

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ ТА САМОСТІЙНОЇ
РОБИТ З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«ОБРОБКА СИГНАЛІВ ТА ЗОБРАЖЕНЬ»
ДЛЯ ЗДОБУВАЧІВ ДЕННОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 123 – «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ»
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЇ ПРОГРАМИ «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ»
ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»

КРЕМЕНЧУК 2024

Методичні вказівки щодо виконання розрахунково-графічної та самостійної робіт з навчальної дисципліни «Обробка сигналів та зображень» для здобувачів денної форми навчання зі спеціальності 123 – «Комп'ютерна інженерія» освітньо-професійної програми «Комп'ютерна інженерія» освітнього ступеня «Бакалавр»

Укладачі: доц. В. М. Сидоренко

Рецензент д. т. н., проф. М. І. Гученко

Кафедра комп'ютерних та інформаційних систем

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол № 10 від 26.06.2024 року

Голова методичної ради



проф. В. В. Костін

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Мета і завдання роботи	5
2 Рекомендації щодо написання та оформлення розрахунково-графічної роботи	5
3 Завдання до розрахунково-графічної роботи	7
4 Методичні рекомендації щодо виконання розрахунково-графічної роботи.....	9
Частина I.....	9
Частина II.....	12
Теми для самостійного опрацювання.....	19
Критерії оцінювання якості виконання розрахунково-графічної роботи.....	20
Список літератури	21
Додаток А	243
Додаток Б.....	409

ВСТУП

Методичні вказівки призначені для виконання розрахунково-графічної роботи, яка передбачена робочою навчальною програмою навчальної дисципліни «Обробка сигналів та зображень». Тематика індивідуальних завдань пов'язана з задачею аналізу і синтезу цифрових фільтрів, якій відведено значну частину годин згідно з планом самостійної роботи студентів.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен **отримати досвід з компетентностей:**

ЗК 1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК 2. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК 3. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 4. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК 7. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

ФК 2. Здатність використовувати сучасні методи і мови програмування для розроблення алгоритмічного та програмного забезпечення.

ФК 3. Здатність створювати системне та прикладне програмне забезпечення комп'ютерних систем та мереж.

ФК 5. Здатність використовувати засоби і системи автоматизації проектування до розроблення компонентів комп'ютерних систем та мереж, Інтернет додатків, кіберфізичних систем тощо.

ФК 11. Здатність оформляти отримані робочі результати у вигляді презентацій, науково-технічних звітів.

ФК 13. Здатність вирішувати проблеми у галузі комп'ютерних та інформаційних технологій, визначати обмеження цих технологій.

набути навички та уміння:

ПРН 6. Вміти застосовувати знання для ідентифікації, формулювання і розв'язування технічних задач спеціальності, використовуючи методи, що є найбільш придатними для досягнення поставлених цілей. ПРН 7. Вміти розв'язувати задачі аналізу та синтезу засобів, характерних для спеціальності. ПРН 8. Вміти системно мислити та застосовувати творчі здібності до формування нових ідей. ПРН 11. Вміти здійснювати пошук інформації в різних джерелах для розв'язання задач комп'ютерної інженерії ПРН. ПРН 16. Вміти оцінювати отримані результати та аргументовано захищати прийняті рішення. ПРН 18. Використовувати інформаційні технології для ефективного спілкування на професійному та соціальному рівнях. ПРН 19. Здатність адаптуватись до нових ситуацій, обґрунтовувати, приймати та реалізовувати у межах компетенції рішення. ПРН 20. Усвідомлювати необхідність навчання впродовж усього життя з метою поглиблення набутих та здобуття нових фахових знань, удосконалення креативного мислення. ПРН 21. Якісно виконувати роботу та досягати поставленої мети з дотриманням вимог професійної етики.

1 МЕТА І ЗАВДАННЯ РОБОТИ

Розрахунково-графічна робота (РГР) являє собою індивідуальне завдання, яке має за мету набуття навичок розв'язання інженерних задач аналізу і синтезу цифрових фільтрів як складової частини процесу розробки математичного та програмного забезпечення спеціалізованих комп'ютерних систем. Під час виконання РГР студенти повинні опрацювати як теоретичну частину, так і практичну, створивши відповідний проєкт у середовищі математичного пакета MathCAD (або у будь-яке інше середовище, наприклад, середовище Jupyter, що входить до складу дистрибутиву Anaconda, із застосуванням мови програмування Python і спеціалізованих бібліотек) та оформивши звіт.

