

## BÀI 5. THIẾT KẾ BỘ LỌC IIR

Các kỹ thuật thiết kế bộ lọc IIR dựa trên bộ lọc tương tự đã có để thu được các bộ lọc số. Chúng ta đã thiết kế các bộ lọc tương tự này theo các bộ lọc điển hình.

Ba kiểu bộ lọc được sử dụng rộng rãi trong thực tế là:

- Thông thấp Butterworth
- Thông thấp Chebyshev (kiểu 1 và 2)
- Thông thấp Elliptic

### 5.1. Thiết kế bộ lọc Butterworth

Hàm được sử dụng để thiết kế bộ lọc IIR trong Matlab gồm hàm `buttord()` và hàm `butter()`.

#### \*Hàm `buttord()`

Cú pháp: `[N, Wn] = buttord(Wp, Ws, Rp, Rs)`

Hàm này xác định bậc N của bộ lọc và Wn là tần số Butterworth (tần số tại đó biên độ giảm 3dB)

Wp là tần số giới hạn dải thông theo đơn vị rad/s

Ws là tần số giới hạn dải chặn theo đơn vị rad/s

Rp là độ gợn sóng dải thông theo đơn vị dB

Rs là độ gợn sóng dải chặn theo đơn vị dB

Ví dụ: Lowpass: Wp = .1, Ws = .2

Highpass: Wp = .2, Ws = .1

Bandpass: Wp = [.2 .7], Ws = [.1 .8] thông dải

Bandstop: Wp = [.1 .8], Ws = [.2 .7] chặn dải

#### \*Hàm `butter()`

Cú pháp: `[b,a] = butter(N,Wn)`

`[b,a] = butter(N,Wn,'low')`

Trong đó: b là các hệ số đa thức tử số của hàm truyền đạt

a là các hệ số đa thức mẫu số của hàm truyền đạt

Với bộ lọc thông cao: `[b,a] = butter(N,Wn,'high')`

Với bộ lọc thông dải: `[b,a] = butter(N,Wn)`

Với bộ lọc chặn dải: `[b,a] = butter(N,Wn,'stop')`

**Ví dụ 1.** Thiết kế mạch lọc thông thấp Butterworth:  $F_p = 1\text{kHz}$ ,  $F_s = 1,5\text{kHz}$ ,  $R_p = 0,5\text{dB}$ ,  $R_s = 40\text{dB}$ ,  $F_s = 4\text{kHz}$ ,  $R_p = 0,5$ ;  $R_s = 40$ ;

tần số lấy mẫu

```

Wp = 2*1000/4000; Ws = 2*1500/4000;
Rp = 0.5; Rs = 40;
[N,Wn] = buttord(Wp,Ws,Rp,Rs);
[b,a] = butter(N,Wn);
[h,omega] = freqz(b,a,256);
y = 20*log10(abs(h));
subplot(2,1,1)
plot(omega/pi,y); grid on;
xlabel('\omega/\pi');
ylabel('bien do,dB');
title('Mach loc LP Butterworth');
subplot(2,1,2)
zplane(b,a);
[z,p,k] = butter(N,Wn);

```

## 5.2. Thiết kế bộ lọc Chebyshev loại 1

Các hàm được sử dụng là hàm cheb1ord() và hàm cheby1().

### \*Hàm cheb1ord()

Cú pháp: [N, Wp] = cheb1ord(Wp, Ws, Rp, Rs)

Hàm này xác định bậc N của bộ lọc và Wp là tần số giới hạn dải thông.

### \*Hàm cheby1()

Cú pháp: [b,a] = cheby1(N,Rp,Wp)

[b,a]= cheby1(N,Rp,Wp,'low')

- Với bộ lọc thông cao: [b,a]= cheby1(N,Rp,Wp,'high')

- Với bộ lọc thông dải: [b,a]= cheby1(N,Rp,Wp)

- Với bộ lọc chắn dải: [b,a]= cheby1(N,Rp,Wp,'stop')

**Ví dụ 2.** Thiết kế mạch lọc thông thấp Chebyshev 1 với các thông số sau:

Fp = 1kHz, Fs = 1,5kHz, Rp = 0,5dB, Rs = 40dB, F = 4000Hz.

```

Wp = 2*1000/4000;
Ws = 2*1500/4000;
Rp = 0.5; Rs = 40;
[N,Wn] = cheb1ord (Wp,Ws,Rp,Rs);
[b,a] = cheby1 (N,0.5,Wp);
[h,omega] = freqz(b,a,256);
y = 20*log10(abs(h));

```

```
subplot(2,1,1)
plot(omega/pi,y); grid on;
xlabel('\omega/\pi');
ylabel('bien do,dB');
title('Mach loc LP Chebyshev 1 ');
subplot(2,1,2)
zplane(b,a);
```

### 5.3. Thiết kế bộ lọc Chebyshev loại 2

Các hàm được sử dụng là hàm cheb2ord() và hàm cheby2().

#### \*Hàm cheb2ord()

Cú pháp: [N, Ws] = cheb2ord(Wp, Ws, Rp, Rs)

Hàm này xác định bậc N của bộ lọc và Ws là tần số giới hạn dải chặn.

