Лабораторна робота №5

СИНТЕЗ НІХ-ФІЛЬТРІВ МЕТОДОМ БІЛІНІЙНОГО Z-ПЕРЕТВОРЕННЯ

Мета: вивчити процедуру синтезу НІХ-фільтрів методом білінійнгого *Z*-перетворення і оволодіти програмними засобами MATLAB для синтезу та аналізу НІХ-фільтрів; познайомитися з GUI FVTool (Filter Visualization Tool - засіб візуалізації фільтра).

Коротка теоретична довідка

НІХ-фільтр описується передаточною функцією загального вигляду:

$$H(z) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} b_i z^{-i}}{1 + \sum_{k=1}^{M-1} a_k z^{-k}} \qquad (1)$$

і при $(N–1) \le (M–1)$ - (за замовчуванням) має *порядок R*, рівний $R = (M–1)$.

НІХ-фільтри характеризуються такими особливостями:

- нелінійною ФЧХ;
- необхідністю перевірки на стійкість.

Оптимальним називають НІХ-фільтр мінімального порядку *R* при заданих вимогах до АЧХ.

1. Завдання вимог до характеристики загасання

Для НІХ-фільтрів вимоги задаються до характеристики загасання АЧХ $\hat{A}(f)(дБ) = 20\lg(\hat{A}(f))$ (дБ) в основній смузі частот $[0;\ f_д / 2]$ і включають в себе:

- частоту дискретизації $f_д$ (Гц);
- граничні частоти смуг пропускання (СП) і смуг затримування (СЗ), такі ж, як для КІХ-фільтрів (див. практичну роботу №8):
  - f_χ – гранична частота СП для ФНЧ і ФВЧ;
  - f_k – гранична частота СЗ для ФНЧ і ФВЧ;
  - $f_{-\chi}, f_\chi$ – ліва і права граничні частоти СП для СФ і РФ;

- f_{-k} f_k – ліва і права граничні частоти СЗ для СФ і РФ;

- допустимі відхилення від $\hat{A}(f)$ (дБ) ($\hat{A}(f)(дБ) = 20\lg(\hat{A}(f))$);

- $a_{\max}$ (дБ) - максимально припустиме загасання в СП (для ФНЧ, ФВЧ і СФ);
- $a_{\min}$ (дБ) - мінімально припустиме загасання в СЗ (для ФНЧ, ФВЧ і РФ);
- $a_{1\max}$ (дБ) - максимально припустиме загасання в СП1 (для РФ);
- $a_{2\max}$ (дБ) - максимально припустиме загасання в СП2 (для РФ);
- $a_{1\min}$ (дБ) - мінімально припустиме загасання в СЗ1 (для СФ);
- $a_{2\min}$ (дБ) - мінімально припустиме загасання в СЗ2 (для СФ).

2. Структури НІХ-фільтрів

Структура (структурна схема) ЦФ відображає алгоритм обчислення реакції по різницевому рівнянню і визначається видом *передаточної* функції.

В MATLAB структура НІХ-фільтра описується в вигляді об'єкта `dfilt`:

`Hd = dfilt.structure (input1, input2)`

де `Hd` – ім'я об'єкта `dfilt`; `dfilt` – тип об'єкта; `structure` – функція, що задає конкретну структуру об'єкта `Hd` (табл. 1); `input1`, `input2` – параметри функції `structure`.

Для НІХ-фільтрів властивості об'єкта `dfilt` з ім'ям `Hd` залежать від обраної структури. Для прямої структури НІХ-фільтра вони включають в себе:

- `FilterStructure` – структура КІХ-фільтра;
- `Arithmetic` – форма представлення даних;
- `Numerator` – коефіцієнти чисельника передаточної функції (1);
- `Denominator` – коефіцієнти знаменника передаточної функції (1);
- `PersistentMemory` – початкові умови при обчисленні реакції; значення `false` відповідає нульовим початковим умовам.

Нульові початкові умови (НПУ) означають, що всі значення впливу та реакції, які може пам'ятати система у моменти часу, що передують початку

впливу $n = 0$, рівні нулю:

$$\begin{cases} x[(n-i)T_{|n-i<0, i=1,2,\ldots;} \\ y[(n-k)T_{|n-k<0, k=1,2,\ldots}. \end{cases}$$

Вплив і реакція у сфері негативного часу $n < 0$ дорівнюють нулю.

