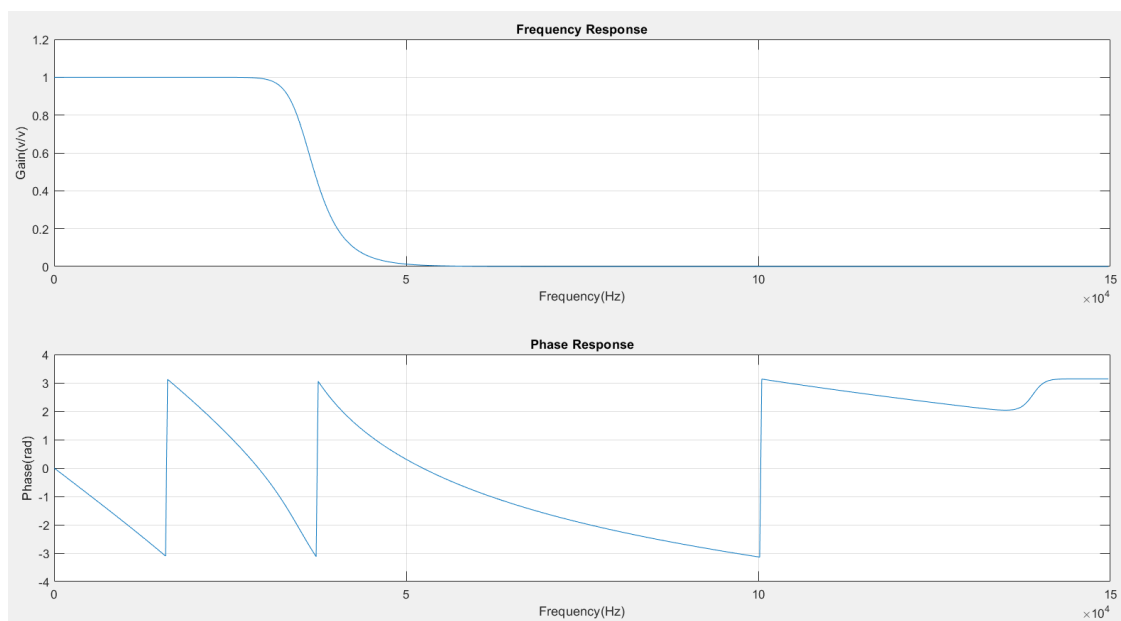


## 2023 DSP Final Project - Filter Design

109511207 蔡宗儒

1. Design a digital Butterworth lowpass filter operating at a sampling rate of 300 KHz with a 0.3 dB cutoff frequency at 30 kHz and a minimum stopband attenuation of 60 dB at 60 kHz using the bilinear transformation method. You should first determine the order of the analog filter prototype and design the analog prototype filter using `buttap` function. Afterward, transform the analog filter transfer function to the desired digital transfer function using the bilinear function. Plot the gain and phase responses. Show all steps used in the design.