Набуті навички використовують, насамперед, для дипломного проєктування та написання кваліфікаційних робіт.

2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО НАПИСАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Індивідуальне завдання до розрахунково-графічної роботи видаються після відпрацювання на лабораторних заняттях методів синтезу цифрових фільтрів з кінцевою та нескінченною імпульсною характеристикою (методичні вказівки до лаб. роб. № 2 та № 3).

Як інструмент реалізації окремих пунктів завдання розрахункової роботи передбачається застосування математичного пакета MathCAD.

Виконання завдання розрахункової роботи передбачає:

- аналіз задачі синтезу цифрового фільтра;
- реалізацію пунктів 1–15 розділу 3 «Завдання до розрахунково-графічної роботи»;
- написання звіту.

Під час захисту розрахункової роботи оцінюють правильність вибору параметрів цифрових фільтрів, синтезу фільтрів, стиль викладання матеріалу у звіті, логічність та аргументованість висновків.

Пояснювальну записку розрахункової роботи оформлюють на аркушах форматом А4. Зміст звіту такий:

- титульна сторінка (див. додаток Б);
- постановка завдання;
- розрахунки коефіцієнтів фільтрів, синтез фільтрів, побудова необхідних графіків (розділ 4 «Методичні рекомендації щодо виконання розрахункової роботи»). **Студент має виконати спочатку розрахунок коефіцієнтів вручну, а потім у середовищі MathCAD (або в середовищі Jupyter) з перевіркою відповідності результатів;**
- висновки;
- список використаної літератури.

3 ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНУ РОБОТУ

Розрахункова робота складається з двох частин. У першій частині виконують синтез нерекурсивного фільтра (з кінцевою імпульсною характеристикою), у другій частині – синтез рекурсивного фільтра (з нескінченною імпульсною характеристикою).

Параметри нерекурсивного фільтра вибираються з таблиці А.1 додатка А, параметри рекурсивного фільтра – з таблиці А.2 додатка А.

Для виконання розрахункової роботи зручно скористатися проектами математичного пакета MathCAD до лабораторної роботи «Цифрові фільтри» з навчальної дисципліни «Обробка сигналів та зображень». У розрахунково-графічній роботі мають бути наведені розрахунки параметрів щодо синтезу фільтрів **без використання** можливостей пакета MathCAD. Допускається використання графічного матеріалу, отриманого за допомогою пакета MathCAD.

Для виконання **першої частини** розрахункової роботи, користуючись методичними рекомендаціями щодо виконання розрахункової роботи (розділ 4), необхідно виконати наступні дії:

1. Побудувати графік заданого аналогового вхідного сигналу $x(t)$.
2. Згідно з індивідуальним завданням розрахувати граничні частоти (f_g, ω_g) , частоти дискретизації (f_a, ω_a) аналогового сигналу $x(t)$, часові інтервали (T_a, T_g) фільтра.
3. Побудувати графік бажаної передаточної функції ідеального фільтра, що відповідає індивідуальному завданню.
4. Розрахувати коефіцієнти реального фільтра.
5. Побудувати на одній площині графіки апроксимуючої передаточної функції реального фільтра, апроксимуючої передаточної функції реального фільтра, згладженої вікном фон Ганна та функцією Ланчоса, передаточної функції ідеального фільтра.

6. Обчислити вихідні дискретні послідовності фільтрів для кожної розрахованої в п. 5 апроксимуючої передаточної функції.

7. Відновити аналоговий фільтрований сигнал із дискретних послідовностей, отриманих у п. 6, за допомогою ряду Котельникова.

8. Побудувати на одній площині графіки аналогового вхідного сигналу $x(t)$ і відновлених аналогових фільтрованих сигналів, отриманих в п. 7.

9. Пояснити отримані результати, зробити висновки.

Для виконання **другої частини** розрахункової роботи, користуючись методичними рекомендаціями щодо виконання розрахункової роботи (розділ 4), необхідно:

10. Побудувати графік заданого аналогового вхідного сигналу $x(t)$.

11. Встановити необхідні граничні частоти фільтра ($f_g, f_{g_low}, f_{g_high}$), частоту Найквіста для аналогового сигналу (f_a), часовий інтервал Найквіста (T_a).