Каскадній структурі з біквадратних ланок відповідає уявлення передаточної функції у вигляді добутку:

$$H(z) = G\prod_{k=1}^{L}\frac{1+b_{1k}z^{-1}+b_{2k}z^{-2}}{1+a_{1k}z^{-1}+a_{2k}z^{-2}} \qquad (2)$$

де ланки мають одну з прямих структур, представлених на рис. 5.1 – 5.4 практичного заняття №5.

У каскадній структурі НІХ-фільтра властивості `Numerator` і `Denominator` замінюються властивостями:

- `sosMatrix` – матриця коефіцієнтів у вигляді:

$$\begin{bmatrix} 1 & b_{11} & b_{21} & 1 & a_{11} & a_{21} \\ 1 & b_{11} & b_{21} & 1 & a_{11} & a_{21} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 1 & b_{1L} & b_{2L} & 1 & a_{1L} & a_{2L} \end{bmatrix} \qquad (3)$$

- `ScaleValues` – вектор коефіцієнтів посилення, елементи якого дорівнюють:

• перший – коефіцієнту підсилення на вході першої ланки, тобто на *вході структури*;

• другий – коефіцієнту підсилення на вході другої ланки і т.п .;

• останній – коефіцієнту підсилення на виході останньої ланки, тобто на *виході структури*.

Таблиця 1. Функції `structure` і структури НІХ-фільтрів

Функція `structure`	Параметри функції `structure`	Структура НІХ-фільтра
`df1`	`b`, `a` – вектори коефіцієнтів передаточної функції (1)	Direct-Form I (пряма)
`df1t`		Direct-Form I Transposed (пряма транспонована)

df2		Direct-Form II (пряма канонічна)
df2t		Direct-Form II Transposed (пряма канонічна транспонована)
df1sos	`s` – матриця коефіцієнтів у вигляді (3); `G` – коефіцієнт підсилення передаточної функції (2)	Direct-Form I, Second-order sections (SOS) (каскадна з ланок 2-го порядку з прямою структурою)
df1tsos		Direct-Form I Transposed, Second-order sections (SOS) (каскадна з ланок 2-го порядку з прямою транспонованою структурою)
df2sos		Direct-form II, Second-order sections (SOS) (каскадна з ланок 2-го порядку з прямою канонічною структурою)

3. Процедура синтезу НІХ-фільтрів методом білінійного Z-перетворення

Синтез НІХ-фільтра полягає в розрахунку його передаточної функції.

Метод білінійної Z-перетворення, що дозволяє синтезувати оптимальний НІХ-фільтр, заснований на використанні аналогового фільтра-прототипу (АФП).

Процедура синтезу НІХ-фільтра на основі АФП включає в себе наступні кроки:

1. Завдання вимог до характеристики загасання АЧХ (дБ)

$(\hat{A}(f)(дБ) = 20\lg(\hat{A}(f)))$ НІХ-фільтра.

2. Формування вимог до АЧХ (дБ) АФП.

Граничні частоти АФП Ω пов'язані з граничними частотами НІХ-фільтра ω нелінійної залежністю:

$$\Omega = \frac{2}{T} tg \frac{\omega t}{2},$$

яка в шкалі частот в герцах відповідає залежності між частотами АФП *F* і НІХ-фільтра *f*:

$$F = \frac{f_Д}{\pi} tg \frac{\pi t}{f_Д}. \qquad (4)$$

3. Вибір типу НІХ-фільтра.

Подібно АФП, чотирьом видам апроксимуючих функцій відповідають чотири типи НІХ-фільтрів:

• Баттерворта (Butterwhorth) - з АЧХ, максимально плоскою в СП і монотонною в СЗ;

• Чебишева І роду (Chebyshev Type I) - з АЧХ, рівнохильовою в СП і монотонною в СЗ;

• Чебишева ІІ роду (Chebyshev Type II) - з АЧХ, максимально плоскою в СП і рівнохильовою в СЗ;

• Золотарева -Кауера (Elliptic - еліптичний) - з АЧХ, рівнохильовою в СП і СЗ.

4. Розрахунок передаточної функції АФП $H_a(p)$.

