

電子電路系統設計

Filter

目錄

I. Introduction:	3
A. 濾波器的基本類型：	3
B. 濾波器的工作原理：	3
C. 應用領域：	3
D. 數位濾波器和類比濾波器：	3
II. Filter block diagram + Circuit in IC (Schematic):	3
A. Filter block diagram	3
B. Circuit in IC (Schematic)	4
III. Filter Specifications:	4
A. Sixth-order Chebyshev Low Pass Filter	4
B. Second order Notch Filter	4
C. One order High pass Filter	5
IV. Simulation:	6
Simulation Analysis	7
V. Implementation + Measurement Setup / Procedure:	7
A. 儀器介紹	7
B. 量測流程圖	8
VI. Measurement Results + Discussion:	9
A. 輸出訊號量測：	9
輸出訊號量測分析：	9
B. Discussion：	9
VII. Conclusion:	10
VIII. 參考文獻:	11

I. Introduction:

濾波器是一種用於訊號處理的裝置或算法，主要功能是通過選擇性地增強或減弱訊號的特定頻率成分，以達到滿足特定應用需求的目的。濾波器在電子、通信、音頻處理、影像處理等領域中都有廣泛應用，並在提高信號品質、去除雜訊、改善頻率響應等方面發揮著重要作用。

A. 濾波器的基本類型：

1. 低通濾波器 (Low pass Filter)：允許低頻訊號通過，但阻擋高頻訊號。
2. 高通濾波器 (High pass Filter)：允許高頻訊號通過，但阻擋低頻訊號。
3. 帶通濾波器 (Band pass Filter)：允許通過一定頻率範圍內的訊號，阻擋其他頻率。
4. 帶阻濾波器 (Band stop Filter)：阻擋一定頻率範圍內的訊號，允許其他頻率通過。
5. 全通濾波器 (All pass Filter)：產生時延效果，不會有梳狀濾波器的共振。

B. 濾波器的工作原理：

1. 時域和頻域：濾波器可以在時域或頻域中工作。
2. 傳遞函數：通過傳遞函數描述濾波器的輸入和輸出之間的關係。
3. 截止頻率：濾波器的截止頻率是指在這一頻率上濾波器的響應發生變化的點。