#### \*Hàm cheby2()

Cú pháp:

[b,a] = cheby2(N,Rs,Ws)

[b,a]= cheby2(N,Rs,Ws,'low')

- Với bộ lọc thông cao: [b,a]= cheby2(N,Rs,Ws,'high')

- Với bộ lọc thông dải: [b,a]= cheby2(N,Rs,Ws)

- Với bộ lọc chặn dải: [b,a]= cheby2(N,Rs,Ws,'stop')

#### **Ví dụ 3.** Thiết kế mạch lọc thông dải Chebyshev 2

$F_{p1} = 1000, F_{p2} = 2000, F_{s1} = 800, F_{s2} = 2200, F = 8000, R_p = 0.5, R_s = 40$

$w_{p1} = 2 * F_{p1} / F; w_{p2} = 2 * F_{p2} / F; w_{s1} = 2 * F_{s1} / F; w_{s2} = 2 * F_{s2} / F$

$W_p = [w_{p1} \ w_{p2}]; W_s = [w_{s1} \ w_{s2}]; R_p = .1; R_s = 70;$

$[N, W_n] = \text{cheb2ord}(W_p, W_s, R_p, R_s);$

$[b,a] = \text{cheby2}(N, R_s, W_n);$

$[h, \omega] = \text{freqz}(b,a,256);$

$y = 20 * \log_{10}(\text{abs}(h));$

$\text{plot}(\omega/\pi, y); \text{grid on};$

$\text{xlabel}('\omega/\pi');$

$\text{ylabel}('Bien do, dB');$

$\text{title}('Mach loc thong dai Chebyshev 2 ');$

### 5.4. Thiết kế bộ lọc Elliptic

Các hàm được sử dụng là hàm ellipord() và hàm ellip().

### \*Hàm ellipord ()

Cú pháp:  $[N, Wp] = \text{ellipord}(Wp, Ws, Rp, Rs)$

Hàm này xác định bậc N của bộ lọc và Wp là tần số giới hạn dải thông.

### \*Hàm ellip ()

Cú pháp:  $[b,a] = \text{ellip}(n,Rp,Rs,Wp)$

$[b,a] = \text{ellip}(N,Rp,Wp,'low')$

- Với bộ lọc thông cao:  $[b,a] = \text{ellip}(N,Rp,Wp,'high')$

- Với bộ lọc thông dải:  $[b,a] = \text{ellip}(N,Rp,Wp)$

- Với bộ lọc chặn dải:  $[b,a] = \text{ellip}(N,Rp,Wp,'stop')$

**Ví dụ 4.** Thiết kế mạch lọc thông dải elliptic với các thông số sau:

$F_{p1} = 1\text{kHz}$ ,  $F_{p2} = 2\text{kHz}$ ,  $F_{s1} = 800\text{Hz}$ ,  $F_{s2} = 2,2\text{kHz}$ ,  $F = 8\text{kHz}$ ,  $R_p = 0,5\text{dB}$ ,  $R_s = 40\text{dB}$

$F_{p1} = 1000$ ,  $F_{p2} = 2000$ ,  $F_{s1} = 800$ ,  $F_{s2} = 2200$ ,  $F = 8000$ ,  $R_p = 0.5$ ,  $R_s = 40$

$wp1 = 2 * F_{p1} / F$ ;  $wp2 = 2 * F_{p2} / F$ ;  $ws1 = 2 * F_{s1} / F$ ;  $ws2 = 2 * F_{s2} / F$

$Wp = [wp1 \ wp2]$ ;  $Ws = [ws1 \ ws2]$ ;  $Rp = .1$ ;  $Rs = 70$ ;

$[N, Wn] = \text{ellipord}(Wp, Ws, Rp, Rs)$ ;

$[b,a] = \text{ellip}(N, Rp, Rs, Wn)$ ;  $\text{ellip}(N, Rp, Rs, Wn)$ ;

$[h, \omega] = \text{freqz}(b,a,256)$ ;

$y = 20 * \log_{10}(\text{abs}(h))$ ;

$\text{subplot}(2,1,1)$

$\text{plot}(\omega/\pi, y)$ ;  $\text{grid on}$ ;

$\text{xlabel}(' \omega / \pi')$ ;

$\text{ylabel}(' \text{Biên độ, dB}')$ ;

$\text{title}(' \text{Mạch lọc thông dải Elliptic}')$ ;

$\text{subplot}(2,1,2)$

$\text{zplane}(b,a)$ ;

**Ví dụ 5.** Mô phỏng quá trình lọc số dùng

% Minh họa mạch lọc IIR

$k = 0:50$ ;

$w1 = 0.7 * \pi$ ;  $w2 = 0.2 * \pi$ ;

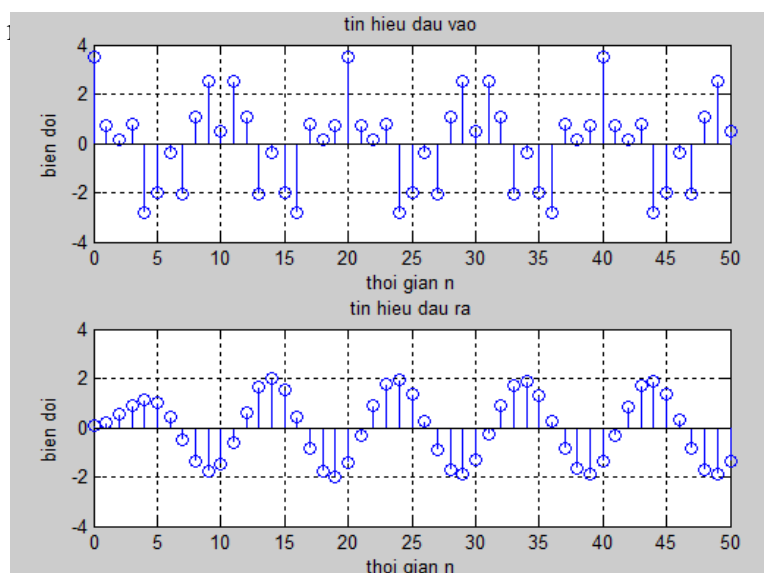
$x = 1.5 * \cos(w1 * k) + 2 * \cos(w2 * k)$ ;

$[N, Wn] = \text{ellipord}(0.25, 0.55, 0.5, 50)$

$[b,a] = \text{ellip}(N, 0.5, 50, Wn)$ ;

$z = \text{filter}(b,a,x)$ ;

$\text{subplot}(2,1,1)$



Hình 5.5 - Mô phỏng quá trình lọc số

```

stem(k,x);grid on;
axis([0 50 -4 4])
title('tin hieu dau vao')
xlabel('thoi gian n')
ylabel('bien doi')
subplot(2,1,2)
stem(k,z); grid on;
axis([0 50 -4 4]);
title('tin hieu dau ra')
xlabel('thoi gian n')
ylabel('bien doi')
stem(k,z)

```

## 5.5. FDATAOOL

Để thiết kế bộ lọc số trên Matlab ta có thể dùng công cụ SPtool hoặc FDATAtool có sẵn trong Matlab. Ở đây ta sử dụng công cụ FDATAtool.