5. Перетворення передаточної функції АФП $H_a(p)$ в передаточну функцію НІХ-фільтра $H(z)$ на основі формули білінійної Z-перетворення:

$$p = \frac{2}{T} \cdot \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}.$$

6. Вибір структури НІХ-фільтра.

4. Синтез аналогових фільтрів в MATLAB

Синтез частотно-вибіркових аналогових фільтрів Баттерворта, Чебишева І і ІІ роду і Золотарева-Кауера виконується відповідно за допомогою функцій:

```
[Bs,as] = butter(Ra,Wn,ftype,'s')
[Bs,as] = cheby1(Ra,rp,Wn,ftype,'s')
[Bs,as] = cheby2(Ra,rs,Wn,ftype,'s')
[Bs,as] = ellip(Ra,rp,rs,Wn,ftype,'s')
```

де `Ra` – порядок аналогового фільтра; `Wn` – вектор частот зрізу в шкалі $\omega = 2\pi f$ (рад/с), що містить один елемент – для ФНЧ і ФВЧ і два -– для ПФ і РФ; частотами зрізу називають частоти, на яких нормована АЧХ $\hat{A}(f)$ рівна

$1/\sqrt{2} \approx 0{,}707$, а загасання $\hat{A}(f)$ (дБ) – 3 дБ; `rp`, `rs` – максимально і мінімально допустимі загасання $a_{\max}$ (дБ) в СП і $a_{\min}$ (дБ) в СЗ для характеристики загасання АЧХ (дБ) ($\hat{A}(f)(\partial Б) = 20\lg(\hat{A}(f))$).

Для аналогового ПФ, синтезованого за допомогою даних функцій, мінімально допустимі відхилення в СЗ1 і СЗ2 задаються однаковими. Аналогічно, для РФ максимально допустимі відхилення в СП1 і СП2 задаються однаковими.

`ftype` – параметр, який вказує тип вибірковості і приймає значення:

- `'high'` – для ФВЧ;
- `'stop'` – для РФ;
- за замовчуванням (якщо параметр відсутній) – для ФНЧ або ПФ.

`'s'` – ознака аналогового фільтра; при його відсутності за замовчуванням мається на увазі ЦФ; `bs`, `as` – вектори коефіцієнтів чисельника і знаменника передаточної функції аналогового фільтра $H_a(p)$ в порядку зростання ступенів p;

`as(1) = 1`.

Порядок аналогового фільтра (`Ra`) і частоти зрізу (`Wn`) визначаються за вимогами до АЧХ (дБ) ($\hat{A}(f)(\partial Б) = 20\lg(\hat{A}(f))$) за допомогою наступних функцій, відповідно для АФП Баттерворта, Чебишева I і II роду і Золотарева-Кауера:

```
[Ra,Wn] = buttord(Wp,Ws,rp,rs,'s')
[Ra,Wn] = cheb1ord(Wp, Ws,rp,rs,'s')
[Ra,Wn] = cheb2ord(Wp,Ws,rp,rs,'s')
[Ra,Wn] = ellipord(Wp,Ws,rp,rs,'s')
```

де `Wp`, `Ws` – вектори граничних частот СП і СЗ в порядку проходження зліва направо в шкалі частот $\omega = 2\pi f$ (рад/с).

5. Синтез НІХ-фільтрів методом білінійного Z-перетворення в MATLAB

Для синтезу НІХ-фільтра методом білінійного **Z**-перетворення використовуються ті ж функції, що і для синтезу аналогових фільтрів, але без

параметра 's':

```
[b,a] = butter(R,WDn,ftype)
[b,a] = cheby1(R,rp,WDn,ftype)
[b,a] = cheby2(R,rs,WDn,ftype)
[b,a] = ellip(R,rp,rs,WDn,ftype)
```

де R – порядок НІХ-фільтра; WDn – вектор нормованих частот зрізу в шкалі нормованих частот $\hat{f} = \frac{f}{f_Д / 2}$:

- для ФНЧ і ФВЧ з одним елементом WDn(1), рівним

$$\hat{f}_0 = \frac{f_0}{f_Д / 2},$$

де f_0 – абсолютна частота зрізу (Гц);

- для СФ і РФ з двома елементами WDn(1) і WDn(2), відповідно рівними:

$$\hat{f}_{01} = \frac{f_{01}}{f_Д / 2},\ \hat{f}_{02} = \frac{f_{02}}{f_Д / 2},$$

де f_{01}, f_{02} – абсолютні частоти зрізу (Гц).

rp, rs – максимально і мінімально допустимі загасання $a_{\max}$ (дБ) в СП і $a_{\min}$ (дБ) в СЗ для характеристики загасання АЧХ (дБ) ($\hat{A}(f)(дБ) = 20\lg(\hat{A}(f))$).