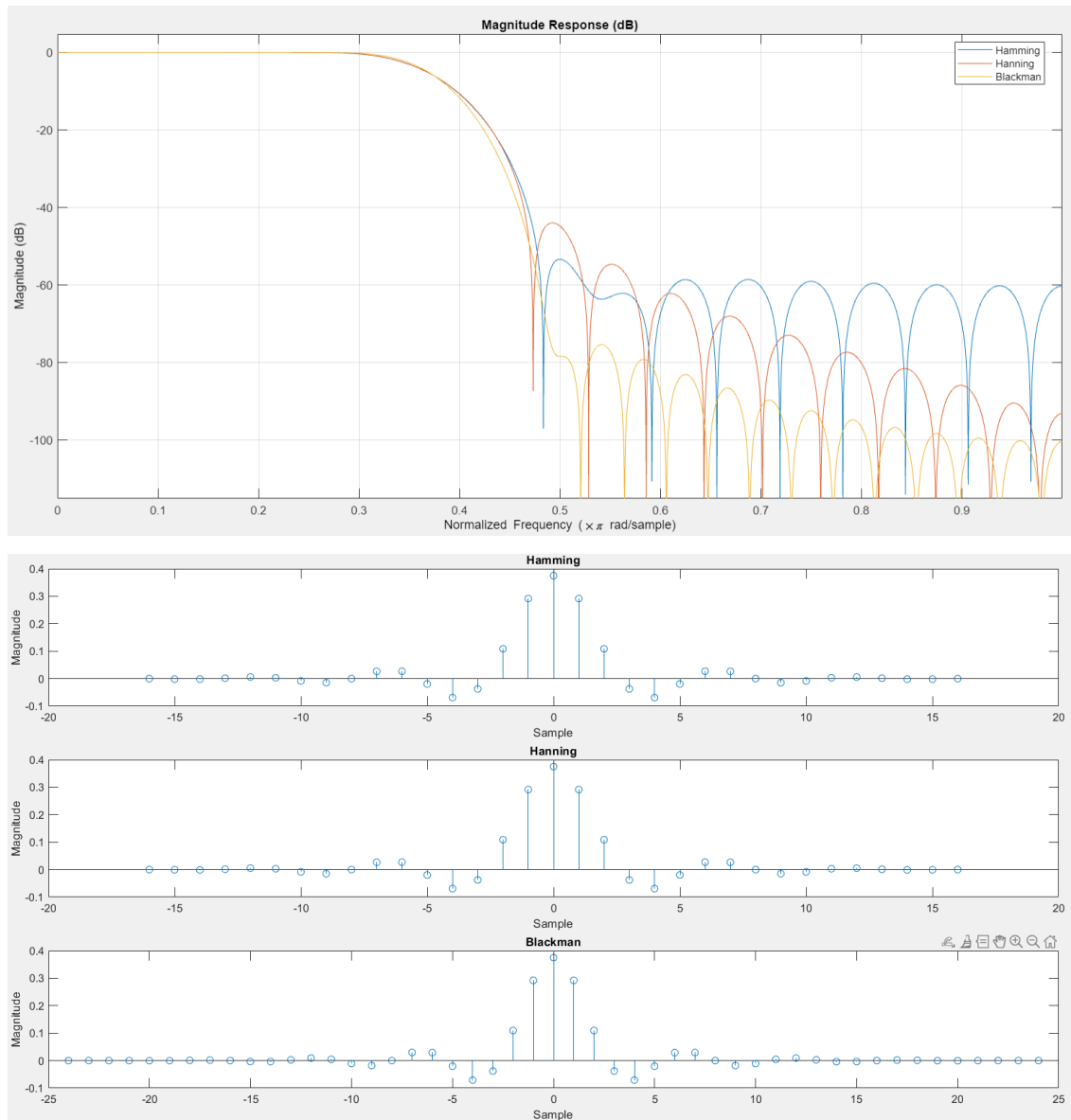


Steps:

1. 將 digital spec 用 bilinear method 轉換成 analog spec
2. 用 **buttord** function 得出 analog filter 的 order N 和 cutoff frequency
3. 利用 **buttap** function 以及剛得到的 order N 建立 Nth order Butterworth filter 的 zeros、poles 以及 gain
4. 利用 **zp2tf** function 將 Butterworth filter 的 zeros and poles 轉為 transfer function 的分子和分母的 polynomial
5. 利用 **lp2lp** function 將 cutoff frequency 移到正確的位置
6. 利用 **bilinear** function 將 analog transfer function 轉回 digital transfer function
7. 利用 **freqz** function 將 transfer function 轉換為頻率和 gain 以及頻率和 phase 的資料，即可畫圖。

## 2. FIR design

(a) Using the window method, design a linear-phase FIR low pass filter with the following specifications: passband edge at 3 rad/sec, stopband edge at 6 rad/sec, maximum passband attenuation of 0.2 dB, minimum stopband attenuation of 44 dB, and a sampling frequency of 24 rad/sec. Use each of the following windows for the design: Hamming, Hann, and Blackman. Show the impulse response coefficients, and plot the gain response of the designed filters for each case. Comment on your results. Do not use the `fir1` function.