C. 應用領域：

1. 通信系統：用於濾除雜訊、提高訊號品質。
2. 音頻處理：用於均衡音訊頻率響應，去除不需要的頻率成分。
3. 影像處理：用於去除圖像中的雜訊、增強特定特徵。

D. 數位濾波器和類比濾波器：

1. 數位濾波器：在數位信號處理中使用，通常由演算法實現。
2. 類比濾波器：在模擬電子學中使用，以電子元件實現。

濾波器在訊號處理中扮演著至關重要的角色，通過調整訊號的頻率內容，它們能夠應對不同應用的需求，從而提高信號品質並確保應用的有效運作。

II. Filter block diagram + Circuit in IC (Schematic):

A. Filter block diagram :

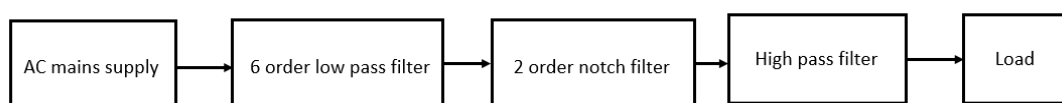


Fig. 1. Filter block diagram

B. Circuit in IC (Schematic) :

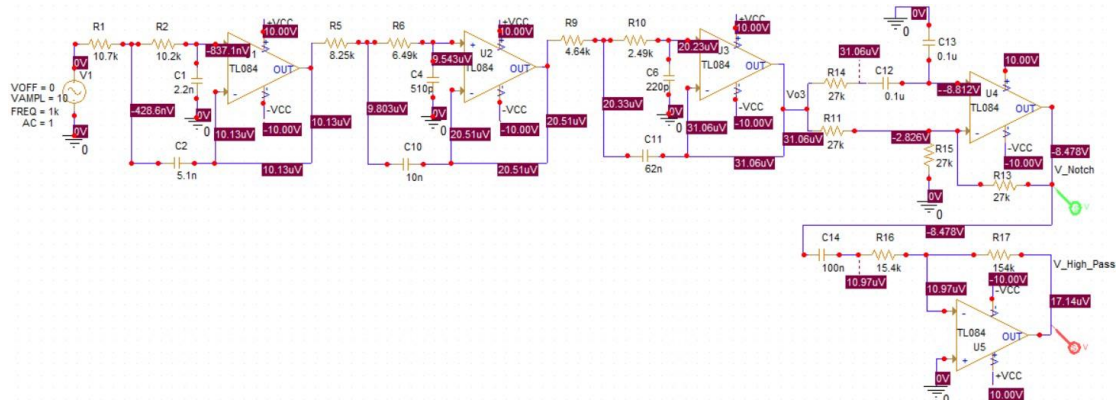


Fig. 2. Ninth order Filter

開始時候，我們需要讓小訊號通過一個低通濾波器，最好截止於 120Hz 以下。在此我們先接了一個 Sixth-order 1-dB Chebyshev Low-pass Filter (兩級的 filter 串接三個)，讓訊號在通過截止頻率後更快速下降，但是其截止頻率沒有在 120Hz 下。

因此在通過 6 階的低通濾波器的訊號後，我們使用 Second order Notch Filter，使 Sixth-order 1-dB Chebyshev Low-pass Filter 產生的訊號能夠截止在 120Hz，並且在 pass band 的過程中，其 ripple 的浮動能夠更小，更加的穩定，且又能維持良好的 roll off，使切換頻率能夠很快，接著因為我們想要 120hz 附近能夠操作元件，因此我們又添加了一個 One order High pass Filter，使其產生了 band pass，因此我們就能濾除掉不是在 120hz 附近的訊號，從而減少失真的困擾。

III. Filter Specifications:

A. Sixth-order Chebyshev Low Pass Filter :

Sixth-order Chebyshev Low Pass Filter 是一種用於訊號處理的濾波器，主要功能是通過允許低於一定截止頻率的訊號通過，同時抑制高於該頻率的訊號。

相比於其他類型的濾波器（如巴特沃斯濾波器），Chebyshev Filter 在 pass band 和 stop band 之間提供更陡峭的轉變，這表示它能更快速地減小在截止頻率之外的訊號，而且能設計在 pass band 部分的 ripple，使其在特定的 ripple 範圍內達到較陡的 Roll-off Rate，相比其他同階數的低通濾波器，能達到更好的效果。

B. Second order Notch Filter :

用於訊號處理的特殊濾波器，設計目的是為了抑制特定頻率附近的訊號成分。陷波濾波器的設計需要考慮到陷波頻率的準確性、濾波器的阻尼

比以及對帶外頻率的過濾效果。濾波器的阻尼比影響了陷波的銳利度，高阻尼比可實現較窄的陷波，而低阻尼比可能導致較寬的陷波。

2 階陷波濾波器的轉移函數表示成以下：

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$

C. One order High pass Filter :

主要功能是通過允許高於一定截止頻率的訊號通過，同時抑制低於該頻率的訊號。

一階高通濾波器轉移函數如下：

$$H(z) = \frac{b_0 z^{-1}}{1 - a_1 z^{-1}}$$

下表 Table.1 為 Fig.2 的元件表

OPAMP	TL084
R1	10.7 kΩ
R2	10.2 kΩ
R5	8.25kΩ
R6	6.49kΩ
R9	4.64kΩ
R10	2.49kΩ
R11	27kΩ
R13	27kΩ
R14	27kΩ
R15	27kΩ
R16	15.4kΩ
R17	154kΩ
C1	2.2nF
C2	5.1nF
C4	510pF
C10	10nF
C6	220pF
C11	62nF
C12	0.1uF
C13	0.1uF
C14	100nF

