

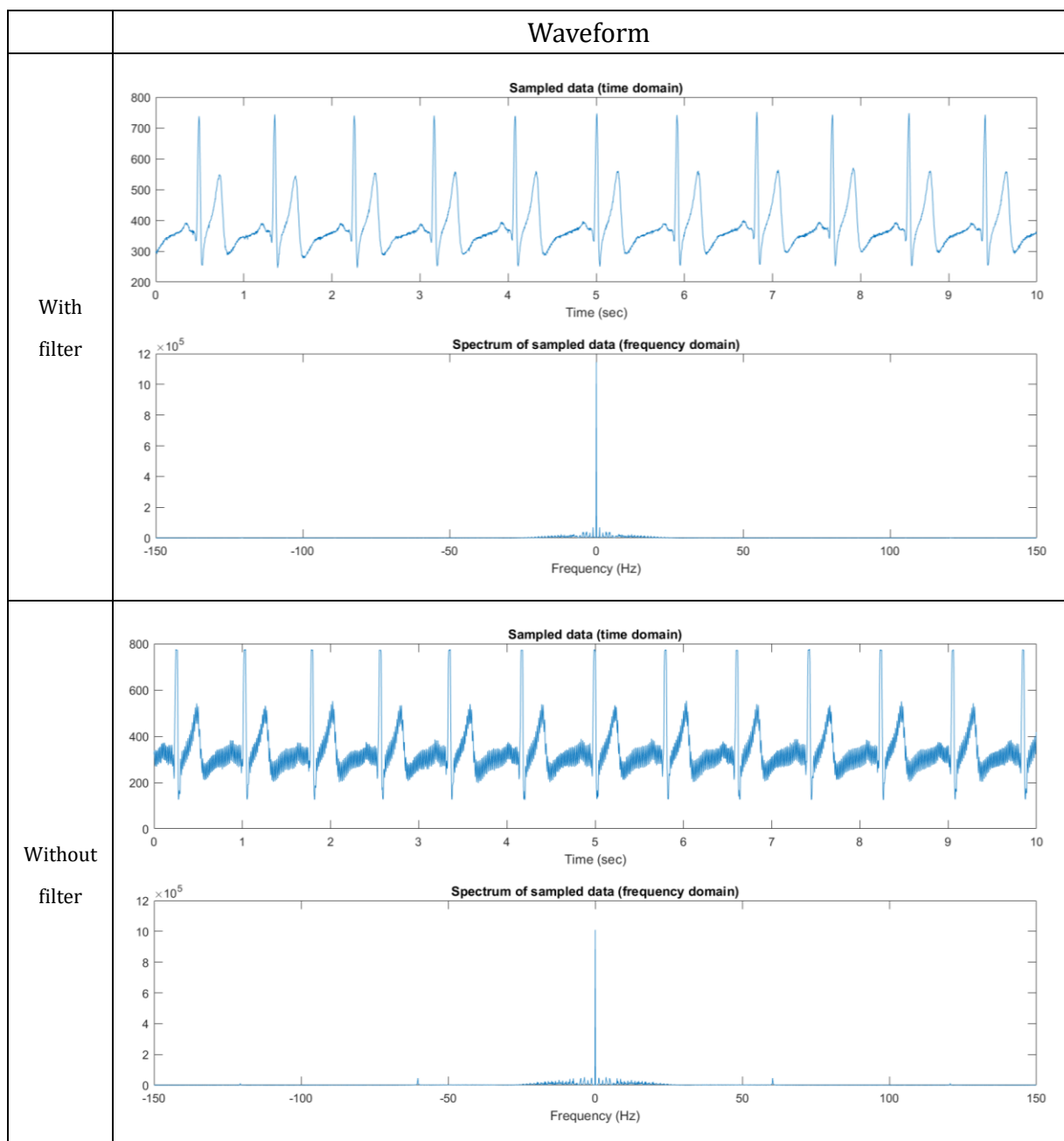
Digital Signal Processing Laboratory

Lab 2 ECG circuits, Signal Sampling and Digitization

一、實驗介紹與目的：

此實驗和上次類似，透過 Arduino 接收類比訊號、利用 ADC 轉為電腦可處理的數位訊號，接著使用 Matlab 進行訊號處理並顯示波型。與上次實驗最大的不同在於輸入的是微弱的心電訊號，容易受到其他生理訊號與周遭市電的電磁干擾，因此需要在 Arduino 之前加上一個類比電路，透過兩級的放大器、偏壓電路、以及約 60Hz 的帶阻濾波器，將訊號進行前處理，以得到更清楚的心電圖。

二、實驗數據與結果：



三、問題與討論：

1. Please compare your recorded ECG signals with and without 50 to 60-Hz notch filtering in TIME and in FREQUENCY DOMAIN.