12. Користуючись пунктами 1–5 теоретичних відомостей (див. розділ 4, частина II), обчислити коефіцієнти a_k та b_k шуканого фільтру.

13. Приймаючи $z = e^{j\omega T_a}$ і скориставшись формулою (3) (розділ 4, частина II), побудувати графік передаточної функції $G(z)$ шуканого фільтра.

14. На підставі різницевого рівняння (4) (див. розділ 4, частина II) визначити дискретну послідовність $y[n]$ фільтрованого сигналу. Слід пам'ятати, що $y[n] = 0$ для всіх $n \in [0, N - 1]$, де N – порядок фільтра.

15. Відновити за формулою (5) (розділ 4, частина II) аналоговий фільтрований сигнал $y(t)$ з дискретної послідовності $y[n]$, отриманої в п. 14, побудувати на одній площині графіки аналогового вхідного сигналу $x(t)$ та відновленого фільтрованого сигналу $y(t)$.

4 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

ЧАСТИНА I

СИНТЕЗ НЕРЕКУРСИВНОГО ЦИФРОВОГО ФІЛЬТРА

Теоретичні відомості

Вихідний сигнал цифрового фільтра з кінцевою імпульсною характеристикою (КІХ-фільтра, нерекурсивного фільтра (НРФ), FIR-filter) пов'язується з коефіцієнтами фільтра і вхідними даними в загальному вигляді формулою дискретної згортки:

$$y[n] = \sum_{k=-N}^N a[k] \cdot x[n-k], \quad (1)$$

де N – кількість зміщених у часі вхідних сигналів, що характеризує порядок фільтра; $a[\cdot]$ – коефіцієнти фільтра; $x[\cdot]$ – вхідний сигнал (дискретна послідовність).

Оскільки цифровий фільтр є лінійною стаціонарною системою обробки інформації, то гармонійний сигнал, поданий на вхід фільтра, не змінює своєї форми. У такому разі коефіцієнти фільтра можна обчислити так.

Припустимо, що на вхід фільтра подається дискретний гармонійний сигнал у такому вигляді:

$$x[n] = x(T_a \cdot n) = e^{j\omega n T_a}, \quad (2)$$

де T_a – часовий інтервал дискретизації.

За формулою (1) вихідний сигнал матиме вигляд:

$$y[n] = \sum_{k=-N}^N a[k] \cdot e^{j\omega[n-k]T_a} \quad (3)$$

Передаточна функція фільтра:

$$G_d(j\omega) = \frac{y[n]}{x[n]} = \sum_{k=-N}^N a[k] \cdot e^{-j\omega k T_a} \quad (4)$$

Якщо розглядати коефіцієнти фільтра (4) як вибірку з деякої неперервної залежної від часу функції $a(t)$ у точках $[kT_a]$, то передаточну функцію фільтра (4) можна розглядати як перетворення Фур'є для дискретного неперіодичного сигналу.

У такому випадку коефіцієнти $a[k]$ можна обчислити за формулою:

$$a[k] = \frac{T_a}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{-\frac{\pi}{T_a}}^{\frac{\pi}{T_a}} G_d(j\omega) \cdot e^{j\omega k T_a} \cdot d\omega. \quad (5)$$

Підставляючи у формулу (5) замість $G_d(j\omega)$ бажану передаточну функцію ідеального фільтра $G_w(j\omega)$, можна знайти апроксимацію останньої за допомогою формули (4). Апроксимуюча функція (рис. 1) $G_d(j\omega)$ матиме викиди як у смузі пропускання, так і в смузі затримки щодо передаточної функції $G_w(j\omega)$ ідеального фільтра. Амплітуда викидів не залежить від кількості коефіцієнтів фільтра (тобто від порядку фільтра N). З підвищенням порядку фільтра відхилення лише блукатимуть ближче до фронту імпульсу фільтра (явище Гіббса).

Для того, щоб зменшити вплив викидів апроксимуючої передаточної функції, використовують різні функції згладження.