Table. 1

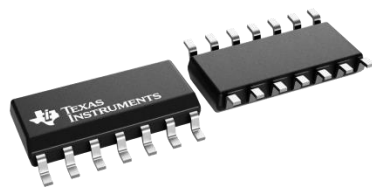


Fig. 3. TL084

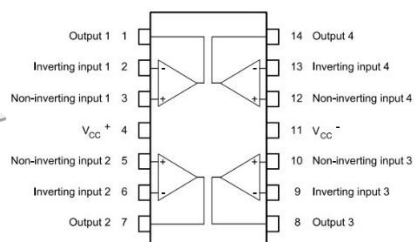


Fig. 4. TL084 pin

本次實驗選用德州儀器製造的 TL084 運算放大器 Fig. 3，此晶片內具有四個運算放大器 Fig. 4，因此一個晶片可用來設計我們的 Sixth-order 1-dB Chebyshev Low Pass Filter 及 Second-order Notch Filter，在整體電路應用上具有良好的面積範圍。

IV. Simulation:

Frequency Response:

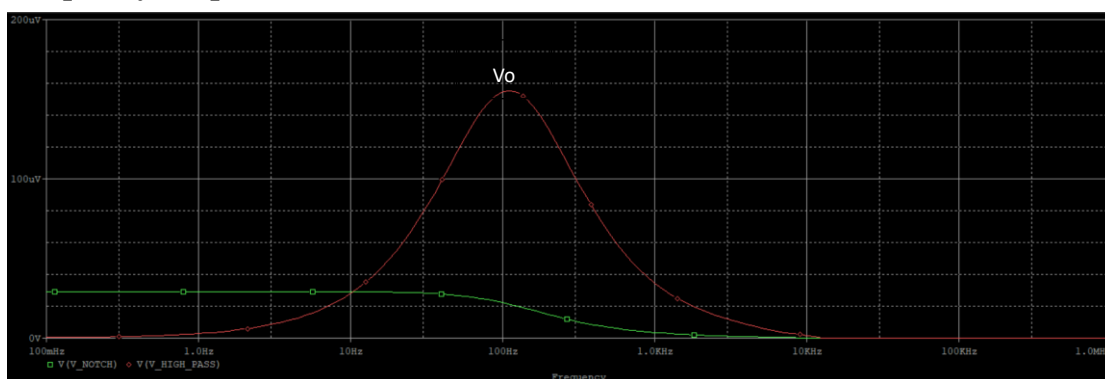


Fig. 5. Magnitude Response

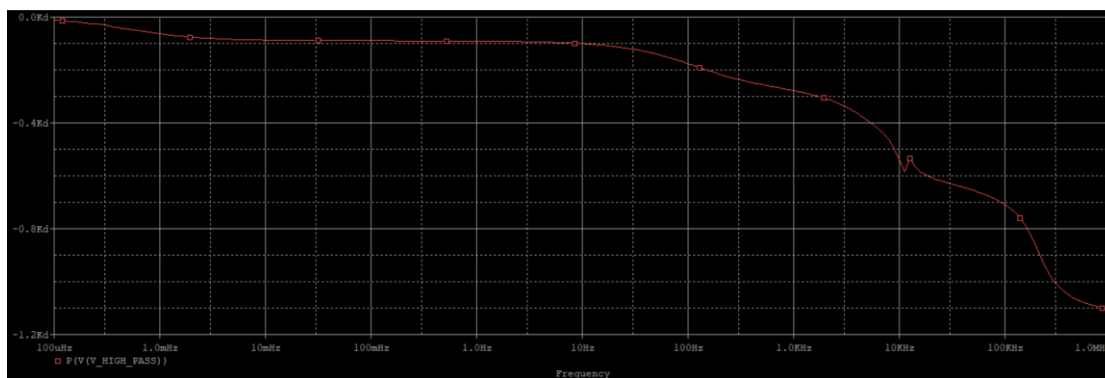


Fig. 6. Phase Response

Fig. 5.綠色的波形為經過 Sixth-order 1-dB Chebyshev Low pass Filter 再通過 Second-order Notch Filter 的頻率響應圖，而紅色的波形為在 Second order Notch Filter 後方再多加一個 One-order High pass Filter 的頻率響應圖。