從實驗數據與結果的表格中可看出，在沒有 notch filter 時，心電訊號中會夾雜著較高頻的訊號，此為環境中市電所造成的電磁干擾，頻率約為 60Hz，從頻譜圖中也能看到在正負 60Hz 的地方有小突起，代表訊號中含有 60Hz 的雜訊成分。而在電路上加上 notch filter 之後，從波形圖可明顯看出這些雜訊已被濾掉，剩下較乾淨的心電訊號，在頻譜圖中也看不到 60Hz 的訊號成分了。

2. Please analyze the recorded ECG signals in TIME and in FREQUENCY DOMAIN to see by what kind of noises the signals are contaminated.

我測得的心電圖相較於老師投影片裡的心電圖乾淨許多，除了些微的 Baseline noise 讓心電圖的基準點有少許的偏移，另外就是在沒有 notch filter 時可以觀察到的 60Hz power-line interference，至於其他老師有提到的雜訊像是 motion artifact 或是 electromyography noise 都沒有觀察到，我認為原因在於我在測量時，盡量保持自己是靜止的狀態，以減少肌肉運動造成的肌電訊號干擾。

3. In addition to the 60-Hz (f_0) power-line noise, do you see 120-Hz ($2*f_0$), 180-Hz ($3*f_0$), and even 240-Hz ($4*f_0$) harmonic noises. If you do, why?

在此報告放的頻譜圖中(without notch filter)其實能夠看到，除了在 60Hz 的地方有 power-line noise，在 120Hz 的地方也有非常小的突起，但 180Hz, 240Hz, ... 之後就完全看不到了；然而在實驗課當下測得的訊號頻譜中，卻可以清楚看到 60Hz, 120Hz, 180Hz 的雜訊與其諧波，我覺得是因為在家裡測量時，其環境沒有什麼電器用品和電線，但實驗課的周圍環境佈滿了電腦、電線、插座、延長線等等，所以電磁干擾的效應較大。

至於為何會有 60Hz 的整數倍頻率諧波，我認為是因為許多電器用品是具有非線性的電壓電流特性，在電壓加載的過程中，導致基本波產生的變形，進而產生了諧波。

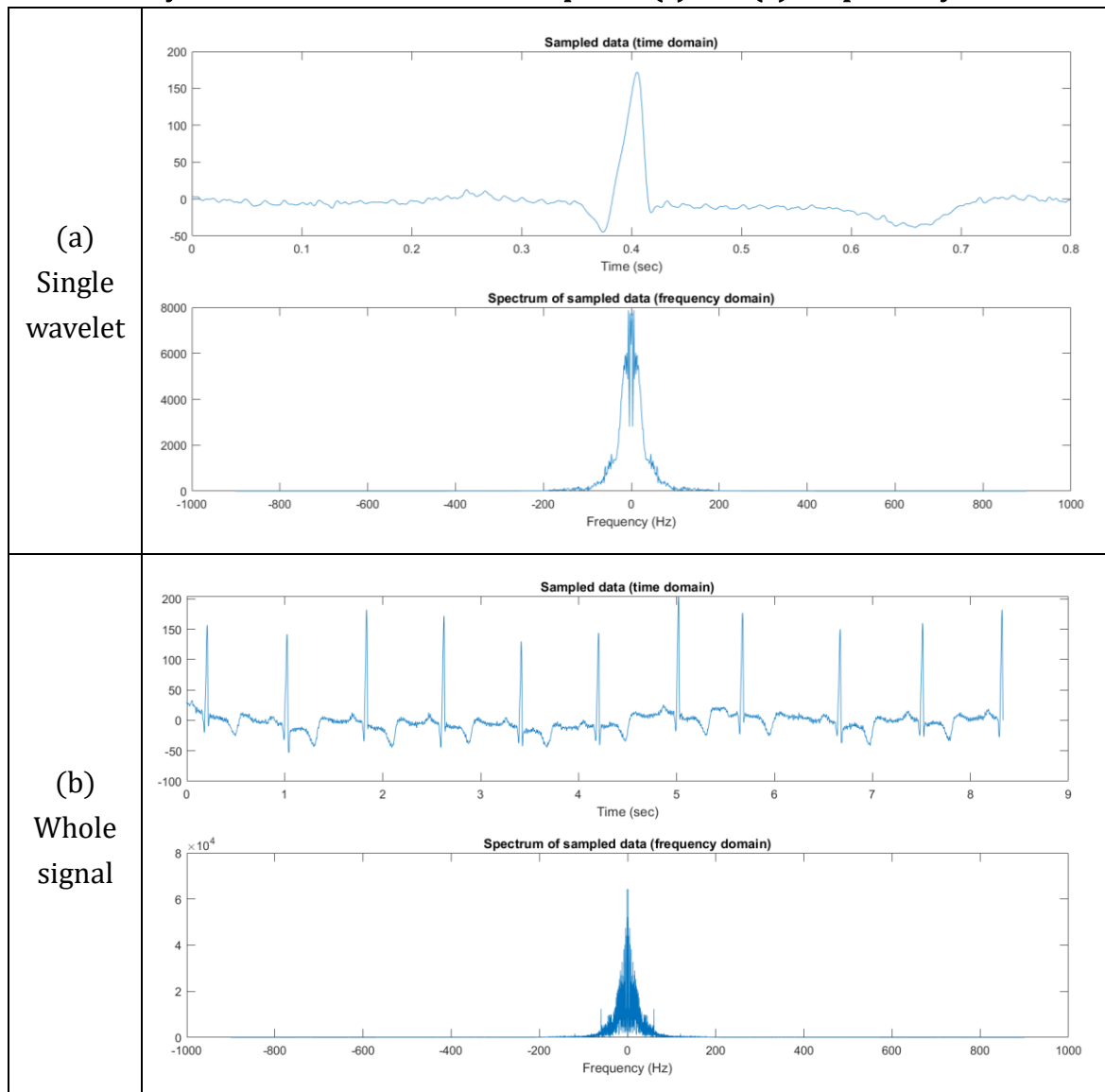
4. Based on the recorded signals, you may try to design FIR filters to remove the noises. What kind of filters can be applied to remove the harmonic noises mentioned in 3?

