

Лабораторна робота №3

СИНТЕЗ КІХ-ФІЛЬТРІВ МЕТОДОМ НАЙКРАЩОЇ РІВНОМІРНОЇ (ЧЕБИШОВСЬКОЇ) АПРОКСИМАЦІЇ

Мета: вивчити процедуру синтезу КІХ-фільтрів методом найкращої рівномірної (чебишовської) апроксимації і оволодіти програмними засобами MATLAB для синтезу та аналізу КІХ-фільтрів; познайомитися з GUI FVTool (Filter Visualization Tool - засіб візуалізації фільтра).

Коротка теоретична довідка

1. Процедура синтезу КІХ-фільтрів методом чебишовської апроксимації

Метод найкращої рівномірної (чебишовської) апроксимації (коротко - чебишовської апроксимації) дозволяє синтезувати оптимальний КІХ-фільтр.

Довжиною і порядком КІХ-фільтра називають відповідно число коефіцієнтів N і порядок R передаточної функції, що дорівнює:

$$R = N - 1.$$

Оптимальним називають КІХ-фільтр мінімально можливого порядку R при заданих вимогах до АЧХ.

Щоб уникнути плутанини з порядком R_{\min} КІХ-фільтра, синтезованого методом вікон (див. практичне заняття 8) при тих же вимогах до АЧХ, введемо позначення оптимального порядку R_{opt} :

$$R_{\text{opt}} < R_{\min} \quad (1)$$

Коефіцієнти КІХ-фільтра визначаються в результаті пошуку мінімуму модуля максимальної *зваженої* помилки апроксимації (критерій Чебишева) на *інтервалі апроксимації* - сукупності смуг пропускання (СП) і затримування (СЗ) КІХ-фільтра.

Ваги - числа, завжди більші одиниці, - розраховуються наступним чином:

- вага, що дорівнює одиниці, присвоюється смузі з найбільшим максимально допустимим відхиленням;
- ваги в інших смугах розраховуються як відношення найбільшого

максимально допустимого відхилення до максимально допустимому відхиленню в даній смузі.

Згідно з теоремою Чебишева, мінімум максимальної (по модулю) *зваженої* помилки апроксимації $\delta_{\min \max}$ досягається в точках *альтернанса* - частотах, на яких *максимальне* (по модулю) *зважене* відхилення амплітудної функції (АЧХ дорівнює її модулю) від ідеальної АЧХ *мінімально* $\delta_{\min \max}$, однаково і чергується за знаком.

Число точок альтернанса взаємопов'язане з порядком КІХ-фільтра і не може бути меншим, ніж представлене в табл. 1.

Таблиця 1. Кількість точок альтернанса і порядок КІХ-фільтра

Тип КІХ-фільтра	Число точок альтернанса m	Порядок фільтра R
Тип 1 (Туре-1): порядок R - парний; ІХ $h(n)$ - симетрична	$m = \frac{R}{2} + 2$	$R = 2m - 4$
Тип 2 (Туре-2): порядок R - непарний; ІХ $h(n)$ - симетрична	$m = \frac{R-1}{2} + 2$	$R = 2m - 3$
Тип 3 (Туре-3): порядок R - парний; ІХ $h(n)$ - антисиметрична; $h(R/2)=0$	$m = \frac{R}{2} + 1$	$R = 2m - 2$
Тип 4 (Туре-4): порядок R - непарний; ІХ $h(n)$ - антисиметрична	$m = \frac{R-1}{2} + 2$	$R = 2m - 3$

Синтез КІХ-фільтра зводиться до розрахунку його імпульсної характеристики.

Процедура синтезу КІХ-фільтрів методом чебишовської апроксимації є *ітераційною* і включає в себе наступні кроки:

1. Завдання вимог до АЧХ.
2. Оцінка порядку фільтра R .

Оцінкою порядку R називають початкове значення порядку в ітераційній процедурі синтезу фільтра, яке визначається автоматично за емпіричною формулою на підставі вимог до АЧХ.

3. Розрахунок імпульсної характеристики фільтра (ІХ) $h(n)$.