Функція згладження (вікно) фон Ганна має вигляд:

$$w_k = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \cos \frac{\pi k}{N}\right) \quad (6)$$

Функція згладження Ланчоса має вигляд:

$$\sigma(N, k) = \frac{\sin \pi k / N}{\pi k / N}. \quad (7)$$

Формули апроксимуючих передаточних функцій (4) за використання функцій згладження (6) і (7) відповідно мають вигляд:

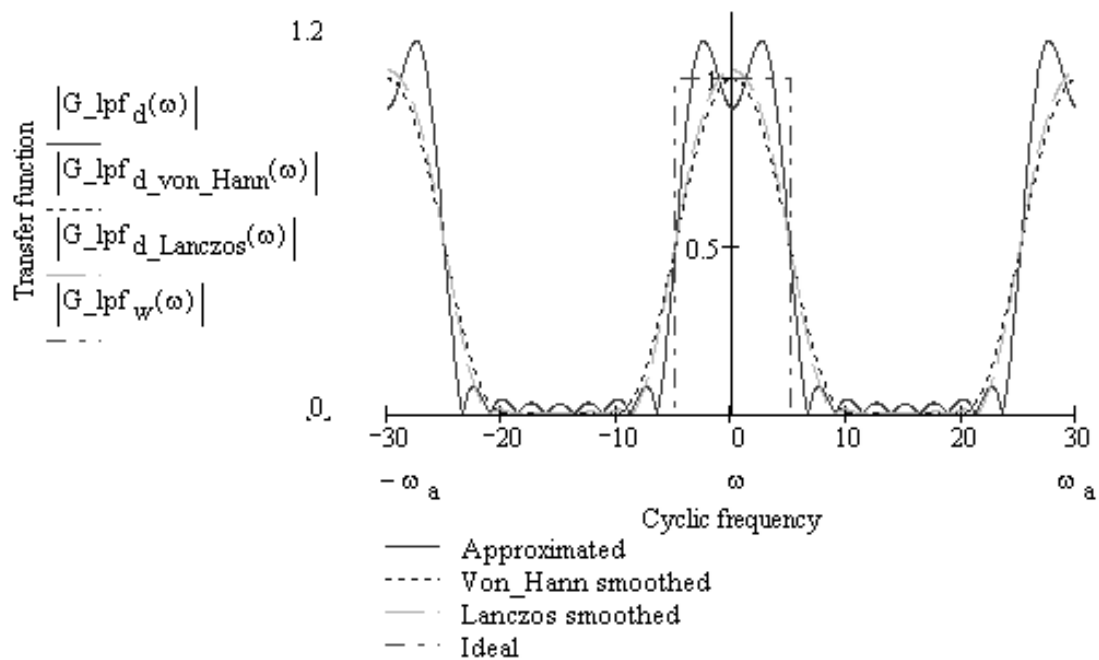
$$G_d(j\omega) = \sum_{k=-N}^N a[k] \cdot w_k \cdot e^{-j\omega k T_a}; \quad (8)$$

$$G_d(j\omega) = \sum_{k=-N}^N a[k] \cdot \sigma(N, k) \cdot e^{-j\omega k T_a} . \quad (9)$$

Формули фільтра (1) за використання функцій згладження (6) і (7) відповідно мають вигляд:

$$y[n] = \sum_{k=-N}^N a[k] \cdot w_k \cdot x[n - k]; \quad (10)$$

$$y[n] = \sum_{k=-N}^N a[k] \cdot \sigma(N, k) \cdot x[n - k]. \quad (11)$$



Transfer functions chart

Рис. 1 – Передаточна функція ідеального ФНЧ із граничною частотою $\omega_g = 5$, частотою дискретизації $\omega_a = 30$ і порядком 10 ($N = 5$)

ЧАСТИНА II

СИНТЕЗ РЕКУРСИВНОГО ЦИФРОВОГО ФІЛЬТРА

Теоретичні відомості

Для синтезу деякого рекурсивного фільтра зазвичай використовують за основу відповідний аналоговий фільтр. За заданої схеми допусків визначають передаточну функцію для аналогового фільтра, яка потім відображається за допомогою білінійного перетворення на z -площину. Отже, стає відомою передаточна функція в z -площині, і можна отримати коефіцієнти цифрового фільтра.

Проте якщо відомі коефіцієнти прототипів цифрових ФНЧ*, то процес визначення коефіцієнтів реального цифрового фільтра можна значно спростити.

До того ж, слід пам'ятати, що *фільтр довільного порядку* можна отримати унаслідок послідовного включення часткових фільтрів *першого і другого порядку*.