從心電圖中可發現，由於心電訊號的頻率大部分落在 0Hz~30Hz 之間，而主要的雜訊為 60Hz 的 power-line noise，因此我會想要在 matlab 中使用一個 digital 60-Hz notch filter 來降低這個雜訊的大小。

5. What is the proper sampling rate for the ECG signal?

心電訊號的範圍界在 0.02Hz 到 100Hz 之間，所以最低的取樣頻率為 200Hz 左右。另外因為周遭環境中有許多高頻的雜訊，若是增加取樣頻率，只不過是接收到沒有混疊過的雜訊，反而還增加硬體成本或是降低軟體執行的速度，因此我認為，ECG 的 proper sampling rate 應該是在 200Hz。

6. Please find the given MATLAB data file where a raw ECG signal and F_s (in Hz) used to acquire the ECG signal are stored, and perform Fourier analysis over (a) a single ECG wavelet (i.e., one heart-beat cycle) and (b) the whole ECG signal. Please tell what ECG information you can obtain via the Fourier spectra (a) and (b), respectively.



我認為，單一個心電週期的頻譜圖沒什麼特別的意義，因為我們在意的應該是每個心電週期之間的間隔(也就是心律)，或是一個心電週期的波型(心電圖)，而單一個心電週期的頻譜並沒有上述的資訊，而只有雜訊的頻率資訊；至於整個心電訊號的頻譜才有包含我們所在意的心律資訊，因此若是能將整個心電訊號的頻率資訊減去單一個心電訊號的頻率資訊，剩下的就會是真正的心電訊號頻譜圖。

7. Please comment why differential amplifier is used for ECG signal amplification?

因為差動放大器能夠消除直流訊號，只將交流的小訊號輸入給電路進行放大，否則若不用差動放大器的話，會讓輸入給 Arduino 的電壓訊號過大，超過 Arduino 的最大輸入電壓而發生波型失真。

8. 為何用筆電供電給 ECG 電路，也有 60 Hz 市電的干擾？

市電的干擾除了透過電力線來傳輸之外，還有一個更常見的途徑：電磁干擾

Electromagnetic interference (EMI)。由於 ECG 電路中有許多裸露的金屬，像是電阻、電容的接腳，以及電線的外皮並非能完全絕緣電磁波，因此就算用電池進行供電，電路在擷取心電訊號時還是會不小心擷取到電磁干擾的訊號。

9. 關於分析心率(心跳的頻率)，若從 ECG 訊號的 Fourier spectrum 來分析可行嗎？

若從 ECG 訊號的頻譜圖來分析心律會十分困難，因為有太多的頻率成分了，就如實驗結果圖一樣，在 0Hz~50Hz 之間都有頻率成分。而我認為，心電訊號最明顯的就是 R peak，每一個心電週期都有一個 R peak，因此或許能夠直接從兩個 R peak 之間的距離推算出大概的心律。

四、 結論與心得：

此實驗簡單的利用一些類比電路與 Arduino 的 ADC 以及 Matlab 來量測心電圖，雖然結果能夠大概看到心電波型，不過仍有許多地方需要改進，像是雜訊消除的不夠完整、還無法做進一步的心律分析等等。另外，此實驗也花了許多時間在組裝電路，讓我深刻的了解到電路 layout 的重要性，若元件與元件之間靠太近、線與線之間太交錯複雜、或是沒有處理好裸露的金屬線等等，都會影響到電路的功能。也希望下次實驗能學到更多心電訊號的處理技巧，以做出更好的心電圖。