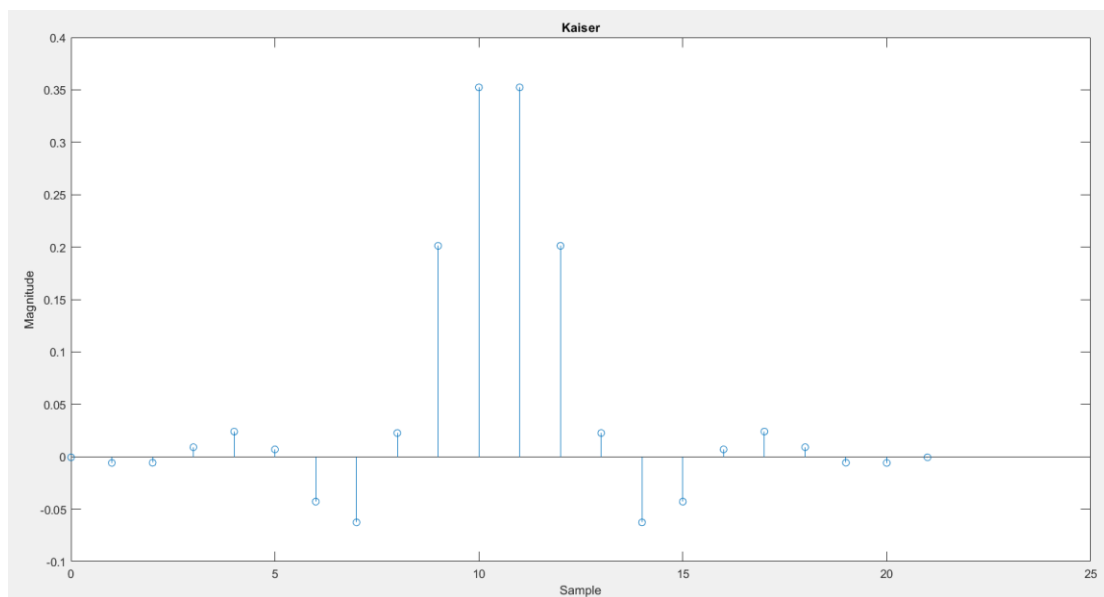
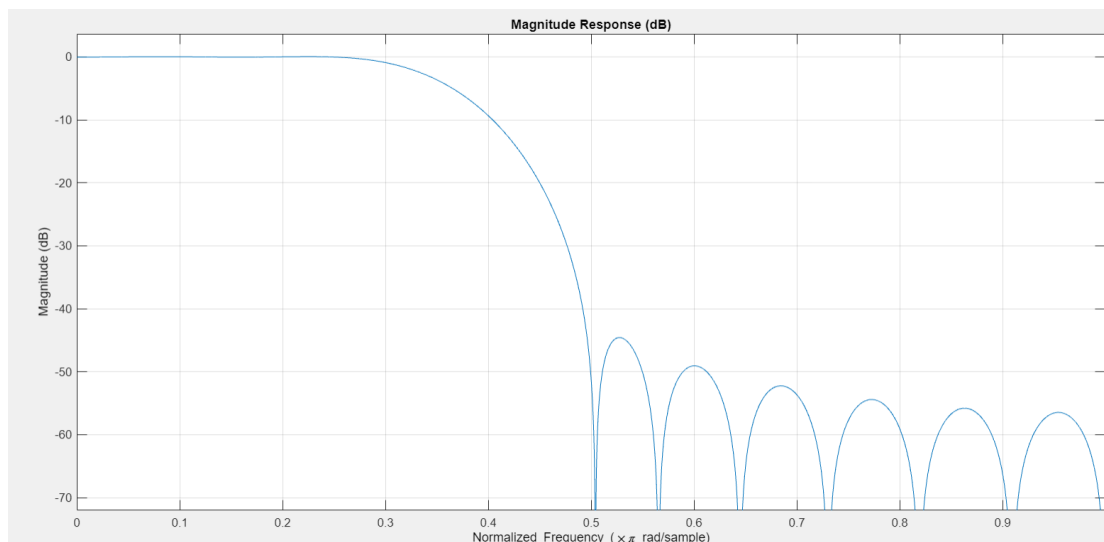


Steps:

1. 利用 transition band 的寬度，代入三種 window 的 main lobe 公式，算出所需要的 window 寬度(M)
2. 依照各自的 M 使用 **hamming**、**hanning** 以及 **blackman** function 建立 window。

3. 設定 cutoff frequency =  $(w_p + w_s)/2$ ，建立 ideal low-pass filter，最後乘上 window，即可得出結果。