Для визначення коефіцієнтів реального фільтра на підставі відповідного прототипу ФНЧ* необхідно виконати наступні дії.

1. З таблиць 1–4 вибрати коефіцієнти для прототипів часткових ФНЧ*, урахувавши, що прототипи ФНЧ* нормовані відносно b_0^* ($b_0^* = 1$) і розраховані в

припущенні, що $f_a^* = 4 \cdot f_g^*$, тобто $\frac{f_g^*}{f_a^*} = \frac{1}{4}$.

2. Визначити передаточну функцію прототипу шуканого фільтра як добуток передаточних функцій прототипів часткових ФНЧ* першого і другого порядку:

$$G(z^*) = \prod_{i=1}^P \frac{a_{0i}^* + a_{1i}^* \cdot z^{*-1} + a_{2i}^* \cdot z^{*-2}}{b_{0i}^* + b_{1i}^* \cdot z^{*-1} + b_{2i}^* \cdot z^{*-2}}, \quad (1)$$

де i, P – відповідно номер часткового фільтра і кількість таких фільтрів, символ «*» указує на те, що мова йдеться про прототип фільтра.

3. Виконати частотне перетворення передаточної функції прототипу ФНЧ* на передаточну функцію реального шуканого фільтра (таблиця 5):

$$G(z^*) \rightarrow G(z). \quad (2)$$

4. Нормувати отриману передаточну функцію $G(z)$ відносно b_0 так, щоб $b_0 = 1$.

5. Виділити з коефіцієнтів за аргумента z у передаточній функції $G(z)$ відповідні коефіцієнти a_k і b_k шуканого фільтра:

$$G(z) = \frac{a_0 + \sum_{i=1}^N a_i \cdot z^{-i}}{b_0 + \sum_{i=1}^N b_i \cdot z^{-i}} \quad (3)$$

Рекурсивний фільтр порядку N , нормований відносно b_0 ($b_0 = 1$), діє на підставі наступного різницевого рівняння:

$$y[n] = \sum_{k=0}^N a[k] \cdot x(T_a \cdot [n - k]) - \sum_{k=1}^N b[k] \cdot y[n - k], \quad (4)$$

де T_a – часовий інтервал Найквіста.

Відновлення фільтрованого сигналу $y(t)$ з дискретної послідовності $y[n]$ здійснюють за допомогою ряду Котельникова:

$$y(t) = \sum_{n=0}^K y[n] \cdot \frac{\sin(\frac{\omega_a}{2} \cdot [t - n \cdot T_a])}{\frac{\omega_a}{2} \cdot [t - n \cdot T_a]}. \quad (5)$$

Таблиця 1 – Коефіцієнти для прототипів ФНЧ Баттерворта порядку N

Порядок фільтра (N)	Номер часткового фільтра (i)	a_{0i}^*	a_{1i}^*	a_{2i}^*	b_{1i}^*	b_{2i}^*
1	1	0,5000	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000
2	1	0,2929	0,5858	0,2929	0,0000	0,1716
3	1	0,5000	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000
	2	0,3333	0,6667	0,3333	0,0000	0,3333
4	1	0,2599	0,5198	0,2599	0,0000	0,0396
	2	0,3616	0,7232	0,3616	0,0000	0,4464
5	1	0,5000	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000
	2	0,2764	0,5528	0,2764	0,0000	0,1056
	3	0,3820	0,7639	0,3820	0,0000	0,5279
6	1	0,2543	0,5087	0,2543	0,0000	0,0173
	2	0,2929	0,5858	0,2929	0,0000	0,1716
	3	0,3972	0,7944	0,3972	0,0000	0,5888
7	1	0,5000	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000
	2	0,2630	0,5261	0,2630	0,0000	0,0521
	3	0,3080	0,6160	0,3080	0,0000	0,2319
	4	0,4090	0,8180	0,4090	0,0000	0,6360
8	1	0,2524	0,5048	0,2524	0,0000	0,0097
	2	0,2730	0,5460	0,2730	0,0000	0,0920
	3	0,3214	0,6429	0,3214	0,0000	0,2857
	4	0,4184	0,8368	0,4184	0,0000	0,6735
9	1	0,5000	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000
	2	0,2578	0,5155	0,2578	0,0000	0,0311
	3	0,2831	0,5662	0,2831	0,0000	0,1325
	4	0,3333	0,6667	0,3333	0,0000	0,3333
	5	0,4260	0,8520	0,4260	0,0000	0,7041
10	1	0,2515	0,5031	0,2515	0,0000	0,0062
	2	0,2644	0,5288	0,2644	0,0000	0,0576
	3	0,2929	0,5858	0,2929	0,0000	0,1716
	4	0,3439	0,6878	0,3439	0,0000	0,3755
	5	0,4324	0,8647	0,4324	0,0000	0,7294