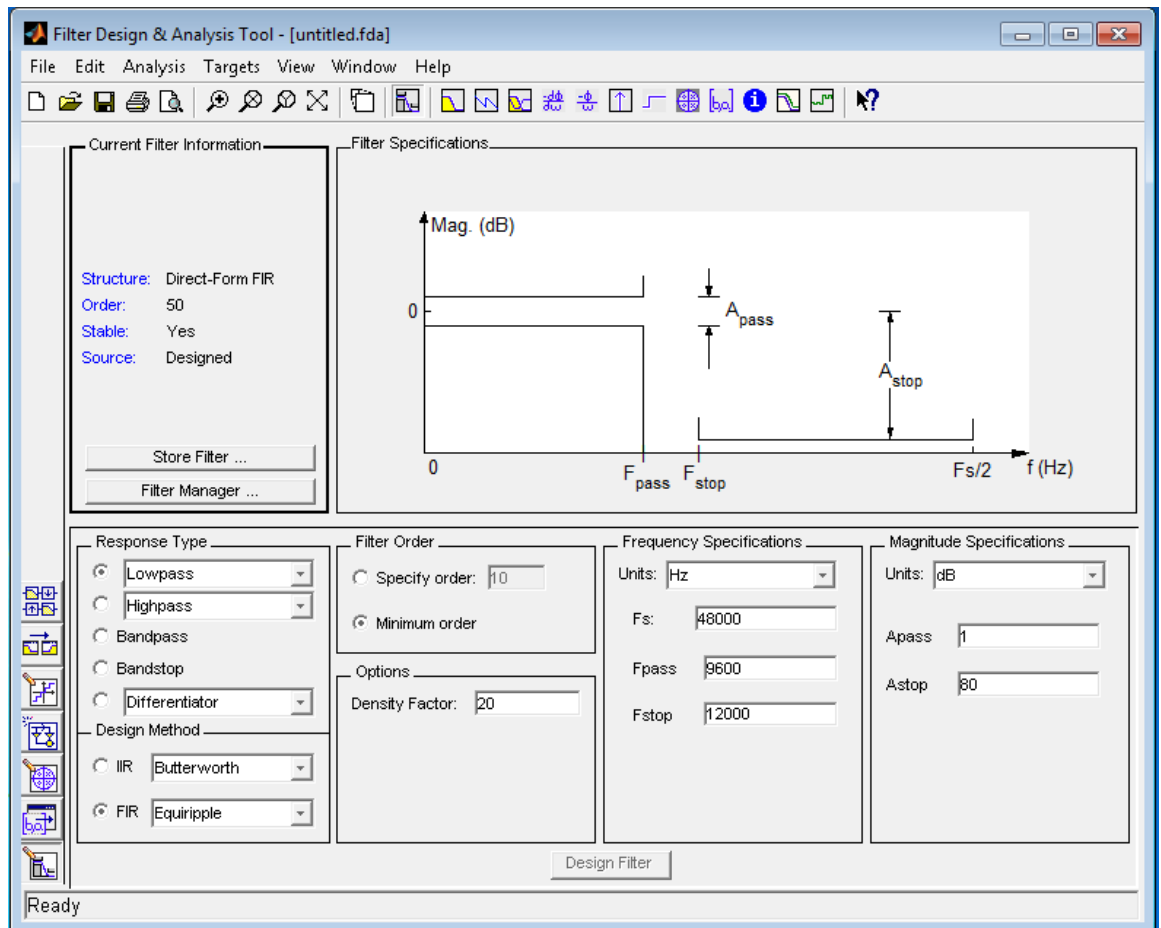
Để thiết kế bộ lọc số trên Matlab thực hiện theo những bước sau:

### 5.5.1. Khởi động FDATAtool.

Để kích hoạt công cụ thiết kế FDATAtool trong cửa sổ lệnh của Matlab, ta thực hiện nhập lệnh sau:

```
>> fdatool
```

Cửa sổ FDATool được gọi ra như sau:

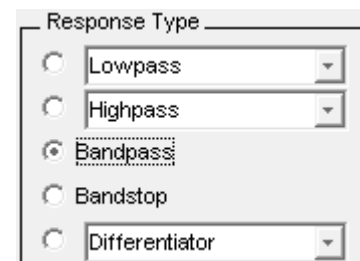


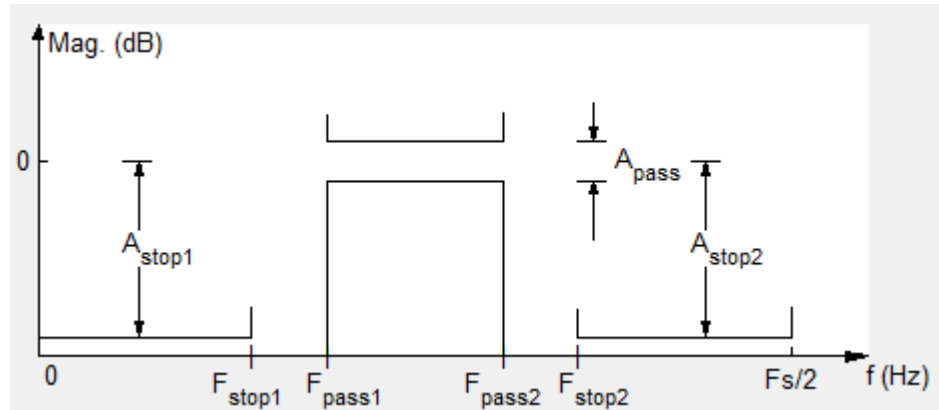
### 5.5.2. Chọn loại đáp ứng (Response Type) cho các bộ lọc:

- + Thông thấp (Lowpass)
- + Thông cao (Highpass)
- + Thông dải (Bandpass)
- + Chặn dải (Bandstop)
- + Bộ vi phân (Differentiator)
- + Đa dải (Multiband)
- + Hilbert transformer
- + Biên độ bất kỳ (Arbitrary magnitude)
- Raised cosine

Ví dụ để thiết kế bộ lọc thông dải ta chọn

Bandpass trong vùng Response Type

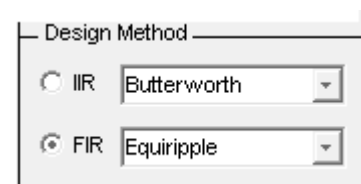




### 5.5.3. Chọn phương pháp thiết kế bộ lọc

Ta có thể lựa chọn phương pháp thiết kế bộ lọc bằng cách chọn trong vùng Design Method


Ví dụ muốn chọn thuật toán Remez để tính toán các hệ số bộ lọc FIR ta chọn FIR và Equiripple trong vùng Design Method



của

### 5.5.4. Đặt các đặc tính của bộ lọc

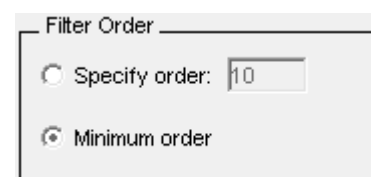
#### - Quan sát các đặc tính của bộ lọc

Để hiển thị vùng minh họa các đặc tính của bộ lọc ta chọn Analysis > Filter Specifications hoặc biểu tượng  trên thanh công cụ.

#### - Bậc bộ lọc

Ta có 2 lựa chọn để xác định bậc bộ lọc

- Specify order: đánh số bậc bộ lọc
- Minimum order: Bậc nhỏ nhất



Ví dụ chọn bậc nhỏ nhất

#### - Tùy chọn

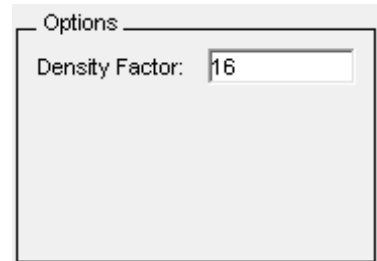
Các tùy chọn có sẵn phụ thuộc vào phương pháp thiết kế bộ lọc. Chỉ có phương pháp thiết kế FIR Equiripple và FIR Window có tùy chọn này. Đối với FIR Equiripple có tùy chọn Density Factor. Đối với FIR Window có tùy chọn Scale Passband, khi chọn Window thì có các tham số sau

Cửa sổ	Tham số
Chebyshev ( <u>chebwin</u> )	Búp sóng biên suy giảm

Gaussian ( <u>gausswin</u> )	Alpha
Kaiser ( <u>kaiser</u> )	Beta
Tukey ( <u>tukeywin</u> )	Alpha

Ta có thể quan sát đặc tính cửa sổ trong Window Visualization Tool bằng cách nhấn vào nút View.

Ví dụ đặt Density factor bằng 16.



**- Đặt các đặc tính của bộ lọc**

Đơn vị tần số: Hz, kHz, MHz, tiêu chuẩn hóa (0 đến 1)

Tần số lấy mẫu

Tần số dải thông

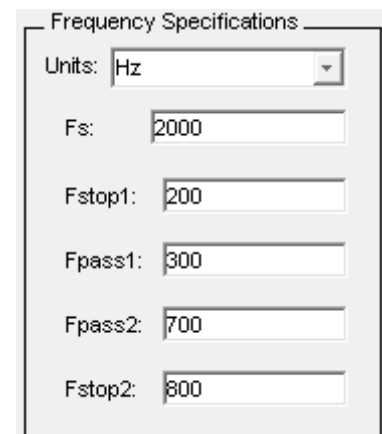
Tần số dải chặn

Ở dải thông xác định 2 tần số, tần số đầu tiên xác định mép dưới của dải thông, tần số thứ 2 xác định mép cao của dải thông. Tương tự như vậy ở dải chặn.

Ví dụ: Thiết kế bộ lọc thông dải có các chỉ tiêu sau

- Đơn vị tần số Hz
- Tần số lấy mẫu  $F_s = 2000\text{Hz}$
- Tần số kết thúc dải chặn đầu tiên  $F_{\text{stop1}} = 200\text{ Hz}$ .
- Tần số bắt đầu dải thông  $F_{\text{pass1}} = 300\text{ Hz}$ .
- Tần số kết thúc dải thông  $F_{\text{pass2}} = 700\text{ Hz}$ .
- Tần số bắt đầu dải chặn thứ 2  $F_{\text{stop2}} = 800\text{ Hz}$ .

Đặc tính biên độ của bộ lọc thông dải



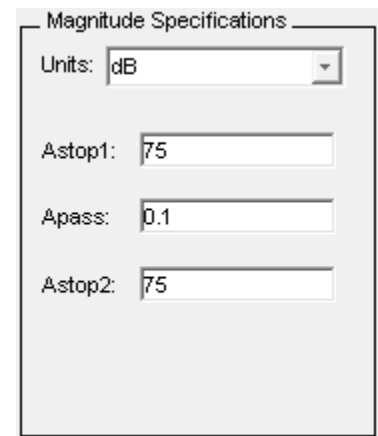


Đơn vị đáp ứng biên độ (dB hoặc linear)

- Độ gợn sóng dải thông
- Độ suy giảm dải chắn

Ví dụ:

- Đơn vị dB
- Độ gợn sóng dải thông  $A_{pass} = 0,1\text{dB}$
- Độ suy giảm dải chắn  $A_{stop1} = A_{stop2} = 75\text{dB}$