Simulation Analysis:

在 Fig. 5.模擬圖裡可以看到原本的綠色波形也就是沒有接 One-order High pass Filter 的情況下，可以看到因為經過了 Second-order Notch Filter 的效果，使其在 pass band 的過程中的 1-dB 的 ripple 能夠趨緩下來，且也讓此波形能夠在 120hz 能夠截止，之後看到紅色的波形為我們繼續在 Second order Notch filter 的後方再加一個 One-order High pass Filter，其用意是為了使其產生 band pass 的圖形，並且限制它在 120Hz 附近才能夠操作元件，從圖中也可以看到它的截止頻率也在 120Hz。

至於在理想的 Band Pass Filter 在 pass band 中通常會引起較小的相位變化，而在 stop band 內會引起較大的相位變化，而在 Fig.6.通過實驗也可知在 120Hz 以前的 pass band 相位變化相當的小，但到了 120Hz 後的相位變化就變得相當的大，因此由上述兩張模擬圖 Fig.5.及 Fig.6.中都可以知道截止頻率在 120Hz，且在 Fig.4.可知在 120Hz 附近以外的頻率也成功的過濾掉，同時在 Fig. 4 也可以知道不會有相位失真的問題。

V. Implementation + Measurement Setup / Procedure:

A. 儀器介紹：

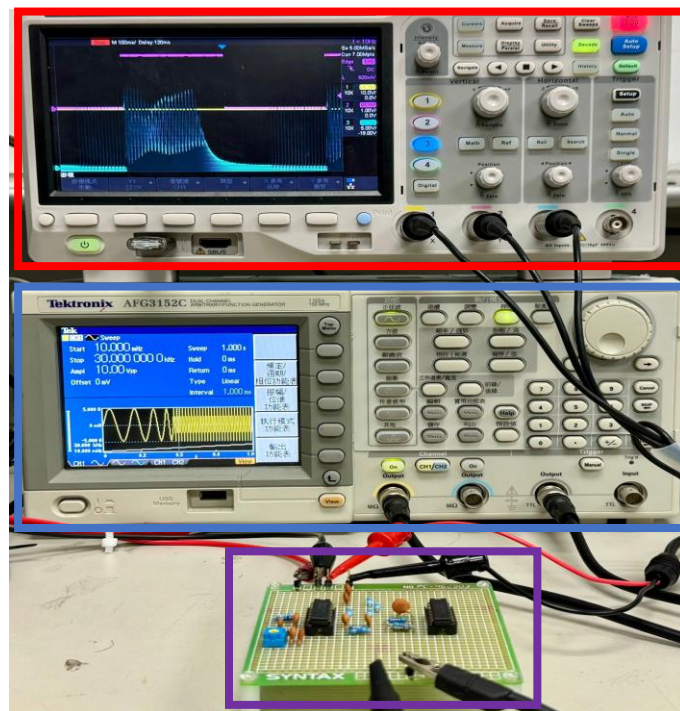


Fig.7. Measurement setup

Fig.7.藍色框為 Tektronix 公司生產的訊號產生器，紅色框為 Teledyne 公司生產的示波器，紫色框為 Sixth-order 1-dB Chebyshev Low pass Filter 再通過 Second-order Notch filter，而之後在其後方再多加一個 One-order High pass Filter 的電路圖。