Таблиця 2 – Коефіцієнти для прототипів ФНЧ Бесселя порядку N

Порядок фільтра (N)	Номер часткового фільтра (i)	a_{0i}^*	a_{1i}^*	a_{2i}^*	b_{1i}^*	b_{2i}^*
1	1	0,5000	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000
2	1	0,3356	0,6712	0,3356	0,2564	0,0860
3	1	0,5695	0,5695	0,0000	0,1390	0,0000
	2	0,4037	0,8075	0,4037	0,4222	0,1928
4	1	0,3535	0,7071	0,3535	0,3614	0,0527
	2	0,4623	0,9245	0,4623	0,5649	0,2841
5	1	0,6004	0,6004	0,0000	0,2008	0,0000
	2	0,3917	0,7834	0,3917	0,4600	0,1068
	3	0,5138	1,0277	0,5138	0,6942	0,3612
6	1	0,3831	0,7662	0,3831	0,4684	0,0640
	2	0,4312	0,8624	0,4312	0,5601	0,1647
	3	0,5591	1,1181	0,5591	0,8100	0,4263
7	1	0,6275	0,6275	0,0000	0,2549	0,0000
	2	0,4109	0,8217	0,4109	0,5428	0,1007
	3	0,4692	0,9383	0,4692	0,6558	0,2208
	4	0,5983	1,1967	0,5983	0,9117	0,4816
8	1	0,4120	0,8239	0,4120	0,5634	0,0845
	2	0,4399	0,8798	0,4399	0,6177	0,1419
	3	0,5045	1,0089	0,5045	0,7445	0,2734
	4	0,6323	1,2646	0,6323	0,1007	0,5285
9	1	0,6499	0,6499	0,0000	0,2999	0,0000
	2	0,4333	0,8666	0,4333	0,6210	0,1122
	3	0,4685	0,9369	0,4685	0,6900	0,1839
	4	0,5367	1,0735	0,5367	0,8254	0,3216
	5	0,6618	1,3235	0,6618	1,0782	0,5689
10	1	0,4373	0,8747	0,4373	0,6429	0,1065
	2	0,4557	0,9115	0,4557	0,6792	0,1438
	3	0,4959	0,9918	0,4959	0,7586	0,2249
	4	0,5662	1,1323	0,5662	0,8992	0,3655
	5	0,6874	1,3748	0,6874	1,1459	0,6037

Таблиця 3 – Коефіцієнти для прототипів ФНЧ Чебишева порядку N

Порядок фільтра (N)	Номер часткового фільтра (i)	a_{0i}^*	a_{1i}^*	a_{2i}^*	b_{1i}^*	b_{2i}^*
1	1	0,5000	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000
2	1	0,2595	0,5190	0,2595	-0,2862	0,3242
3	1	0,3110	0,3110	0,0000	-0,3780	0,0000
	2	0,3636	0,7273	0,3636	-0,1496	0,6042
4	1	0,1295	0,2591	0,1295	-0,8109	0,3290
	2	0,4043	0,8085	0,4043	-0,1372	0,7543
5	1	0,2188	0,2188	0,0000	-0,5625	0,0000
	2	0,2166	0,4331	0,2166	-0,6452	0,5114
	3	0,4408	0,8816	0,4408	-0,0718	0,8350
6	1	0,0746	0,1493	0,0746	-1,1276	0,4262
	2	0,2824	0,5647	0,2824	-0,5152	0,6447
	3	0,4533	0,9065	0,4533	-0,0694	0,8825
7	1	0,1680	0,1680	0,0000	-0,6640	0,0000
	2	0,1404	0,2808	0,1404	-0,9798	0,5413
	3	0,3353	0,6707	0,3353	-0,3913	0,7326
	4	0,4682	0,9363	0,4682	-0,0396	0,9123
8	1	0,0479	0,0959	0,0479	-1,3192	0,5109
	2	0,2027	0,4053	0,2027	-0,8279	0,6386
	3	0,3685	0,7369	0,3685	-0,3194	0,7932
	4	0,4728	0,9457	0,4728	-0,0409	0,9322
9	1	0,1362	0,1362	0,0000	-0,7276	0,0000
	2	0,0971	0,1942	0,0971	-1,1987	0,5872
	3	0,2571	0,5141	0,2571	-0,6826	0,7109
	4	0,3962	0,7923	0,3962	-0,2509	0,8355
	5	0,4803	0,9606	0,4803	-0,0248	0,9460
10	1	0,0332	0,0664	0,0332	-1,4445	0,5773
	2	0,1502	0,3005	0,1502	-1,0566	0,6575
	3	0,2976	0,5952	0,2976	-0,5752	0,7656
	4	0,4135	0,8270	0,4135	-0,2124	0,8664
	5	0,4823	0,9647	0,4823	-0,0267	0,9561

