signal (Hz)
Node v1	-23.06dB	59.99Hz
	The magnitude of the specified frequency (dB)	Specified frequency (Hz)
Node out	-29.50dB	60

The FFT results of node v1: (including cursor data):



The FFT results of node out: (including cursor data):



Question:

What is the difference between the result of exp2 and exp3?

Can you explain the reason that causes the difference?

在 exp2 中，因為是將 v_{diff} 這個很小的訊號放大不到 10 倍就在觀察，因此訊號非常的小會導致觀察不易，在 exp3 中，在減法器後面又接了一個 Instrumentation Amplifier 來放大相減之後的訊號，可以得到要被送進最後一級 filter 的訊號應該為： $v_{out} = \frac{R_4}{R_6} \left(1 + \frac{2R_1}{R_2} \right) (v_2 - v_1) = 51(v_2 - v_1)$ ，因此訊號放大許多，也比較容易觀察。

Discussion:

透過在減法器之後在接上一個 Instrumentation Amplifier 之後，便可以將原本很小的訊號放大許多，從 FFT 上也可以看到 v_{out} 倍放大到與原本輸入訊號量級差不多了，因此在測量上便會清楚許多。

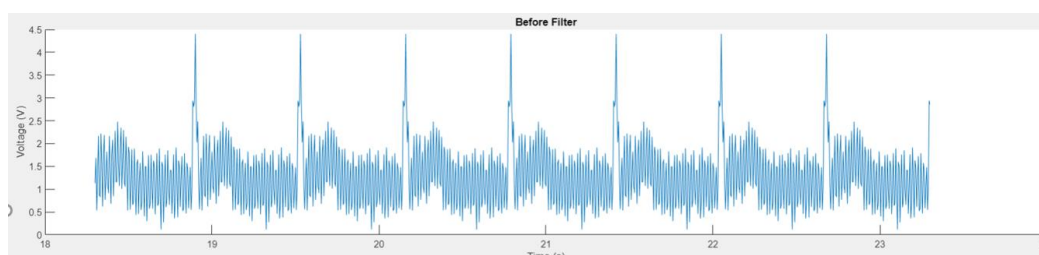
Optional AD2 + Arduino with different order filter

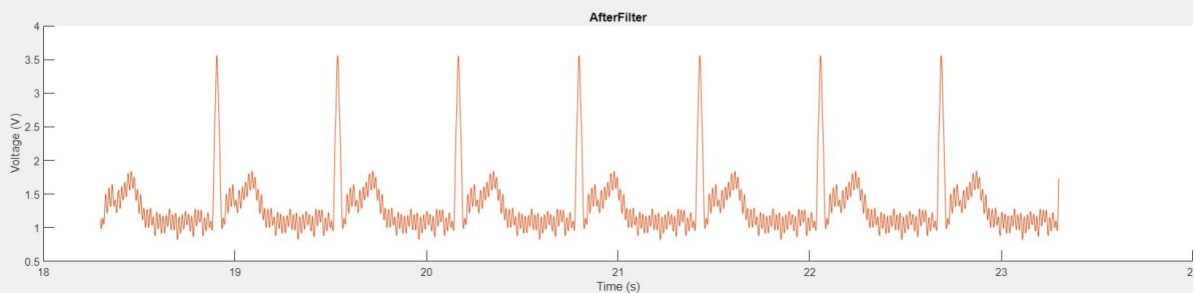

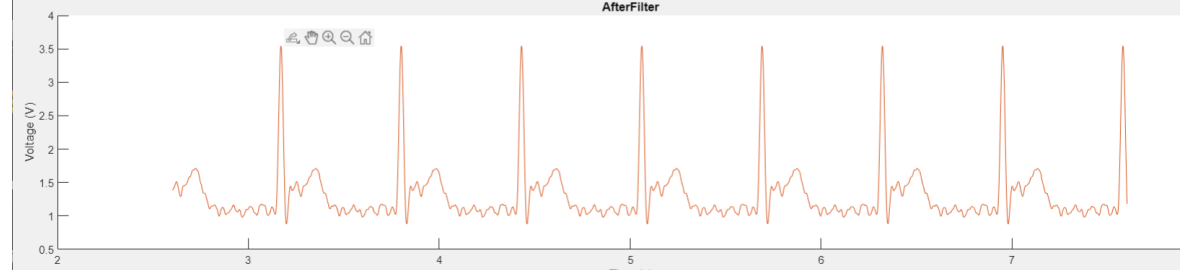
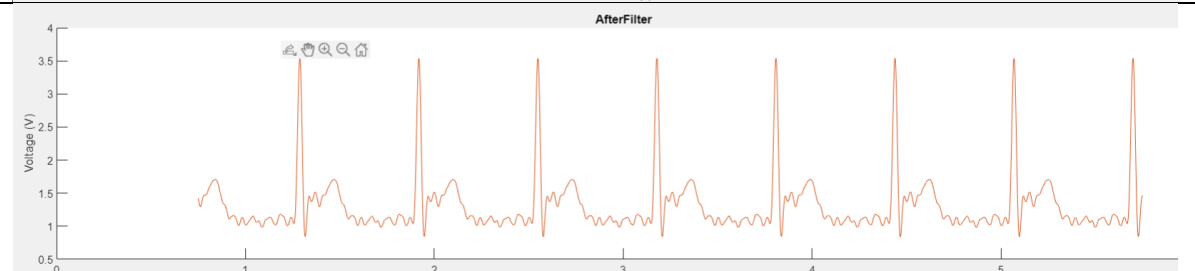

使用 AD2 讀取訊號，將訊號傳送至麵包版上的電路，並將輸出接到 Arduino 後，經過電腦做數位訊號處理。

輸入的訊號 v_1 及 v_2 :



經過麵包板的電路但是尚未經過電腦的數位訊號處理前的訊號:



Order	
2	
4	
6	
8	
10	

透過 Matlab 進行數位訊號處理之後可以發現使用不同階數的 filter 可以發現當 order 越高，經過 filter 之後的訊號就越圓滑，也少掉了那些毛毛的高頻項，若是在這樣的情況下分析心店圖訊號應該是相當不錯的，但是也要注意在設計 filter 時，並不能認為 order 越高就越好，在更高 order 時，除了計算量變大許多，更有可能造成訊號因為過度圓滑而導致失真而無法判讀的問題，因此在做訊號處理時應該要選擇適當 order 的 filter。

心得:

就這樣，最後一次的電子實驗終於結束了，非常感謝我的夥伴及各位助教們。因為我這學期排課的原因，無法上到電子學，因此遇到這些對我來說沒見過且複雜的電路大多都是上網查或是翻閱 Sedra Smith，但常常仍然無法搞清楚這些電路在幹嘛，非常感謝每當我去詢問助教時，助教都會耐心的分析電路的原因給我聽，讓我對每個實驗做出來的結果都大略可以搞清楚他們的原理是甚麼，為甚麼是這樣運作的。也非常感謝我的夥伴，雖然我們常常因為未知的因素或是氣場因素導致實驗做的蠻久的，但是我們最後都互相幫忙，一起把詭異的電路修正出來。

附圖為在做這次 LTspice 覺得很好笑的接線，直接把人的手接到放大器上，意外的可愛，跟助教分享！