Розрахунок ІХ $h(n)$ проводиться за допомогою чисельного методу, розробленого на основі обмінного алгоритму Ремеза і відомого в англійській літературі як алгоритм Паркса–Мак-Кліллена.

Імпульсна характеристика може бути як симетричною, так і антисиметричною, тому необхідно стежити за тим, на основі якого з чотирьох типів КІХ-фільтрів може синтезуватися фільтр необхідної вибіркової (див. табл. 2).

Таблиця 2. Чотири типи КІХ-фільтрів з ЛФЧХ

Тип КІХ-фільтра	ЛФЧХ (з точністю до стрибків на π)	ЦФ
Тип 1 (Type-1): порядок R - парний; ІХ $h(n)$ - симетрична	$\varphi(\hat{\omega}) = -\frac{\hat{\omega}R}{2}$	ФНЧ, ФВЧ, СФ, РФ
Тип 2 (Type-2): порядок R - непарний; ІХ $h(n)$ - симетрична	$\varphi(\hat{\omega}) = -\frac{\hat{\omega}R}{2}$	ФНЧ, СФ
Тип 3 (Type-3): порядок R - парний; ІХ $h(n)$ - антисиметрична; $h(R/2)=0$	$\varphi(\hat{\omega}) = \frac{\pi}{2} - \frac{\hat{\omega}R}{2}$	СФ ЦПГ ЦД
Тип 4 (Type-4): порядок R - непарний; ІХ $h(n)$ - антисиметрична	$\varphi(\hat{\omega}) = \frac{\pi}{2} - \frac{\hat{\omega}R}{2}$	ФВЧ, СФ ЦПГ ЦД

4. Перевірка виконання вимог до АЧХ.

При синтезі в MATLAB програмними засобами перевірка виконання вимог до АЧХ залежить від порівнянні максимальної (по модулю) зваженої

помилки апроксимації $\delta_{\min \max}$ з допустимим зваженим відхиленням δ_{\max} АЧХ від ідеальної АЧХ, рівним (див. практичне заняття 8).

- для ФНЧ і ФВЧ:

$$\delta_{\max} = \max\{\delta_1, \delta_2\}; \quad (2)$$

- для СФ:

$$\delta_{\max} = \max\{\delta_{21}, \delta_1, \delta_{22}\}; \quad (3)$$

- для РФ:

$$\delta_{\max} = \max\{\delta_{11}, \delta_2, \delta_{12}\}. \quad (4)$$

Можливі дві ситуації.

- Вимоги до АЧХ не виконуються: $\delta_{\min \max} > \delta_{\max}$.

В цьому випадку слід збільшити порядок R і повернутися до пп. 3-4.

- Вимоги до АЧХ виконуються: $\delta_{\min \max} \leq \delta_{\max}$.

В цьому випадку слід зменшити порядок R і повернутися до пп. 3-4.

В обох випадках збільшення/зменшення порядку R триває до тих пір, поки не буде знайдений оптимальний (мінімальний) порядок R_{opt} , при якому виконуються вимоги до АЧХ.

5. Вибір структури КІХ-фільтра (див. табл. 3).

Таблиця 3. Функції `structure` і структури КІХ-фільтрів з ЛФЧХ

Функція <code>structure</code>	Параметр функції <code>structure</code>	Структура КІХ-фільтра
dffir	b - вектор коефіцієнтів передаточної функції (1.1)	Direct-Form FIR (пряма)
dfsymfir	b - вектор коефіцієнтів передаточної функції (1.1), симетричних щодо $N/2$	Direct-Form Symmetric FIR (пряма приведена з симетричною ІХ, див. рис. 1.6, а)
dfasymfir	b - вектор коефіцієнтів передаточної функції (1.1), антисиметричних щодо $N/2$; при парному $N - b(N/2) = 0$	Direct-Form Antisymmetric FIR (пряма приведена з антисиметричною ІХ, див. рис. 11.6, б)

Синтез оптимальних КІХ-фільтрів методом чебишовської апроксимації виконується за допомогою функції:

[b,error,opt] = firpm(R,f0,m0,weight,ftype,{lgrid})