### Tính toán các hệ số của bộ lọc

Ta có thể tính toán các hệ số của bộ lọc bằng cách nhấn nút **Design Filter**

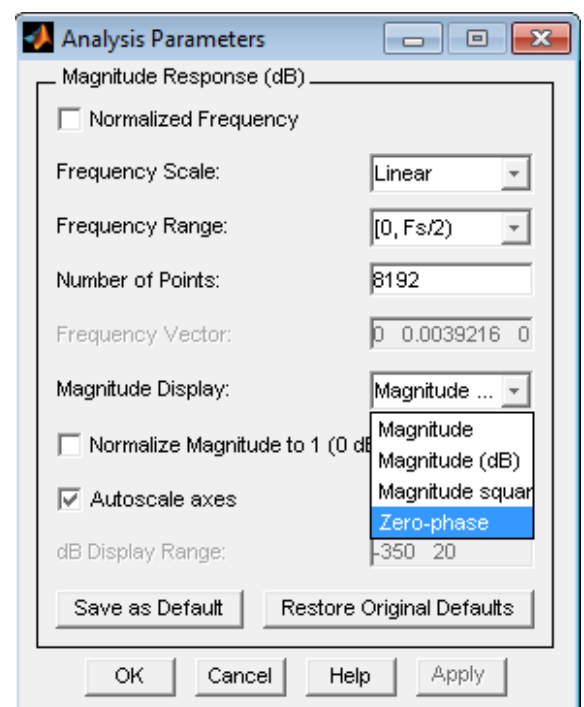
### 5.5.5. Phân tích bộ lọc

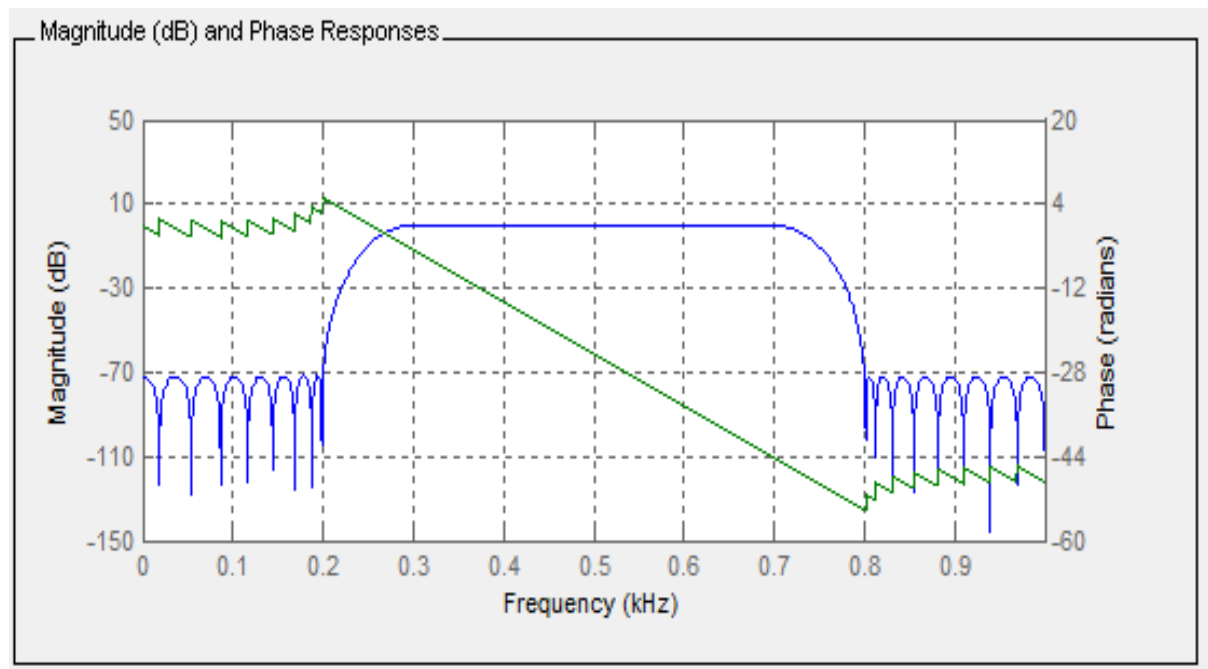
#### Hiển thị đáp ứng bộ lọc

Ta có thể hiển thị các đặc tính đáp ứng bộ lọc từ Analysis hoặc từ biểu tượng trên thanh công cụ.

- ☐ Magnitude response (Đáp ứng biên độ) hoặc biểu tượng 
- ☐ Phase response (Đáp ứng pha) hoặc biểu tượng 
- ☐ Magnitude and Phase responses (Đáp ứng biên độ và pha) hoặc biểu tượng 
- ☐ Group delay response (Đáp ứng trễ nhóm)
- ☐ Phase delay response (Đáp ứng trễ pha)
- ☐ Impulse response (Đáp ứng xung)
- ☐ Step response (đáp ứng nhảy bậc)
- ☐ Pole-zero plot (đồ thị điểm cực, điểm không)
- ☐ Zero-phase response (đáp ứng pha không)

Ta có thể hiển thị 2 đáp ứng trên cùng một hệ tọa độ bằng cách chọn Analysis > Overlay Analysis và lựa chọn đáp ứng cần hiển thị. Trục y thứ 2 bên phải của hệ tọa độ là của đáp ứng được hiển thị thêm.