B.量測流程圖：

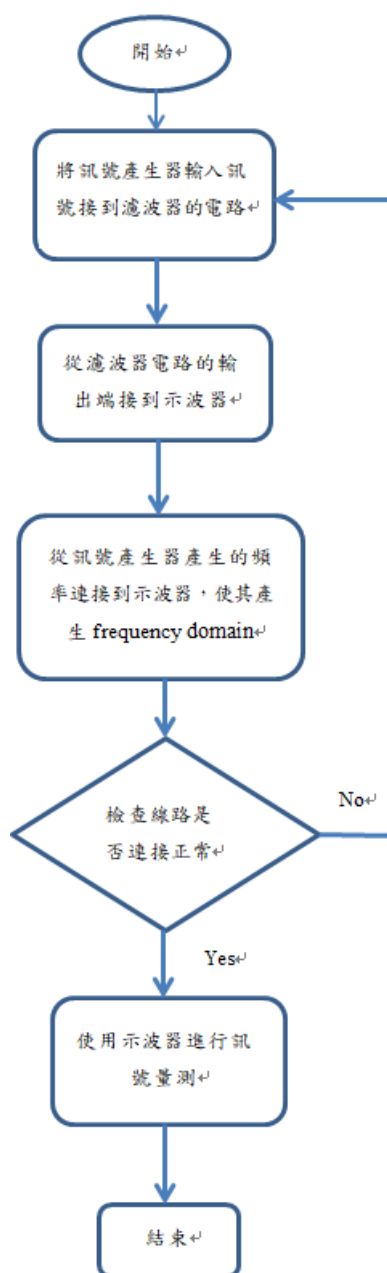


Fig.8. Flow chart

VI. Measurement Results + Discussion:

A. 輸出訊號量測:

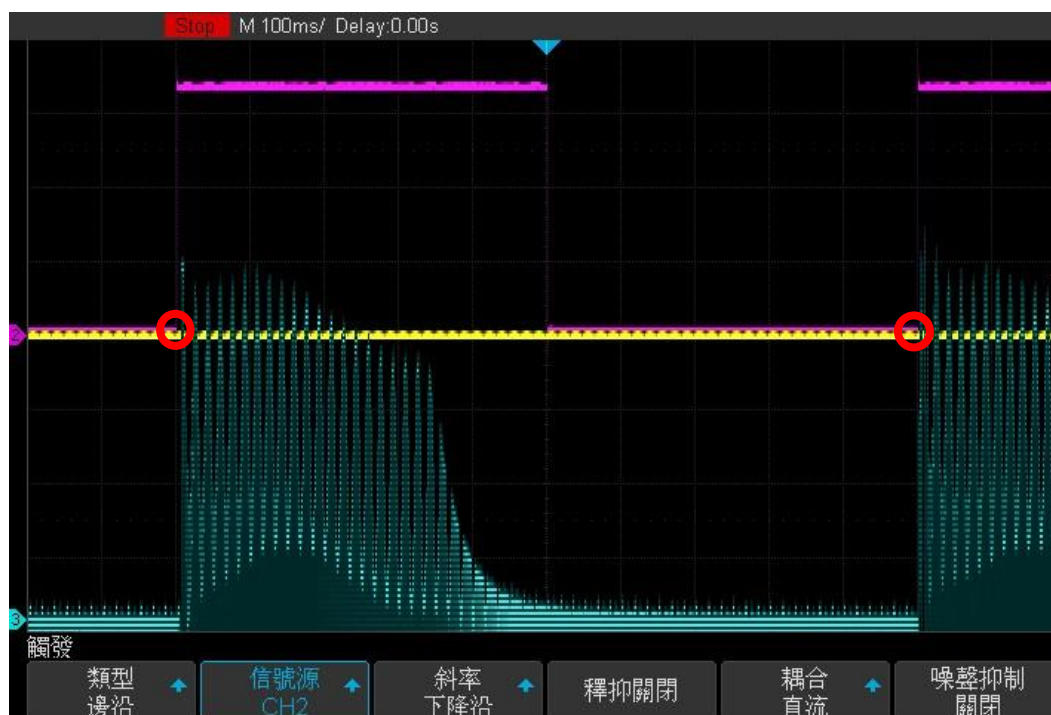


Fig.9. Bode Plot (Magnitude Response)

輸出訊號量測分析:

紫色的線為 Frequency，從左邊紅色圈起來開始算到右邊紅色圈起來結束為一個週期，且範圍為 100m (Hz)到 1M (Hz)，而深藍色區域為我們的訊號所在，可以看到圖上會有一個 band pass 的產生，其結果也與上述 Fig. 5.的模擬圖類似，約略在 120 Hz 會有截止頻率，因此我們可以在 120 Hz 附近去運作我們所需要的元件，而在之後頻率下，訊號都為截止的狀態，也就是我們不要的區域，因而不會讓其他的頻域對我們的元件有所影響。