де R – порядок фільтра R (1.2); f_0 – вектор-стовпець нормованих частот

$\hat{f} = \frac{f}{f_0/2}$ = в основній смузі $[0;1]$, що включає ліву межу основної смуги

частот (0), *граничні частоти* СП і СЗ в порядку їх слідування зліва направо і

праву межу основної смуги (1); m_0 – вектор-стовпець значень ідеальної АЧХ

на частотах вектора f_0 ; довжини векторів m_0 і f_0 збігаються; $weight$ –

вектор-стовпець ваг в СП і СЗ в порядку проходження зліва направо; $ftype$ –

параметр, який вказує тип КІХ-фільтра і приймає значення (див. табл. 2):

- 'hilbert' - для 3-го і 4-го типів і цифрових перетворювачів Гільберта;
- 'differentiator' - для 3-го і 4-го типів і цифрових диференціаторів;
- за замовчуванням (якщо параметр відсутній) - для 1-го і 2-го типів;
- '' (Пробіл) - буде тотожною відсутності параметра $ftype$.

$lgrid$ - коефіцієнт щільності сітки частот (Density Factor); вказується елементом масиву комірок в фігурних дужках і дорівнює цілому числу, більшому 16-ти (за замовчуванням – 16); з ростом $lgrid$ зростає точність обчислення коефіцієнтів b , і разом з тим – обсяг обчислень.

b – вектор коефіцієнтів передаточної функції $H(z) = \sum_{i=0}^{N-1} b_i z^{-i} = \sum_{n=0}^{N-1} h(n) z^{-n}$

довжини $N = R + 1$.

opt - масив записів з наступними полями:

- $opt.fgrid$ – сітка нормованих частот (вектор) на інтервалі апроксимації (сукупності СП і СЗ) в шкалою нормованих частот \hat{f} ; права межа основної смуги частот, що дорівнює одиниці, не виводиться;

- $opt.H$ – вектор значень комплексної частотної характеристики

на сітці частот `opt.fgrid`;

- o `opt.error` – вектор відхилень АЧХ від ідеальної на сітці частот `opt.fgrid`;

- o `opt.des` – вектор значень ідеальної АЧХ на сітці частот `opt.fgrid`;

- o `opt.wt` – вектор ваг на сітці частот `opt.fgrid`;

- o `opt.iextr` – вектор номерів елементів вектора `opt.fgrid`, відповідних частотам альтернанса;

- o `opt.fextr` – вектор нормованих частот альтернанса.

`error` – максимальна (по модулю) зважена помилка апроксимації $\delta_{\min\max}$: `error = max(abs(opt.error))`.

Оцінка порядку R КІХ-фільтра для функції `firpm`, а також обчислення параметрів `f0`, `m0`, `weight` проводиться за вимогами до АЧХ з допомогою функції:

`[R, f0, m0, weight] = firpmord(f, m, ripple, Fs)`

де `f` – вектор граничних частот СП і СЗ в порядку їх слідування зліва направо в шкалі частот f (Гц) в основній смузі $[0; f_0 / 2]$; `m` – вектор значень ідеальної АЧХ в порядку їх слідування зліва направо; дотримується умова `length(f) = 2*length(m)-2`; `ripple` – вектор максимально допустимих відхилень АЧХ в порядку їх слідування зліва направо; `Fs` – частота дискретизації f_d (Гц); R – оцінка порядку фільтра R з точністю до ± 2 .

Інші параметри були визначені раніше для функції `firpm`.

3. Опис вимог до характеристики загасання у вигляді об'єкта ***fdesign***

В MATLAB є засоби синтезу КІХ- і БІХ-фільтрів безпосередньо у вигляді об'єкта `dfilt` (див. практичне заняття 8). У цьому випадку вимоги задаються до характеристики загасання АЧХ (дБ) $\hat{A}(f)(\text{дБ}) = 20\lg(\hat{A}(f))$ і описуються у вигляді об'єкта `fdesign`:

`Hs = fdesign.type(['sp1, sp2, ...'], sp1, sp2, ..., Fs)`

де `Hs` – ім'я об'єкта `fdesign`; `fdesign` – тип об'єкта; `type` – функція, що

задає конкретний тип вибіркості ЦФ (табл. 4); 'sp1, sp2, ...' – список обов'язкових параметрів функції type.

