

# Лабораторна робота № 7

## Синтез цифрових фільтрів в середовищі MATLAB

Мета роботи: Вивчити методи проектування цифрових фільтрів

### Теоретичні відомості

Фільтрацією називається процес зміни частотного спектру сигналу в деякому бажаному напрямі. Цей процес може привести до посилення або ослаблення частотних складових в деякому діапазоні частот, до придушення або виділення якій-небудь конкретній складовій і тому подібне.

Цифровим фільтром називається цифрова система, яку можна використовувати для фільтрації дискретних сигналів. Він може бути реалізований програмним методом або за допомогою спеціальної апаратури, і в кожному з цих випадків цифровий фільтр можна застосувати для фільтрації сигналів як в реальному часі, так і заздалегідь записаних.

Цифровий фільтр можна представити структурною схемою, зображеною на рис. 1. На цій схемі  $x(n)$  і  $y(n)$  – відповідно, вхідна дія і реакція фільтру на цю дію. Функціонально вони зв'язані співвідношенням

$$y(n) = \Phi[x(n)]$$

де вигляд оператора залежить від властивостей конкретної системи.

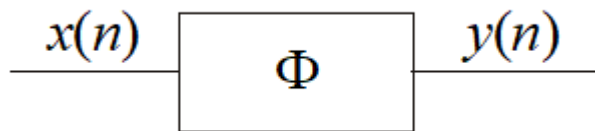


Рис. 1.

Реакцію цифрового фільтру на довільну дію можна представити за допомогою імпульсної характеристики фільтру. Допустимо, що  $x(n)$  – вхідна, а  $y(n)$  – вихідна послідовності фільтру і нехай  $h(n)$  – відгук на одиничний імпульс, званий імпульсною характеристикою. Тоді

$$y(n) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} h(m)x(n-m)$$

Таким чином  $x(n)$  і  $y(n)$  зв'язані співвідношенням типу згортки. Частотна характеристика фільтру визначається наступним виразом:

$$H(e^{j\omega}) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} h(m)e^{-j\omega m} \quad (1)$$

Оскільки частотна характеристика є періодичною функцією частоти  $\omega$ , рівність (1) можна розглядати як розкладання в ряд Фур'є, причому коефіцієнти є одночасно відліками імпульсної характеристики. Згідно теорії рядів Фур'є, коефіцієнти  $h(n)$  можуть бути виражені через  $H(e^{j\omega})$ :

$$h(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} H(e^{j\omega})e^{j\omega n} d\omega$$

З цього співвідношення видно, що  $h(n)$  по суті є суперпозицією синусоїд  $e^{j\omega n}$  з амплітудами  $H(e^{j\omega})$ , які можна представити таким чином:

$$H(e^{j\omega}) = |H(e^{j\omega})| e^{j \arg H(e^{j\omega})}$$

Вираз  $|H(e^{j\omega})|$  називають амплітудною характеристикою фільтра, а  $e^{j \arg H(e^{j\omega})}$  - фазовою характеристикою фільтра.