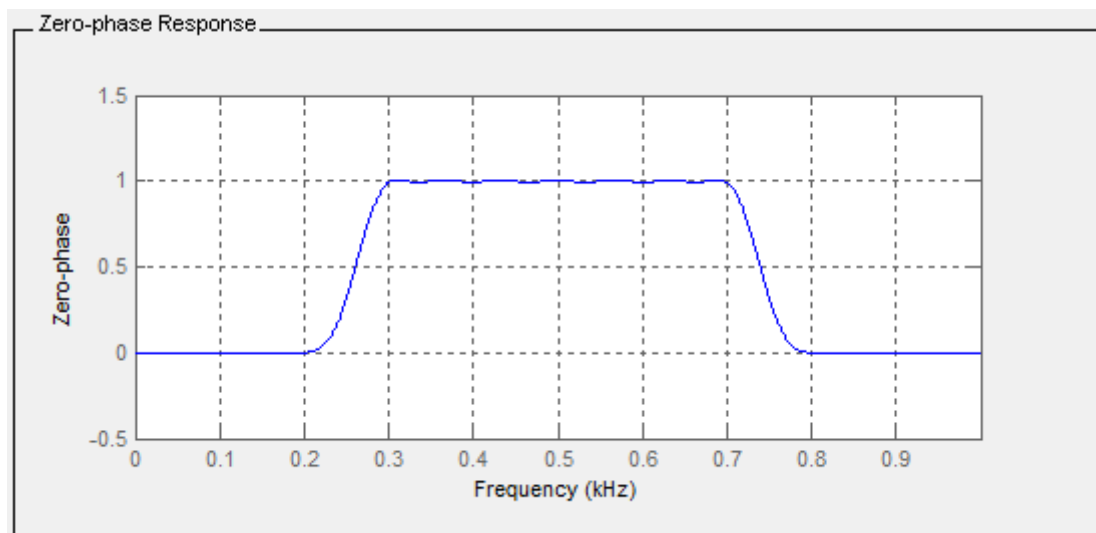




Ta cũng có thể hiển thị hệ số của bộ lọc và các thông tin chi tiết của bộ lọc trong vùng này.

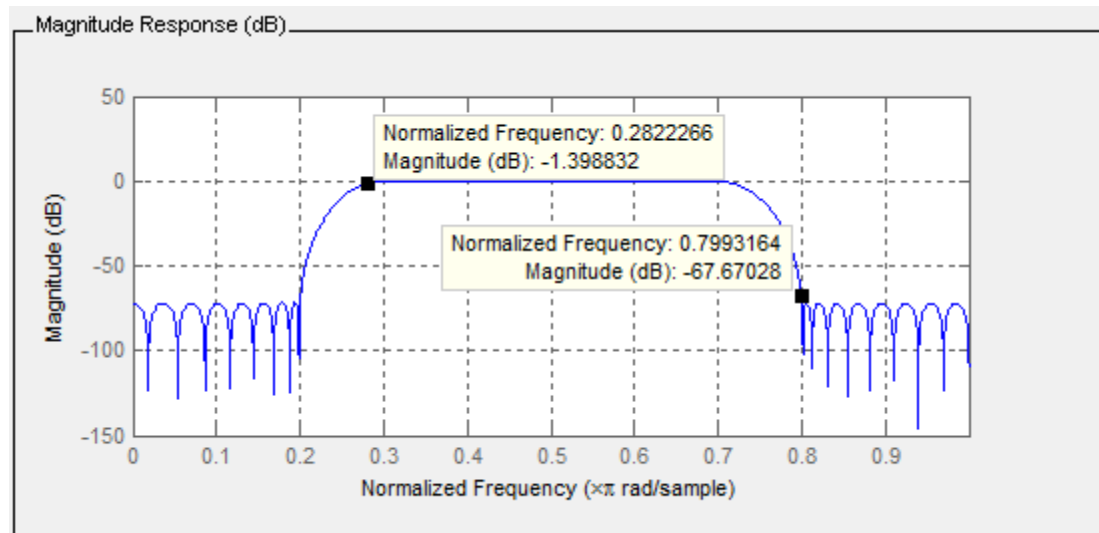
Đối với pha không ta bấm chuột phải vào trục y của hệ tọa độ, chọn Analysis Parameters và chọn pha không.

Ta có kết quả



#### - Sử dụng Data Tips

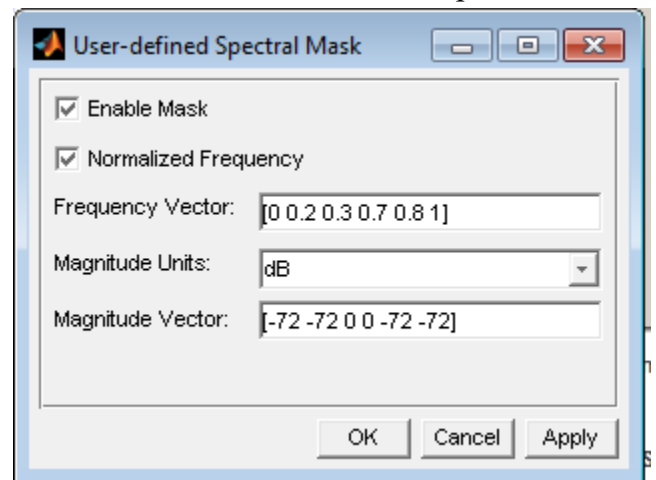
Ta có thể bấm vào 1 điểm trên đồ thị để hiển thị thêm thông tin về điểm đó trên đáp ứng.