Для СФ, синтезованого за допомогою даних функцій, мінімально допустимі відхилення в СЗ1 і СЗ2 *задаються однаковими*. Аналогічно, для РФ максимально допустимі відхилення в СП1 і СП2 *задаються однаковими*. Однак при синтезі НІХ-фільтра у вигляді об'єкта dfilt на основі об'єкта fdesign дані обмеження знімаються.

ftype – параметр, який вказує тип вибірковості і приймає значення:

- 'high' – для ФВЧ;
- 'stop' – для РФ;
- за замовчуванням (якщо параметр відсутній) – для ФНЧ і СФ.

b, a – вектори коефіцієнтів чисельника і знаменника передаточної функції НІХ-фільтра $H(z)$ (1) в порядку зростання негативних ступенів z;

`a(1) = 1`.

Порядок (`R`) і частоти зрізу (`WDn`) НІХ-фільтрів Баттерворта, Чебишева І і ІІ роду і Золотарева-Кауера визначаються за вимогами до АЧХ (дБ) ($\hat{A}(f)(дБ) = 20\lg(\hat{A}(f))$) за допомогою тих же функцій, що і для аналогового фільтра, але без параметра `'s'`:

```
[R,WDn] = buttord(WDp,WDs,rp,rs)
[R,WDn] = cheb1ord(WDp,WDs,rp,rs)
[R,WDn] = cheb2ord(WDp,WDs,rp,rs)
[R,WDn] = ellipord(WDp,WDs,rp,rs)
```

де `WDp`, `WDs` – відповідно вектори граничних нормованих частот СП і СЗ в порядку їх слідування зліва направо в шкалі нормованих частот $\hat{f} = \frac{f}{f_д / 2}$.

При синтезі НІХ-фільтрів зберігається властивість оптимальності АФП – ЦФ буде також оптимальним.

6. Синтез НІХ-фільтрів у вигляді об'єктів ***dfilt*** *на основі об'єктів* ***fdesign***

При завданні вимог до характеристики загасання АЧХ (дБ) ($\hat{A}(f)(дБ) = 20\lg(\hat{A}(f))$) у вигляді об'єкта `fdesign` (див. практичне заняття 9) для синтезу НІХ-фільтра *методом білінійного Z-перетворення* використовуються функції, представлені в табл. 2. В цьому випадку для СФ і РФ відповідно мінімально допустимі загасання в СЗ1 і СЗ2 і максимально допустимі загасання в СП1 і СП2 можуть задаватися *неоднаковими*.

Таблиця 2. Функції синтезу НІХ-фільтра у вигляді об'єкта `dfilt`

Функція	Тип НІХ-фільтра
butter	Фільтр Баттерворта (Butterworth filter)
cheby1	Фільтр Чебишева І роду (Chebyshev Type I filter)
cheby2	Фільтр Чебишева ІІ роду (Chebyshev Type II filter)
ellip	Фільтр Золотарьова-Кауера (Elliptic filter - еліптичний)

Узагальнений формат функції синтезу НІХ-фільтра у вигляді об'єкта

dfilt на основі об'єкта fdesign представлений двома різновидами:

Hf_=_function_iir(Hs,'MatchExactly',MATCH,'FilterStructure','structure')

Hf_=_design(Hs,'function_iir','MatchExactly',MATCH,'FilterStructure','Structure')

де function_iir – ім'я конкретної функції з табл. 2; Hs – ім'я об'єкта fdesign; 'MatchExactly' – параметр (прапор), установка якого (присутність у складі параметрів) означає, що вимоги до АЧХ (дБ) повинні виконуватися точно; MATCH – параметр, що уточнює, в якій зі смуг вимоги повинні виконуватися точно, і приймає значення:

- 'stopband' (за замовчуванням) – в смугах затримування;
- 'passband' – в смугах пропускання;
- 'both' – в смугах затримування і пропускання (тільки для функції ellip).