### Графічний інтерфейс Fdatool

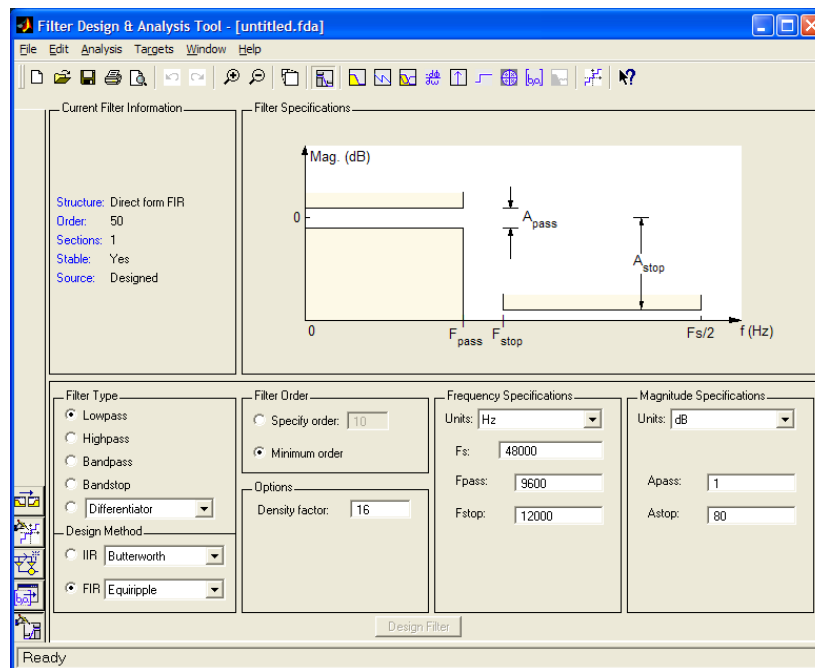


Рис. 2

Опис панелі інструментів:

Піктограма	Опис функції
	Перегляд специфікації фільтра в окремому вікні
	Перегляд амплітудної характеристики поточного фільтра
	Перегляд фазової характеристики поточного фільтра
	Перегляд амплітудної і фазової характеристик поточного фільтра одночасний
	Груповий час затримки (середня затримка сигналу як функція від частоти)
	Імпульсна характеристика текущего фильтра
	Перехідна функція поточного фільтра
	Перегляд нулів і полюсів поточного фільтра в z-площині
	Коефіцієнти поточного фільтра (залежать від його

## Вибір типу фільтру

Тип фільтру вибирається в блоці Filter Type

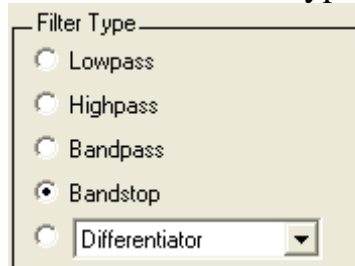
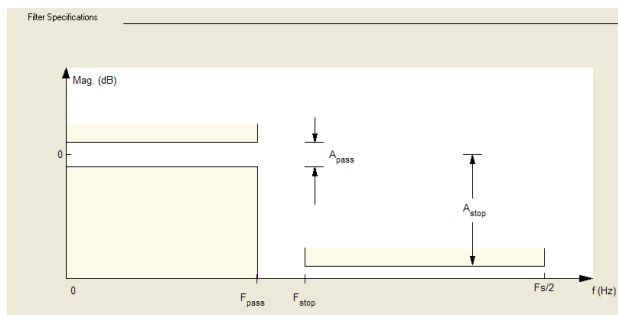


Рис.3

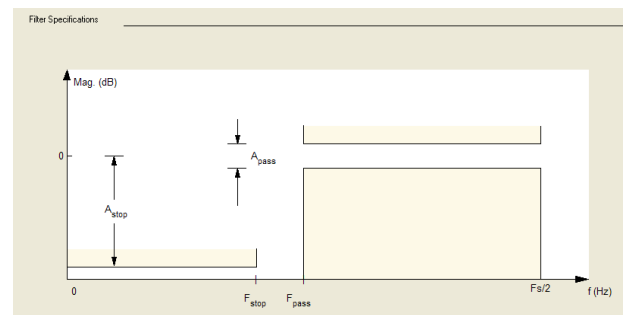
Передбачені наступні типи фільтрів:

- НЧ-фільтр (Lowpass)
- ВЧ-фільтр (Highpass)
- Смуговий фільтр (Bandpass)
- Режекторний фільтр (Bandstop)
- Інші типи фільтрів, вибрані в спадаючому списку.