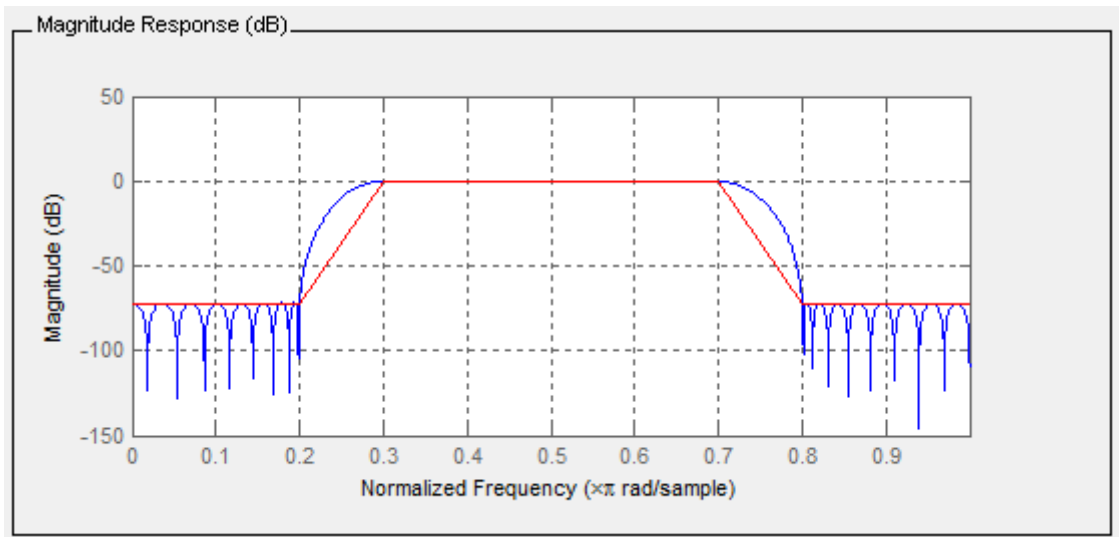
### - *Vẽ mặt nạ phổ*

Để thêm vào hoặc bỏ ra mặt nạ phổ trên đồ thị đáp ứng biên độ ta bấm View > User-defined Spectral Mask. Trong đó:

- Enable Mask – Lựa chọn để bật hiển thị mặt nạ.
- Normalized Frequency - Lựa chọn tần số tiêu chuẩn từ 0 đến 1 trên các phạm vi tần số.
- Frequency Vector– ghi các véc tơ của giá trị tần số trên trục x (ví dụ đối với bộ lọc thông dải ở ví dụ trên ta chọn 0 đến 0,2 là dải chặn, 0,2 đến 0,3 là dải quá độ, 0,3 đến 0,7 là dải thông, 0,7 đến 0,8 là dải quá độ và 0,8 đến 1 là dải chặn).
- Magnitude Units – Đơn vị đo biên độ.
- Magnitude Vector – Ghi các vectơ của các giá trị biên độ trên trục y.



Ta có kết quả sau.



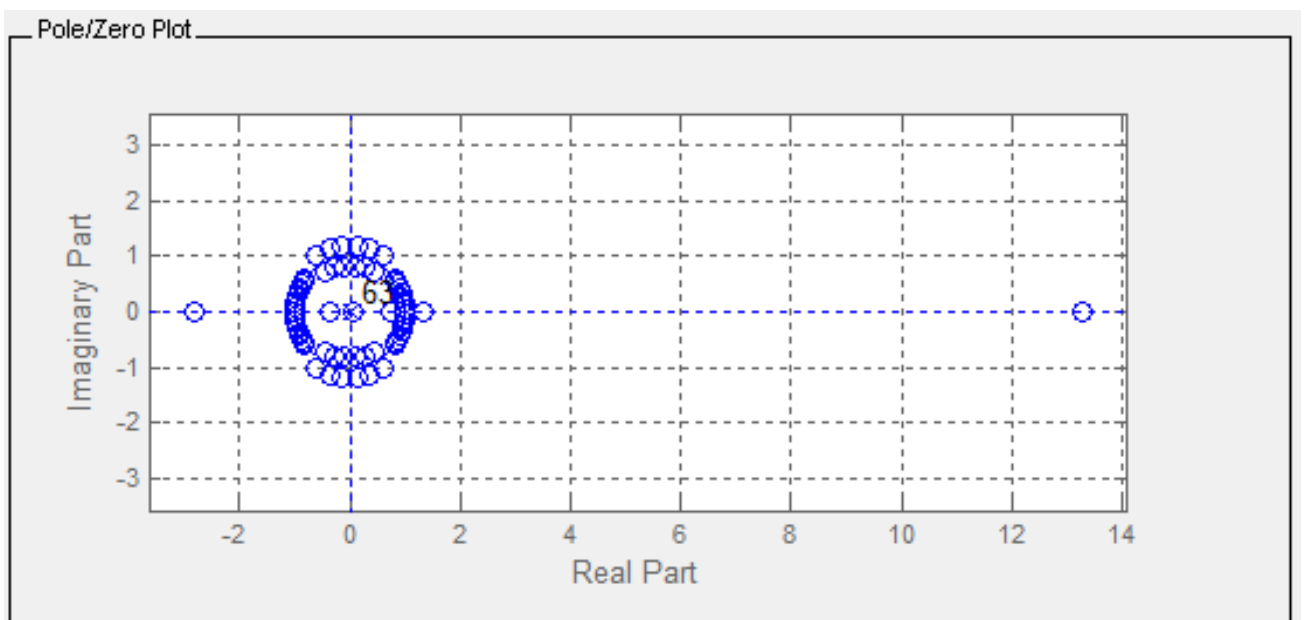
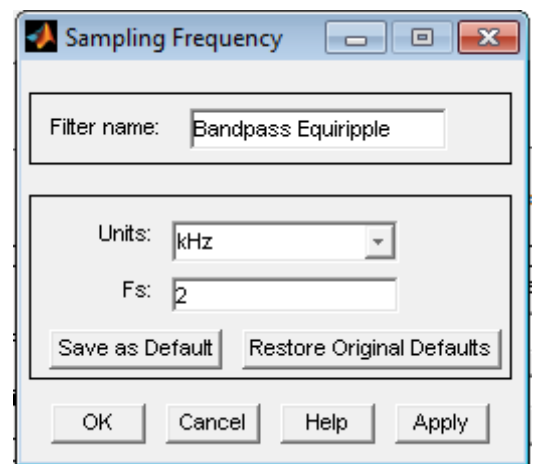
### ***Thay đổi tần số lấy mẫu***

Ta có thể thay đổi tần số lấy mẫu của bộ lọc bằng cách bấm chuột phải vào điểm bất kỳ nào trên đồ thị đáp ứng và chọn Sampling Frequency