'FilterStructure' – параметр (прапорець), установка якого (присутність у складі параметрів) означає, що для НІХ-фільтра буде вказана структура;

'structure' – функція, що задає конкретну структуру об'єкта Hf (див. табл. 1); Hf – ім'я об'єкта dfilt.

Для розрахунку ЧХ і ІХ НІХ-фільтра у вигляді об'єкта dfilt використовуються функції freqz і impz. (див. практичне заняття №9)

7. Розстановка ланок і масштабування в каскадних структурах НІХ-фільтрів

Перед моделюванням каскадної структури НІХ-фільтра з фіксованою точкою (ФТ), необхідно передбачити виконання двох операцій:

- формування і розстановка ланок.

Ланки в (2) формуються за допомогою об'єднання полюсів з найближчими нулями, після чого вони розставляються в порядку зростання радіусів полюсів. Це дозволяє мінімізувати власні шуми, обумовлені

множниками. При описі каскадної структури НІХ-фільтрів у вигляді об'єкта `dfilt` формування і розстановка ланок здійснюються автоматично;

- масштабування.

Для мінімізації переповнень на виходах суматорів на входах ланок додаються масштабуючі множники, які враховуються в чисельнику передаточних функцій ланок.

В MATLAB ця операція реалізується за допомогою функції:

`scale(Hf,norm)`

де `Hf` – ім'я об'єкта `dfilt` з каскадної структурою з ланок 2-го порядку; `norm` – вводиться в апострофах ім'я норми, на основі якої розраховуються масштабуючі множники: `'L1'` – для норми $\|x\|_1 = \sum_{i=1}^{m} |x_i|$, `'Linf'`– для норми $\|x\|_\infty = \max_i |x_i|$ і `'L2'` – для норми $\|x\|_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} |x_i|^2}$, яке вибирається за замовчуванням у відсутності параметра `norm`.

2. Завдання на лабораторну роботу

Зміст роботи пов'язаний з синтезом НІХ-фільтрів методом білінійного Z-перетворення, описом їх структур і аналізом характеристик з використанням програмних засобів MATLAB.

Лабораторна робота виконується на основі script-файлів lr_5_low, lr_5_high, lr_5_pass і lr_5_stop і function-файлу plot_iir.

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. 3-6 для номера бригади $N_{бр}$, де $N_{бр}$ =1, 2, ..., 30, для НІХ-фільтрів ФНЧ, ФВЧ, ПФ і РФ. Значення допустимих загасань розраховані за формулами $a_{\max} = -20\lg(1-\delta_1)(\partial Б))$ і $a_{\min} = -20\lg(\delta_2)(\partial Б)$.

Таблиця 3. Вимоги до АЧХ (дБ) ФНЧ

Умовні позначення	**Список вимог**	**Значення, що задаються**	**Ідентифікатор**	**Приклад розрахунку для Nb = 1**
$f_д$	Частота дискретизації	$f_д = 5000 + 100N_{бр}$	`Fs =`	`Fs = 5100`
f_χ	Гранична частота СП	$f_\chi = \frac{f_д}{10} + 20N_{бр}$	`ft =`	`ft = 530`
f_k	Гранична частота СЗ	$f_k = \frac{f_д}{10} + 250 + 25N_{бр}$	`fk =`	`fk = 785`
a_{max}	Максимально допустиме загасання в СП (дБ)	$a_{max} = 0,4455$	`rp =`	`rp = 0.4455`
a_{min}	Мінімально допустиме загасання в СЗ (дБ)	$a_{min} = 40$	`rs =`	`rs = 40`

Таблиця 4. Вимоги до АЧХ (дБ)ФВЧ

Умовні позначення	**Список вимог**	**Значення, що задаються**	**Ідентифікатор**	**Приклад розрахунку для Nb = 1**
$f_д$	Частота дискретизації	$f_д = 5000 + 100N_{бр}$	`Fs =`	`Fs = 5100`
f_k	Гранична частота СП	$f_\chi = \frac{f_д}{10} + 20N_{бр}$	`ft =`	`fk = 530`
f_χ	Гранична частота СЗ	$f_k = \frac{f_д}{10} + 250 + 25N_{бр}$	`fk =`	`ft = 785`
a_{min}	Мінімально допустиме загасання в СЗ (дБ)	$a_{min} = 40$	`rs =`	`rs = 40`
a_{max}	Максимально допустиме загасання в СП (дБ)	$a_{max} = 0,4455$	`rp =`	`rp = 0.4455`