Список обов'язкових параметрів строго регламентований і відповідає вимогам до АЧХ (дБ). У табл. 5–8 наводяться списки обов'язкових параметрів для різних функцій type; в круглих дужках вказані ті ж параметри, які використовуються при *виведенні* властивостей об'єкта fdesign.

sp1, sp2, ... - значення обов'язкових параметрів у списку 'sp1, sp2, ...'. Прийнятий за замовчуванням список параметрів 'sp1, sp2, ...' може бути відсутнім, однак його зручно залишати для ідентифікації значень параметрів.

F_s - частота дискретизації f_d (Гц).

Властивості об'єкта fdesign виводяться з його імені Hs і включають в себе список обов'язкових параметрів функції type з їх значеннями.

Таблиця 4. Функції type для частотно-вбіркових ЦФ

Функція type	Тип вибіркості ЦФ
lowpass	Lowpass Filter — ФНЧ
highpass	Highpass Filter — ФВЧ
bandpass	Bandpass Filter — СФ
bandstop	Bandstop Filter — РФ

Таблиця 5. Список параметрів об'єкта fdesign.lowpass

Параметри функції lowpass	Вимоги до АЧХ (дБ) ФНЧ
F_p (F_{pass})	f_z – гранична частота СП
F_{st} (F_{stop})	f_k – гранична частота СЗ
A_p (A_{pass})	a_{max} (дБ) – максимально припустиме загасання в СП
A_{st} (A_{stop})	a_{min} (дБ) – мінімально припустиме загасання в СЗ

Таблиця 6. Список параметрів об'єкта fdesign.highpass

Параметри функції highpass	Вимоги до АЧХ (дБ) ФВЧ
Fst (Fstop)	f_k – гранична частота СЗ
Fp (Fpass)	f_χ – гранична частота СП
Ast (Astop)	a_{\min} (дБ) – мінімально припустиме загасання в СЗ
Ap (Apass)	a_{\max} (дБ) – максимально припустиме загасання в СП

Таблиця 7. Список параметрів об'єкта `fdesign.bandpass`

Параметри функції <code>bandpass</code>	Вимоги до АЧХ (дБ) ПФ
Fst1 (Fstop1)	f_{-k} – гранична частота СЗ1
Fp1 (Fpass1)	$f_{-\chi}$, – ліва гранична частота СП
Fp2 (Fpass2)	f_χ – права гранична частота СП
Fst2 (Fstop2)	f_k – гранична частота СЗ2
Ast1 (Astop1)	$a_{1\min}$ (дБ) – мінімально припустиме загасання в СЗ1
Ap (Apass)	a_{\max} (дБ) – максимально припустиме загасання в СП
Ast2 (Astop2)	$a_{2\min}$ (дБ) – мінімально припустиме загасання в СЗ1

Таблиця 8. Список параметрів об'єкта `fdesign.bandstop`

Параметри функції <code>bandstop</code>	Вимоги до (дБ) РФ
Fp1 (Fpass1)	$f_{-\chi}$, – ліва гранична частота СП1
Fst1 (Fstop1)	f_{-k} – гранична частота СЗ
Fst2 (Fstop2)	f_k – гранична частота СЗ
Fp2 (Fpass2)	f_χ – права гранична частота СП2
Ap1 (Apass1)	$a_{1\max}$ (дБ) – максимально припустиме загасання в СП1
Ast (Astop)	a_{\min} (дБ) – мінімально припустиме загасання в СЗ
Ap2 (Apass2)	$a_{12\max}$ (дБ) – максимально припустиме загасання в СП2

*Синтез КІХ-фільтрів у вигляді об'єктів **dfilt** на основі об'єктів **fdesign***

При завданні вимог до АЧХ (дБ) у вигляді об'єкта `fdesign` для синтезу КІХ-фільтрів у вигляді об'єкта `dfilt` використовуються функції, представлені в табл. 9. Порядки КІХ-фільтрів, синтезованих за допомогою функцій `kaiserwin` і `equiripple`, можуть відрізнятися від відповідних порядків КІХ-фільтрів, синтезованих за допомогою функцій `fir1` і `firpm`, що пояснюється відмінністю алгоритмів синтезу.