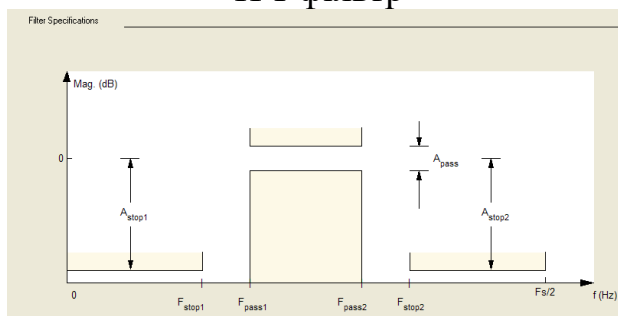
При виборі типу фільтру міняється блок специфікації (Filter Specification) і блоки параметрів. Параметри зручно встановлювати спираючись на блок специфікації



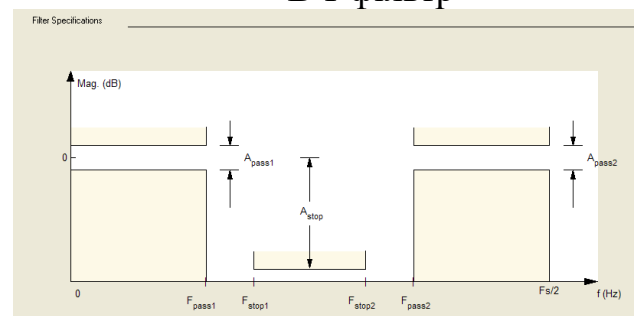
НЧ-фільтр



ВЧ-фільтр



Смуговий фільтр



Режекторний фільтр

Рис. 4

Вибір метода проектування

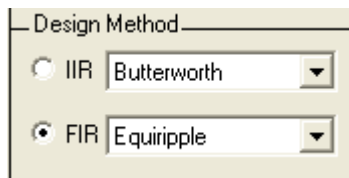


Рис. 5

Завдання: синтезувати БІХ фільтр нижніх частот з наступними параметрами:  
частота зрізу = 6 кГц

Частота смуги затримки = 8,8 кГц

Пульсація в смузі пропускання = 1 дБ

Пульсація (загасання) в смузі затримки = 30 дБ

Частота дискретизації = 32 кГц

Порядок проектування і аналізу фільтру наступний:

1. Запустити Fdatoolbox;
2. Вибираємо типа фільтру – Lowpass;
3. Вибираємо метод синтезу – Iir, в якості фільтру прототипу Butterworth;

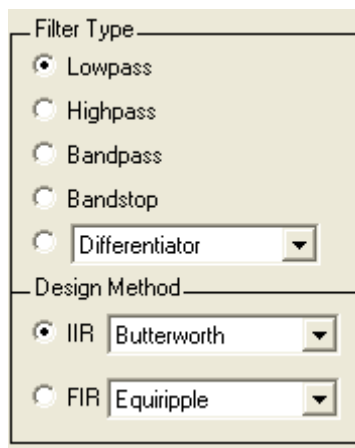


Рис. 6

4. Задаємо специфікацію відповідно до завдання

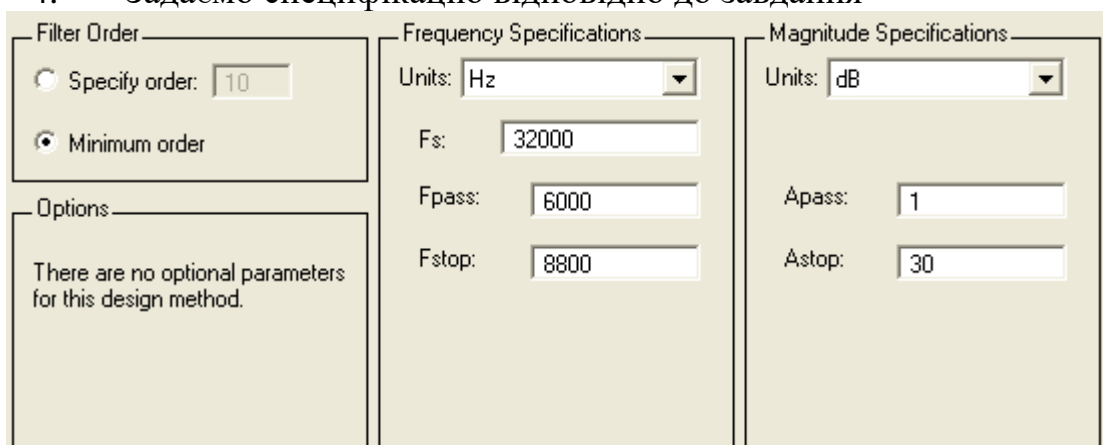


Рис.7

5. Натискуємо кнопку Design Filter
6. Використовуючи засоби аналізу fdatool отримуємо:

- 6.1 АЧХ і ЛАЧХ (рис. 8-9) а. ФЧХ (рис. 10)
- 6.2. Імпульсна характеристика (рис. 11)
- 6.3. Перехідна функція (рис. 12)
- 6.4. Нулі і полюси (рис. 13)

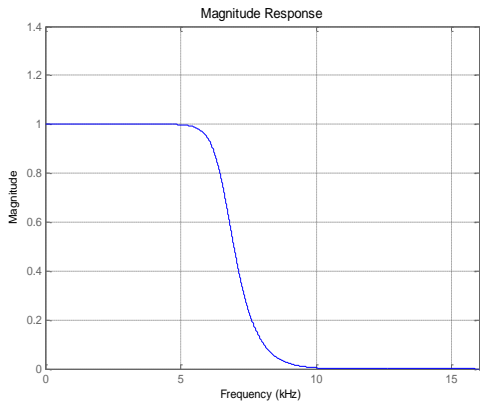


Рис. 8

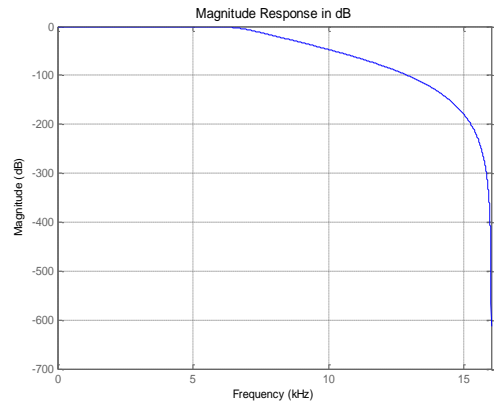


Рис. 9

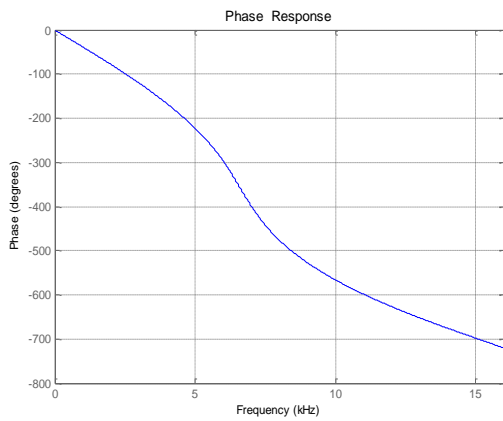


Рис. 10

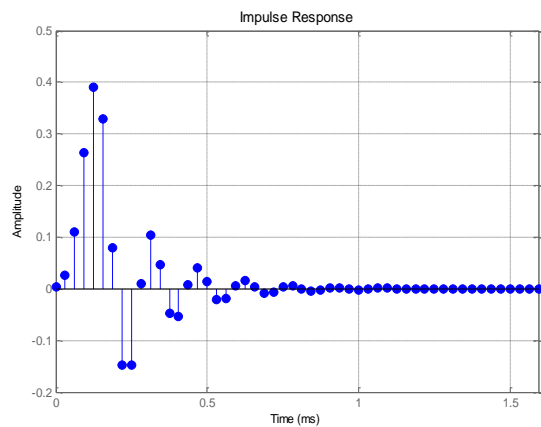


Рис. 11

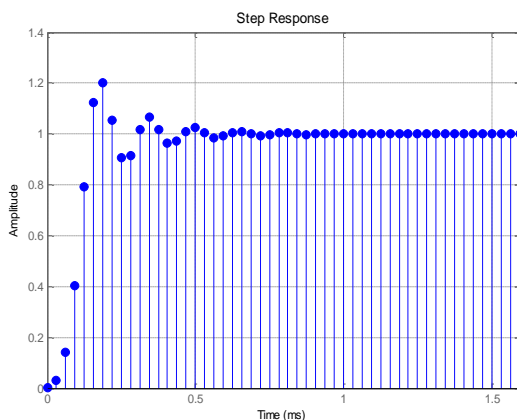


Рис. 12