Таблиця 5. Вимоги до АЧХ (дБ) СФ

Умовні позначення	**Список вимог**	**Значення, що задаються**	**Ідентифікатор**	**Приклад розрахунку для Nb = 1**
$f_д$	Частота дискретизації	$f_д = 5000 + 100N_{бр}$	`Fs =`	`Fs = 5100`

f_{-k}	Гранична частота СЗ1	$f_{-k} = \frac{f_д}{20} + 20N_{бр}$	ft1 =	fk1 = 275
$f_{-\chi}$	Гранична частота СП1	$f_{-\chi} = \frac{f_д}{20} + 250 + 25N_{бр}$	fk1 =	ft1 = 530
f_{χ}	Гранична частота СП2	$f_{\chi} = \frac{f_д}{4} + 25N_{бр}$	ft2 =	ft2 = 1300
f_k	Гранична частота СЗ2	$f_k = \frac{f_д}{4} + 250 + 30N_{бр}$	fk2 =	fk2 = 1555
$a_{\max}$	Максимально допустиме загасання в СП (дБ)	$a_{\max} = 0,4455$	rp =	rp = 0.4455
$a_{\min}$	Мінімально допустиме загасання в СЗ1 і СЗ2 (дБ)	$a_{\min} = 40$	rs =	rs = 40

Таблиця 6. Вимоги до АЧХ (дБ) РФ

Умовні позначення	**Список вимог**	**Значення, що задаються**	**Ідентифікатор**	**Приклад розрахунку для Nb = 1**
$f_д$	Частота дискретизації	$f_д = 5000 + 100N_{бр}$	Fs =	Fs = 5100
$f_{-\chi}$	Гранична частота СП1	$f_{-\chi} = \frac{f_д}{20} + 20N_{бр}$	ft1 =	ft1 = 275
f_{-k}	Гранична частота СЗ1	$f_{-k} = \frac{f_д}{20} + 250 + 25N_{бр}$	fk1 =	fk1 = 530
f_k	Гранична частота СЗ2	$f_k = \frac{f_д}{4} + 25N_{бр}$	fk2 =	fk2 = 1300
f_{χ}	Гранична частота СП2	$f_{\chi} = \frac{f_д}{4} + 250 + 30N_{бр}$	ft2 =	ft2 = 1555
$a_{\max}$	Максимально допустиме загасання в СП1 і СП2 (дБ)	$a_{\max} = 0,4455$	rp =	rp = 0.4455
$a_{\min}$	Мінімально допустиме загасання в СЗ1 (дБ)	$a_{\min} = 40$	rs =	rs = 40

Завдання на лабораторну роботу полягає в синтезі НІХ-фільтрів методом білінійного Z-перетворення і аналізі їх характеристик і для кожного *типу вибірковості* (ФНЧ, ФВЧ, СФ і РФ) включає в себе виконання наступних пунктів:

1. Введення вимог до характеристики загасання НІХ-фільтра.

2. Синтез НІХ-фільтрів Баттерворта, Чебишева І і ІІ роду і Золотарева-Кауера, що виконується в два етапи:

• обчислення порядків і частот зрізу НІХ-фільтрів;

• синтез НІХ-фільтрів.

Виведені значення порядків НІХ-фільтрів записати в табл. 7.

Пояснити:

• яка функція використовується для обчислення порядку і частот зрізу;

• які функції використовуються для синтезу НІХ-фільтрів Баттерворта, Чебишева І і ІІ роду і Золотарева-Кауера;

• які з параметрів даних функції відповідають коефіцієнтам передаточної функції НІХ-фільтра;

• який з НІХ-фільтрів має мінімальний порядок.

Таблиця 7. Результати синтезу НІХ-фільтрів і АФП

Тип вибірковості фільтра	**Тип і порядок НІХ-фільтра**			
	Баттерворта	**Чебишева І роду**	**Чебишева ІІ роду**	**Золотарева-Кауера**
	R1	**R2**	**R3**	**R4**
ФНЧ				
ФВЧ				
СФ				
РФ				

3. Аналіз характеристик НІХ-фільтрів Баттерворта, Чебишева І і ІІ роду і Золотарева-Кауера.