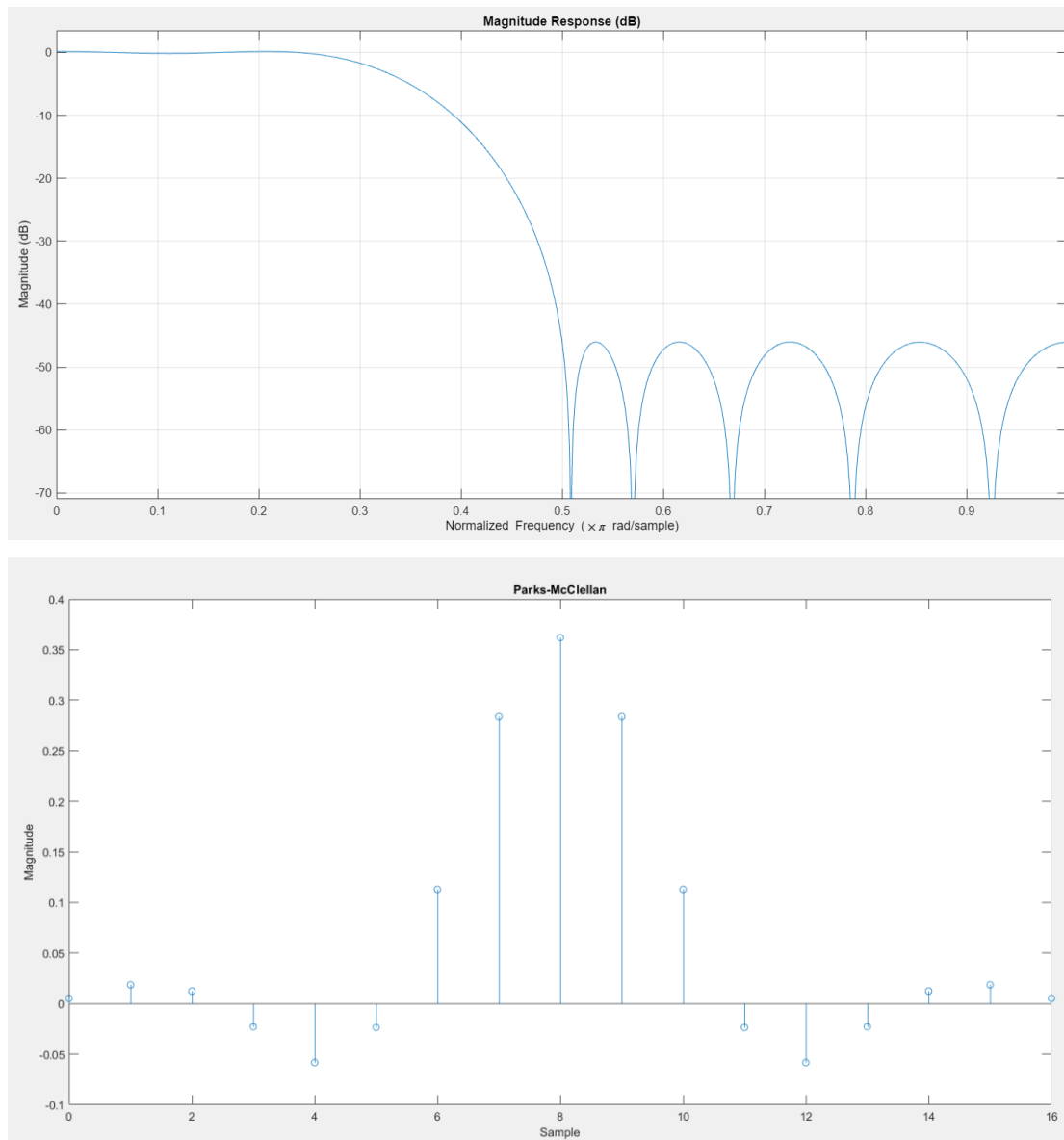
(b) repeat (a) with the Kaiser window method. Do not use fir1 function.



Steps:

1. 利用 transition band 的寬度和符合 spec 的 dev 以及 **kaiserord** function 找出 window 的寬度(M)及係數 Beta
2. 依照 M 和 Beta 使用 **kaiser** function 建立 window。
3. 設定 cutoff frequency =  $(w_p + w_s)/2$ ，建立 ideal low-pass filter，最後乘上 window，即可得出結果。

(c) repeat (a) with the Parks-McClellan method.



Steps:

1. 利用 transition band 的寬度和符合 spec 的 dev 以及 **firpmord** function 找出 filter 的 order  $N$  以及係數  $F_0$ 、 $A_0$ 、 $w$ 。
2. 依照 order  $N$  以及係數  $F_0$ 、 $A_0$ 、 $w$ ，使用 **firpm** function 建立 filter 即可得出結果。

(d) Compare the results of (a), (b) and (c).

(a)、(b)、(c)主要的不同為 window 級數的不同。觀察 impulse response，能發現所需要的級數由大至小為: Blackman(48) > Hamming(32) > Hanning(32) > Kaiser(21) > Parks-McClellan(14)。Parks-McClellan 能用最少的級數達到所需的 spec，然而計算複雜度也會相對較高。比較各種 window method 的話，Kaiser 所需級數較低，能量也就較集中在 main lobe。在低頻時，三者的表現幾乎一致；而在高頻時，Blackman 抑制雜訊的效果最好，另外兩者則沒有太大的差別；而 Parks-McClellan method 在處理低頻訊號時，gain 會有小幅度的波動，而在高頻時，表現和 Kaiser window 差不多。