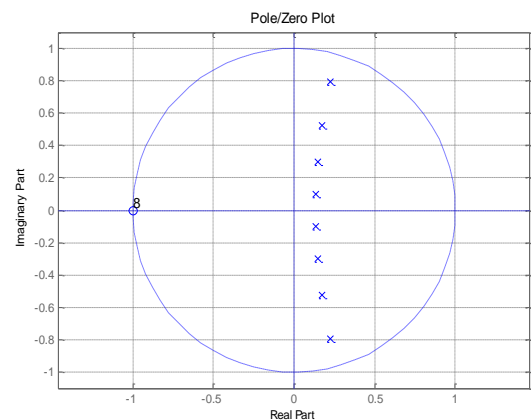


Рис. 13

7. Отримасмо структурну схему фільтру  
 Натискувати на кнопку Realise Model. Дана функція дозволяє синтезувати імітаційну модель фільтру в Simulink.

Здаємо необхідні параметри  
Натискуємо кнопку Realise Model.

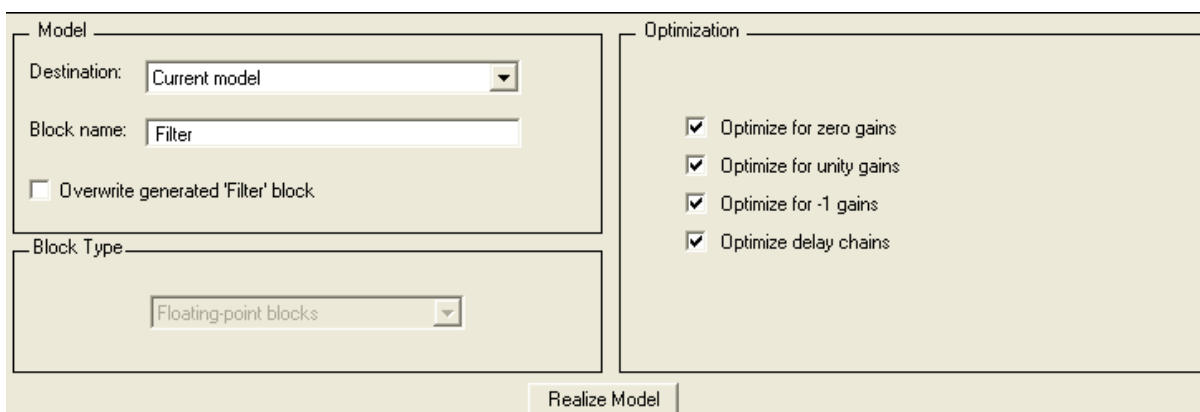


Рис. 14

В результаті отримуємо канонічну форму (Direct form II), що складається з 4 послідовно сполучених фільтру другого порядку (рис. 15)