B. Discussion :

1. Filter 的階數越高會有什麼樣的影響?

- 可以提供更陡峭的頻率響應，在通過某一特定頻率時，轉換的斜率更大，且更有效地過濾掉不需要的頻率成分，提供更好的選擇性，這些訊號在像是如音訊處理、通信系統等，是相當重要的。
- 但同時也可能會有更高的相位失真或是訊號之間的延遲，因為在不同頻率下的傳播速度不同，或是容易存在一些不穩定性。

因此在選擇濾波器的階數應該必須具體應用的要求和性能指標進行權衡，以確保達到所需的效果並符合系統的限制。

2. 使用 Sixth-order 1-dB Chebyshev Low pass Filter 有什麼好處？
- Chebyshev Filter 相對於一些其他 Filter，如 Butterworth 及 Bessel Filter，提供了更陡峭的 transition band，能夠更快的在 transition band 提供更快速的頻率響應變化，使其在切換頻率上能相當的快，因此也在無線通信、有線通信和數據通信等有大量的應用。
 - Chebyshev Filter 的通過損耗的最小值是所有的 Filter 類型中最低的，也就是說其 pass band 中的訊號損耗相對比較小。
 - 1 dB Chebyshev Low pass Filter 在 pass band 中的波動大小，雖然不比 0.1dB 的 Chebyshev Low pass Filter 還要來的小，但仍然保持 transition band 中的一些的陡峭度，因此在設計元件上也必須保持著一定的靈活性才能使 Chebyshev Filter 發揮到最好的效果。
3. 使用類比濾波器而不用數位濾波器的原因：
- 對於整個頻率範圍都是連續的，不受取樣的限制，因此不會像數位濾波器可能發生混疊現象。
 - 類比濾波器因為持續處理連續信號，無需進行數位取樣和離散處理，也不需要額外的數位處理器來執行複雜的數學運算，因此功耗的部份也相對來的低。

總體來說，雖然數位濾波器截止頻率可以設計得很精準，且設計的階數都相當的高，當然在現實電路上並不容易實現，而且利用數位的方式來濾 120Hz 雜訊，好比使用 LabVIEW 裡的 DSP 功能，其處理的對象主要是已量測好的數據，也就是說這樣的方法沒有辦法做到即時量測監控的濾波，但一般來說我們比較想要的是給一個輸入後可以直接濾波，從而得到輸出，而不是等一段時間後由輸入的後續處理才得到輸出，所以我們才會使用的是類比濾波器來設計此題目。

VII. Conclusion:

在本次實驗中元件的選擇，以及如何去調配 Filter 均是相當重要的一個環節，因為在元件的匹配性，或是越高階的 Filter 中，如果當中調配的不好，不管是相位失真或是訊號之間的延遲等都會影響到其 Filter 的操作表現，因此要操作在特定的頻率下，這些因素都必須去重視，才能使想操作的元件能夠操作在特定頻率，而沒有不必要頻率的雜訊干擾導致失真等現象。

VIII. 參考文獻:

- <https://www.ti.com/product/TL084>
- https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/dsp-book/dsp_book_Ch20.pdf
- [https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Electrical_Engineering/Electronics/Micro wave and RF Design IV%3A Modules \(Steer\)/02%3A Filters/2.05%3A The Chebyshev Lowpass Approximation](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Electrical_Engineering/Electronics/Micro_wave_and_RF_Design_IV%3A_Modules_(Steer)/02%3A_Filters/2.05%3A_The_Chebyshev_Lowpass_Approximation)
- <https://www.electronics-tutorials.ws/filter/band-stop-filter.html>
- https://learningaboutelectronics.com/Articles/Notch-filter-calculator.php#answer_1
- https://web.engr.oregonstate.edu/~webbky/ENGR202_files/SECTION%203%20Second%20Order%20Filters.pdf