Để thay đổi tên bộ lọc ta ghi tên mới vào Filter name

### ***Hiển thị đồ thị điểm cực, điểm không***

Chọn Analysis -> Pole/Zero Plot



#### 5.4.6. Lưu hệ số file của bộ lọc

Trước hết ta chọn vùng làm việc cho bộ lọc đang thiết kế

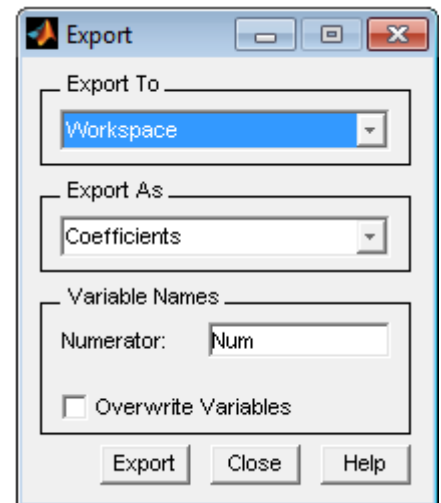
Vào File/ Export xuất hiện cửa sổ Export

Trong: - Export To chọn Workspace

- Export As chọn Coefficients

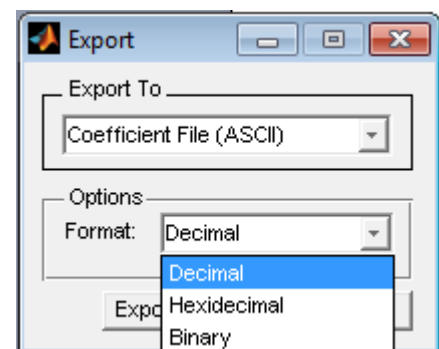
-> Export

Để lưu hệ số file của bộ lọc vào File/ Export xuất hiện cửa sổ Export



Trong: - Export To chọn Coefficient File (ASCII)

- Options chọn Decimal cho định dạng số thập phân, chọn Hexidecimal (hecxa), chọn Binary (nhị phân)



#### 5.6 BÀI TẬP THỰC HÀNH

**Bài tập 1.** Cho tín hiệu :  $x_1(t) = 2\sin(2\pi 500t)$ ,  $x_2(t) = 4\sin(2\pi 800t)$ ,

$x_3(t) = 2\cos(2\pi 1000t)$ ,  $x_4(t) = 3\cos(2\pi 1500t)$ ,

$x(t) = x_1(t) + x_2(t) + x_3(t) + x_4(t)$

- Biểu diễn tín hiệu  $x(n)$  trên miền thời gian và miền tần số.

- Thiết kế bộ lọc IIR Butterworth có  $R_p = 0,5\text{dB}$ ,  $R_s = 40\text{dB}$  để lọc ra tín hiệu có tần số 500Hz, 800Hz. Vẽ đồ thị mô phỏng phổ biên độ  $H(e^{j\omega})$  theo đơn vị dB và đáp ứng pha của bộ lọc. Biểu diễn tín hiệu sau lọc trên miền thời gian và miền tần số.

**Bài tập 2.** Cho tín hiệu :  $x_1(t) = 2\sin(2\pi 600t)$ ,  $x_2(t) = 4\sin(2\pi 900t)$ ,

$x_3(t) = 2\cos(2\pi 1200t)$ ,  $x_4(t) = 3\cos(2\pi 1500t)$ ,

$x(t) = x_1(t) + x_2(t) + x_3(t) + x_4(t)$

- Biểu diễn tín hiệu  $x(n)$  trên miền thời gian và miền tần số.

- Thiết kế bộ lọc IIR Chebyshev1 có  $R_p = 0,1\text{dB}$ ,  $R_s = 60\text{dB}$  để lọc ra tín hiệu có tần số 900Hz. Vẽ đồ thị mô phỏng phổ biên độ  $H(e^{j\omega})$  theo đơn vị dB và đáp ứng pha của bộ lọc. Biểu diễn tín hiệu sau lọc trên miền thời gian và miền tần số.

**Bài tập 3.** Cho tín hiệu :  $x_1(t) = 2\sin(2\pi 500t)$ ,  $x_2(t) = 4\sin(2\pi 900t)$ ,

$$x_3(t) = 2\cos(2\pi 1200t), \quad x_4(t) = 3\cos(2\pi 1600t),$$

$$x(t) = x_1(t) + x_2(t) + x_3(t) + x_4(t)$$

- Biểu diễn tín hiệu  $x(n)$  trên miền thời gian và miền tần số.
- Thiết kế bộ lọc IIR Chebyshev2 có  $R_p = 0,2\text{dB}$ ,  $R_s = 80\text{dB}$  để lọc ra tín hiệu có tần số 1200Hz, 1600Hz. Vẽ đồ thị mô phỏng phổ biên độ  $H(e^{j\omega})$  theo đơn vị dB và đáp ứng pha của bộ lọc. Biểu diễn tín hiệu sau lọc trên miền thời gian và miền tần số.

**Bài tập 4.** Cho tín hiệu :  $x_1(t) = 2\sin(2\pi 400t)$ ,  $x_2(t) = 4\sin(2\pi 700t)$ ,

$$x_3(t) = 2\cos(2\pi 1000t), \quad x_4(t) = 3\cos(2\pi 1800t),$$

$$x(t) = x_1(t) + x_2(t) + x_3(t) + x_4(t)$$

- Biểu diễn tín hiệu  $x(n)$  trên miền thời gian và miền tần số.
- Thiết kế bộ lọc IIR Elliptic có  $R_p = 0,4\text{dB}$ ,  $R_s = 50\text{dB}$  để lọc ra tín hiệu có tần số 400Hz, 1800Hz. Vẽ đồ thị mô phỏng phổ biên độ  $H(e^{j\omega})$  theo đơn vị dB và đáp ứng pha của bộ lọc. Biểu diễn tín hiệu sau lọc trên miền thời gian và miền tần số.