Таблиця 9. Функції синтезу КФХ-фільтра у вигляді об'єкта `dfilt`

Функція	Метод синтезу
kaiserwin	Вікон з використанням вікна Кайзера
equiripple	Найкращої рівномірної (чебишовської) апроксимації

Узагальнений формат функції синтезу КІХ-фільтра у вигляді об'єкта `dfilt` на основі об'єкта `fdesign` представлений двома різновидами:

Hf = function_fir(Hs)

Hf = design(Hs, 'function_fir')

де `function_fir` – ім'я конкретної функції з табл. 9; `Hs` – ім'я об'єкта `fdesign`; `Hf` – ім'я об'єкта `dfilt`.

За замовчуванням вибирається пряма структура КІХ-фільтра (Direct-Form FIR). Для вибору прямої наведеної структури (див. табл. 3) можна скористатися розширеним форматом функції синтезу КІХ-фільтра:

Hf = design(Hs, 'function_fir', 'FilterStructure', 'structure')

де `'structure'` - функція, що задає конкретну структуру об'єкта `Hf` (див. табл. 3).

Обчислення частотної (`H`) і імпульсної (`h`) характеристик КІХ-фільтра, синтезованого у вигляді об'єкта `dfilt`, виконується за допомогою функцій відповідно:

H = freqz(Hf, N)

h = impz(Hf)

де N - число точок (значень) частотної характеристики; у відсутності параметра за замовчуванням $N = 512$.

При виведенні графіків АЧХ і ФЧХ в N точках в основній смузі значення частот в герцах задаються у вигляді вектора (де F_s - частота дискретизації):

$$f = 0 : ((F_s/2) / (N-1)) : F_s/2;$$

2. Завдання на лабораторну роботу

Зміст роботи пов'язан з синтезом КФХ-фільтрів методом найкращої рівномірної (чебишовської) апроксимації, описом їх структур і аналізом характеристик з використанням програмних засобів MATLAB.

Лабораторна робота виконується на основі script-файлів з іменами `lr_3_low`, `lr_3_high`, `lr_3_pass` і `lr_3_stop` і function-файлів `plot_fir` і `MAG_fir`.

Перед виконанням роботи необхідно зберегти шлях до папки по команді контекстного меню `Add to Path | Selected Folders`.

Вихідні дані для пунктів завдання наводяться в табл. 10-13 для номера бригади $N_{бр}$, де $N_{бр} = 1, 2, \dots, 30$, і для КІХ-фільтрів ФНЧ, ФВЧ, СФ і РФ включають в себе:

- вимоги до АЧХ;
- вимоги до характеристики загасання АЧХ (дБ)

$$\hat{A}(f)(\text{дБ}) = 20 \lg(\hat{A}(f)) \text{ для її опису у вигляді об'єкта } fdesign.$$

Значення допустимих загасань розраховані за формулами:

$$a_{\max} = -20 \lg(1 - \delta_1)(\text{дБ})$$

$$a_{\min} = -20 \lg(\delta_2)(\text{дБ})$$

Таблиця 10 Вимоги до АЧХ і АЧХ (дБ) ФНЧ

Умовні позначення	Список вимог	Значення, що задаються	Ідентифікатор	Приклад розрахунку для № = 1
f_d	Частота дискретизації	$f_d = 5000 + 100N_{бр}$	$F_s =$	$F_s = 5100$
f_{χ}	Гранична частота СП	$f_{\chi} = \frac{f_d}{10} + 20N_{бр}$	$f_t =$	$f_t = 530$
f_k	Гранична частота СЗ	$f_k = \frac{f_d}{10} + 250 + 25N_{бр}$	$f_k =$	$f_k = 785$
δ_1	Максимально допустиме відхилення в СП	$\delta_1 = 0,05$	$d_1 =$	$d_1 = 0.05$
δ_2	Максимально допустиме відхилення в СЗ	$\delta_2 = 0,01$	$d_2 =$	$d_2 = 0.01$
a_{max}	Максимально допустиме загасання в СП (дБ)	$a_{max} = 0,4455$	$A_p =$	$A_p = 0.4455$
a_{min}	Мінімально допустиме загасання в СЗ (дБ)	$a_{min} = 40$	$A_{st} =$	$A_{st} = 40$