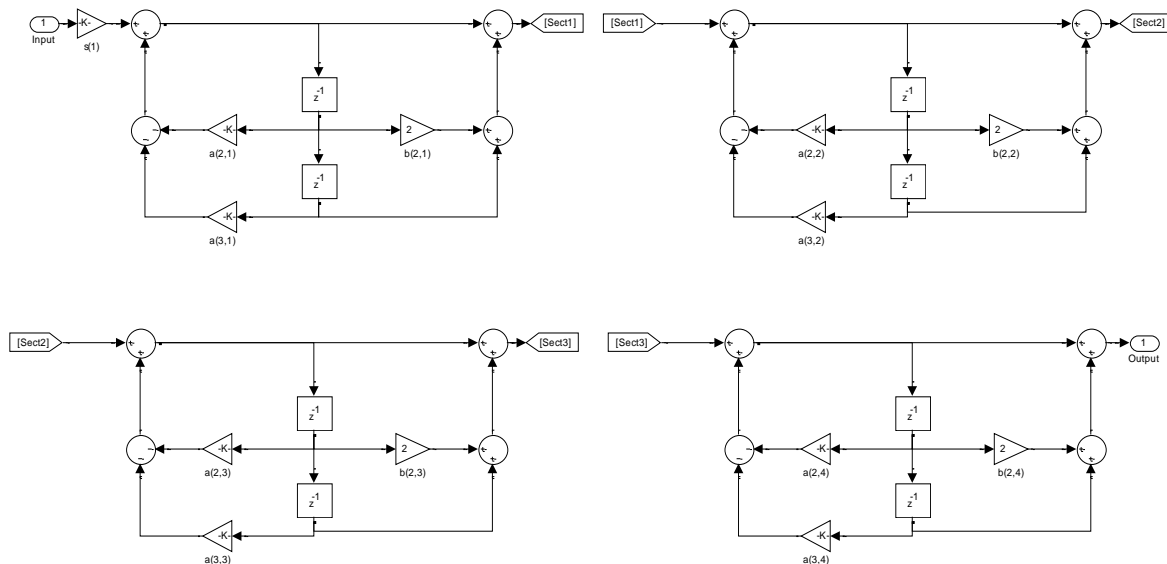


Рис. 15

Наведіть інші структурні схеми для даного фільтру.

### Завдання для самостійної роботи

1. Синтезувати БІХ, КИХ фільтри (НЧ, ВЧ, смугові і режекторні) з наступними параметрами

Номер варіанта	$F_d$	$F_1$	$F_2$	$F_1^s$	$F_2^s$	$Q_i$	$Q_c$
1	3000	200	400	400	800	3	20
2	200	10	30	20	60	3	30
3	10000	1000	1400	2000	2800	3	40
4	300	50	100	70	35	3	50
5	100	10	30	50	55	3	20
6	400	50	100	200	250	3	30
7	1000	100	300	200	300	3	40
8	256	30	70	60	100	3	50
9	5000	1000	1200	2000	2500	3	20
10	500	200	400	400	800	3	30
11	600	200	500	400	800	3	40
12	700	10	30	20	60	3	50
13	800	100	900	2000	2800	3	60
14	900	200	800	70	35	3	70
15	1000	10	30	50	55	3	20
16	1100	50	100	200	250	3	30
17	1200	100	700	200	300	3	40
18	200	30	70	60	100	3	50
19	300	1000	1200	2000	2500	3	60
20	400	200	400	500	800	3	70
21	500	200	900	400	300	3	80
22	600	10	30	20	60	3	20
23	9000	1000	1400	200	800	3	30
24	300	200	500	700	300	3	40
25	100	100	300	500	55	3	50

Позначення:

$F_d$  - частота дискретизації

$F_1, F_2$  - , - частоти зрізу (для фільтрів нижніх і верхніх частот - лише  $F_1$ )

$F_1^s, F_2^s$  - - частоти смуги затримки, на яких задається загасання

$Q_i, Q_c$ ,- пульсація (загасання) в смузі пропускання і в смузі затримки відповідно.

2. Проаналізувати

- амплітудні характеристики
- імпульсні характеристики
- перехідні характеристики
- положення полюсів і нулів
- фазові характеристики,

3. Знайти метод синтезу для кожного варіанту, що забезпечує
  - найбільш короткий фільтр
  - найменшу затримку вихідного сигналу
  - найменше спотворення форми сигналу.
4. Отримати структурні схеми реалізації фільтрів
5. Результати роботи оформити у вигляді звіту.

#### **Контрольні питання**

1. Що таке імпульсна характеристика фільтру?
2. Як імпульсна характеристика пов'язана з АЧХ і ФЧХ?
3. Що таке ЛАЧХ фільтру?
4. Що таке стійкість фільтру?
5. Які критерії стійкості аналогового і дискретного фільтру?
6. Які функції Matlab реалізовані в GUI Fdatool?