Для виведення графіків АЧХ, ФЧХ, ІХ (50 відліків) і карти нулів і полюсів НІХ-фільтрів використовувати function-файл `plot_iir`.

Пояснити:

• вид ІХ;

• вид АЧХ в СП і СЗ (скористайтеся кнопкою **Zoom in** на панелі інструментів).

4. Синтез АФП Баттерворта, Чебишева І і ІІ роду і Золотарева-Кауера,

що виконується в три етапи:

• формування вимог до характеристики загасання АФП з виведенням граничних частот СП і СЗ;

• обчислення порядку і частот зрізу АФП;

• синтез АФП.

Пояснити:

• відповідність між граничними частотами АФП і НІХ-фільтра;

• відповідність між порядками АФП і НІХ-фільтрів.

5. Виведення графіків АЧХ АФП Баттерворта, Чебишева I і II роду і Золотарева-Кауера.

Вивести графіки АЧХ АФП в основній смузі частот $[0; f_д / 2]$, обчислені за допомогою функції `freqs`.

Зробити висновок за результатами порівняння АЧХ АФП і НІХ-фільтрів.

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

Описати вимоги до характеристики загасання у вигляді об'єктів `fdesign` з іменами:

• `MAG_lowpass` – ФНЧ;

• `MAG_highpass` – ФВЧ;

• `MAG_bandpass` – СФ;

• `MAG_bandstop` – РФ.

Пояснити, що в себе включає список властивості об'єкта `fdesign` і з якою метою він створюється.

7. Синтез НІХ-фільтра Золотарева-Кауера у вигляді об'єкта `dfilt` на основі об'єкта `fdesign`.

Синтезувати НІХ-фільтри з прямою канонічною структурою ланок (див. табл. 1) у вигляді об'єктів `dfilt` з наступними іменами:

• `F_lowpass` – ФНЧ;

• `F_highpass` – ФВЧ;

• `F_bandpass` – СФ;

• `F_bandstop` – РФ.

Пояснити:

• яка функція використовується для синтезу НІХ-фільтрів Золотарева-Кауера;

• що в себе включає список властивостей об'єкта `dfilt`;

• чи збігається порядок синтезованого НІХ-фільтра с порядком в табл. 7.

8. Масштабування в каскадної структурі НІХ-фільтра Золотарева-Кауера.

Виконати масштабування на основі норми `'Linf'` (за замовчуванням) для об'єктів `F_lowpass` і `F_bandpass` і на основі норми `'L2'` для об'єктів `F_highpass` і `F_bandstop`.

Зберегти нові об'єкти `dfilt` з іменами:

• `F_lowpass_scale` – ФНЧ;

• `F_highpass_scale` – ФВЧ;

• `F_bandpass_scale` – СФ;

• `F_bandstop_scale` –РФ.

Пояснити, які властивості об'єкта `dfilt` змінилися після масштабування.

9. Знайомство з GUI FVTool.

Звернутися до GUI FVTool по команді:

```
fvtool(Hd)
```

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

Звіт і контрольні питання

Звіт складається в редакторі MS Word і містить вихідні дані та результати виконання пунктів завдання, включаючи заповнену табл. 7, створені графіки (копіюються по команді Edit | Copy Figure в вікні Figure), опису структур НІХ-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 порядку НІХ-фільтра.

2. Як визначити стійкість НІХ-фільтра?

3. Чи можна синтезувати НІХ-фільтр з лінійною ФЧХ?

4. Запишіть передаточну функцію і різницеве рівняння НІХ-фільтра.

5. Дайте визначення характеристики загасання АЧХ (дБ).

6. Що входить у вимоги до характеристики загасання НІХ-фільтра?

7. Перерахуйте основні етапи процедури синтезу НІХ-фільтра методом білінійного Z-перетворення.

8. Дайте визначення частоти зрізу.

9. Як пов'язані граничні частоти АЧХ АФП з граничними частотами АЧХ НІХ-фільтра?

10. Назвіть чотири типи НІХ-фільтрів і поясніть вид їх АЧХ.

11. Що відображає структура ЦФ і чим визначається її вид?

12. Якому виду передаточної функції відповідає каскадна структура НІХ-фільтра?

13. Яку структуру можуть мати біквадратні ланки в каскадної структурі?

14. З якою метою виконується розстановка і масштабування ланок?