Таблиця 11 Вимоги до АЧХ і АЧХ (дБ) ФВЧ

Умовні позначення	Список вимог	Значення, що задаються	Ідентифікатор	Приклад розрахунку для № = 1
f_d	Частота дискретизації	$f_d = 5000 + 100N_{бр}$	$F_s =$	$F_s = 5100$
f_k	Гранична частота СП	$f_{\chi} = \frac{f_d}{10} + 20N_{бр}$	$f_t =$	$f_k = 530$
f_{χ}	Гранична частота СЗ	$f_k = \frac{f_d}{10} + 250 + 25N_{бр}$	$f_k =$	$f_t = 785$
δ_2	Максимально допустиме відхилення в СП	$\delta_2 = 0,01$	$d_2 =$	$d_2 = 0.01$
δ_1	Максимально допустиме відхилення в СЗ	$\delta_1 = 0,05$	$d_1 =$	$d_1 = 0.05$
a_{min}	Мінімально допустиме загасання в СЗ (дБ)	$a_{min} = 40$	$A_{st} =$	$A_{st} = 40$
a_{max}	Максимально допустиме загасання в СП (дБ)	$a_{max} = 0,4455$	$A_p =$	$A_p = 0.4455$

Таблиця 12 Вимоги до АЧХ і АЧХ (дБ) СФ

Умовні позначення	Список вимог	Значення, що задаються	Ідентифікатор	Приклад розрахунку для № = 1
f_d	Частота дискретизації	$f_d = 5000 + 100N_{бр}$	$F_s =$	$F_s = 5100$
f_{-k}	Гранична частота СЗ1	$f_{-k} = \frac{f_d}{20} + 20N_{бр}$	$f_{k1} =$	$f_{k1} = 275$
$f_{-\chi}$	Гранична частота СП1	$f_{-\chi} = \frac{f_d}{20} + 250 + 25N_{бр}$	$f_{t1} =$	$f_{t1} = 530$
f_{χ}	Гранична частота СП2	$f_{\chi} = \frac{f_d}{4} + 25N_{бр}$	$f_{t2} =$	$f_{t2} = 1300$
f_k	Гранична частота СЗ2	$f_k = \frac{f_d}{4} + 250 + 30N_{бр}$	$f_{k2} =$	$f_{k2} = 1555$
δ_{21}	Максимально допустиме відхилення в СЗ1	$\delta_{21} = 0,01$	$d_{21} =$	$d_{21} = 0.01$
δ_1	Максимально допустиме відхилення в СП	$\delta_1 = 0,05$	$d_1 =$	$d_1 = 0.05$
δ_{22}	Максимально допустиме відхилення в СЗ2	$\delta_{22} = 0,01$	$d_{22} =$	$d_{22} = 0.01$
a_{1min}	Мінімально допустиме загасання в СЗ1 (дБ)	$a_{1min} = 40$	$A_{st1} =$	$A_{st1} = 40$
a_{max}	Максимально допустиме загасання в СП (дБ)	$a_{max} = 0,4455$	$A_p =$	$A_p = 0.4455$
a_{2min}	Мінімально допустиме загасання в СЗ2 (дБ)	$a_{2min} = 40$	$A_{st2} =$	$A_{st2} = 40$

Таблиця 13 Вимоги до АЧХ і АЧХ (дБ) РФ

Умовні позначення	Список вимог	Значення, що задаються	Ідентифікатор	Приклад розрахунку для № = 1
f_d	Частота дискретизації	$f_d = 5000 + 100N_{бр}$	$F_s =$	$F_s = 5100$
$f_{-\chi}$	Гранична частота СП1	$f_{-\chi} = \frac{f_d}{20} + 20N_{бр}$	$f_{k1} =$	$f_{t1} = 275$
f_{-k}	Гранична частота СЗ1	$f_{-k} = \frac{f_d}{20} + 250 + 25N_{бр}$	$f_{t1} =$	$f_{k1} = 530$

f_k	Гранична частота СЗ2	$f_k = \frac{f_n}{4} + 25N_{\text{бп}}$	$f_{t2} =$	$f_{k2} = 1300$
f_χ	Гранична частота СП2	$f_\chi = \frac{f_n}{4} + 250 + 30N_{\text{бп}}$	$f_{k2} =$	$f_{t2} = 1555$
δ_{11}	Максимально допустиме відхилення в СП1	$\delta_{11} = 0,05$	$d_{11} =$	$d_{11} = 0.05$
δ_2	Максимально допустиме відхилення в СЗ	$\delta_2 = 0,01$	$d_2 =$	$d_2 = 0.01$
δ_{12}	Максимально допустиме відхилення в СП2	$\delta_{12} = 0,05$	$d_{12} =$	$d_{12} = 0.05$
$a_{1\text{max}}$	Максимально допустиме відхилення в СП1 (дБ)	$a_{1\text{max}} = 0,4455$	$A_{p1} =$	$A_{p1} = 0.4455$
a_{min}	Мінімально допустиме загасання в СЗ (дБ)	$a_{\text{min}} = 40$	$A_{st} =$	$A_{st} = 40$
$a_{2\text{max}}$	Максимально допустиме загасання в СП2 (дБ)	$a_{2\text{max}} = 0,4455$	$A_{p2} =$	$A_{p2} = 0.4455$

Завдання на лабораторну роботу полягає в синтезі КІХ-фільтрів методом найкращої рівномірної (чебишовської) апроксимації і аналізі їх характеристик і для кожного типу вибіркості (ФНЧ, ФВЧ, СФ або РФ) включає в себе виконання наступних пунктів:

1. Введення вимог до АЧХ.
2. Обчислення оцінки порядку КФХ-фільтра і значення ваг в СП і СЗ.

Виведені значення ваг (weight) внести в табл. 14.

Пояснити:

- яка функція використовується для обчислення оцінки порядку КІХ-фільтра і ваг;
- з якою метою розраховується оцінка порядку КІХ-фільтра;
- як розраховуються ваги в СП і СЗ.

Таблиця 14 Результати синтезу оптимальних КІХ-фільтрів

Тип вибіркової фільтра	Метод чебишовської апроксимації		
	порядок фільтра R	Тип КІХ-фільтру	ваговий вектор $weight$
ФНЧ			
ФВЧ			
ПФ			
РФ			

3. Синтез оптимального КІХ-фільтра методом чебишовської апроксимації.

Для синтезу КІХ-фільтра організувати цикл, в тілі якого виконати наступні дії:

- синтезувати КІХ-фільтр;

Тип КІХ-фільтра вказується за допомогою параметра `ftype` в функції синтезу.

Для ФНЧ і РФ параметр `ftype` вибирається за замовчуванням.

Для ФВЧ і СФ тип КІХ-фільтра вказується наступними значеннями значенням параметра `ftype`:

- ' ' (Пробіл) - для 1-го або 2-го типу;
- 'hilbert' - для 3-го або 4-го типу;

- перевірити виконання вимог до АЧХ;

Для перевірки виконання вимог до АЧХ вивести і порівняти максимальну (по модулю) зважену помилку апроксимації $\delta_{\min \max}$ (ідентифікатор `error`) з допустимим зваженим відхиленням δ_{\max} (див. (2) – (4));

- за результатами перевірки, збільшуючи або зменшуючи порядок КІХ-фільтра, визначити його оптимальний порядок, при якому виконуються вимоги до АЧХ.

При збільшенні/зменшенні порядку КІХ-фільтра необхідно враховувати відповідність між типом вибіркової ЦФ і типом КІХ-фільтра (див. табл. 3).

Отримане в результаті ітераційної процедури значення оптимального порядку R і тип КІХ-фільтра записати в табл. 14.

Пояснити:

- яка функція використовується для синтезу КІХ-фільтра;
- який з параметрів даної функції відповідає коефіцієнтам передаточної функції КІХ-фільтра;
- зміст ітераційної процедури синтезу;
- чому дорівнює заданий відхилення $\delta_{\min \max}$.

4. Аналіз характеристик КІХ-фільтра.

Для виведення графіків використовувати function-файл `plot_fir`.

Пояснити:

- вид ІХ;
- вид АЧХ в СП і СЗ (скористайтеся кнопкою **Zoom in** на панелі інструментів);
- вид ФЧХ.

5. Виведення графіка АЧХ оптимального КІХ-фільтра з зазначеними частотами альтернанса.

Для виведення графіка використовувати function-файл `MAG_fir`.

Пояснити:

- які частоти називають частотами альтернанса;
- відповідність між кількістю частот альтернанса на графіку і порядком КІХ-фільтра.

6. Опис вимог до АЧХ КІХ-фільтра у вигляді об'єкта `fdesign`.

Описати вимоги до характеристики загасання АЧХ (дБ)

$\hat{A}(f)(\text{дБ}) = 20 \lg(\hat{A}(f))$ у вигляді об'єктів `fdesign` з іменами:

- `MAG_lowpass` – для ФНЧ;
- `MAG_highpass` – для ФВЧ;
- `MAG_bandpass` – для СФ;
- `MAG_bandstop` – для РФ.

Пояснити, з якою метою створюється об'єкт `fdesign` і що в себе включає список його властивостей.

7. Синтез КІХ-фільтра у вигляді об'єкта `dfilt` на основі об'єкта `fdesign`.

Синтезувати КІХ-фільтр за допомогою функції `equiripple` з наступними іменами об'єктів `dfilt`:

- `F_lowpass` – для ФНЧ;
- `F_highpass` – для ФВЧ;
- `F_bandpass` – для ПФ;
- `F_bandstop` – для РФ.

Порівняти порядок синтезованого КІХ-фільтра с порядком в табл. 14.

Пояснити:

- що відображає структура і чим визначається її вид;
- властивості об'єкта `dfilt`.

8. Знайомство з GUI FVTool.

Звернутися до GUI FVTool по команді:

`fvtool (Nd)`

де `Nd` – ім'я об'єкта `dfilt`, і проаналізувати характеристики синтезованих КІХ-фільтрів.

Звіт і контрольні питання

Звіт складається в редакторі MS Word і містить вихідні дані та результати виконання пунктів завдання, включаючи заповнену табл. 14, створені графіки (копіюються по команді `Edit | Copy Figure` в вікні `Figure`), опису структур КІХ-фільтрів у вигляді об'єктів `dfilt`, що копіюються з вікна `Command Window` (шрифт `Courier New`), і відповіді на поставлені питання (шрифт `Times New Roman`).

Захист лабораторної роботи проводиться на підставі поданого звіту і контрольних питань з наступного списку:

1. Дайте визначення оптимального КІХ-фільтра.

2. Запишіть передаточну функцію КІХ-фільтра.
3. Дайте визначення довжини і порядку КІХ-фільтра.
4. За якої умови КІХ-фільтр буде мати строго лінійну ФЧХ?
5. У яких точках ФЧХ КІХ-фільтра має стрибок на π ?
6. Назвіть ознаки, за якими розрізняють чотири типи КІХ-фільтрів з ЛФЧХ.
7. Що входить у вимоги до АЧХ КІХ-фільтра?
8. Дайте визначення характеристики загасання.
9. Що входить у вимоги до характеристики загасання.
10. Назвіть основні властивості АЧХ і ФЧХ.
11. Що відображає структура ЦФ і чим визначається її вид?
12. Назвіть основні структури КІХ-фільтрів.
13. Перерахуйте основні етапи ітераційної процедури синтезу КІХ-фільтрів методом чебишовської апроксимації.
14. З якою метою вводяться ваги і як вони розраховуються?
15. Який вигляд має АЧХ при синтезі КІХ-фільтрів методом чебишовської апроксимації?
16. Дайте визначення точок альтернанса.
17. Назвіть основну перевагу синтезу КІХ-фільтрів методом чебишовської апроксимації.