Таблиця 4 – Коефіцієнти для прототипів ФНЧ Кауера порядку N

Порядок фільтра (N)	Номер часткового фільтра (i)	a_{0i}^*	a_{1i}^*	a_{2i}^*	b_{1i}^*	b_{2i}^*
3	1	0,3306	0,3306	0,0000	-0,3389	0,0000
	2	0,4898	0,6612	0,4898	-0,0219	0,6627
4	1	0,1851	0,2397	0,1851	-0,5678	0,1778
	2	0,4347	0,8693	0,4347	-0,0215	0,7602
5	1	0,2233	0,2233	0,0000	-0,5535	0,0000
	2	0,2656	0,4394	0,2656	-0,5754	0,5461
	3	0,5674	0,7118	0,5674	-0,0184	0,8651
6	1	0,1059	0,1434	0,1059	-0,9245	0,2796
	2	0,4125	0,3973	0,4125	-0,4352	0,6575
	3	0,4730	0,9459	0,4730	-0,0132	0,9050
7	1	0,1836	0,1836	0,0000	-0,6329	0,0000
	2	0,1991	0,3112	0,1991	-0,8518	0,5612
	3	0,5602	0,3192	0,5602	-0,2819	0,7935
	4	0,6504	0,6331	0,6504	-0,0085	0,9423
8	1	0,0772	0,1021	0,0772	-1,0950	0,3514
	2	0,3694	0,2183	0,3694	-0,6909	0,6479
	3	0,5788	0,4678	0,5788	-0,2177	0,8431
	4	0,4874	0,9748	0,4874	-0,0066	0,9562
9	1	0,1689	0,1689	0,0000	-0,6621	0,0000
	2	0,1769	0,2607	0,1769	-0,9632	0,5776
	3	0,5580	0,2404	0,5580	-0,4290	0,7855
	4	0,7770	0,2331	0,7770	-0,1234	0,9105
	5	0,7084	0,5556	0,7084	-0,0036	0,9760
10	1	0,0742	0,0869	0,0742	-1,1360	0,3713
	2	0,3808	0,1226	0,3808	-0,7723	0,6566
	3	0,6821	0,1540	0,6821	-0,3220	0,8401
	4	0,7126	0,4184	0,7126	-0,0909	0,9344
	5	0,4950	0,9899	0,4950	-0,0026	0,9825

Таблиця 5 – Частотні перетворення для цифрових фільтрів

<p>ФНЧ* → ФНЧ</p>	$z^{*-1} = \frac{-d + z^{-1}}{1 - d \cdot z^{-1}}$ $d = \frac{\sin(\pi \cdot \frac{f_g^*}{f_a} - \pi \cdot \frac{f_g}{f_a})}{\sin(\pi \cdot \frac{f_g^*}{f_a} + \pi \cdot \frac{f_g}{f_a})}$
<p>ФНЧ* → ФВЧ</p>	$z^{*-1} = -\frac{d + z^{-1}}{1 + d \cdot z^{-1}}$ $d = -\frac{\cos(\pi \cdot \frac{f_g^*}{f_a} + \pi \cdot \frac{f_g}{f_a})}{\sin(\pi \cdot \frac{f_g^*}{f_a} + \pi \cdot \frac{f_g}{f_a})}$
<p>ФНЧ* → СФ</p>	$z^{*-1} = -\frac{\frac{k-1}{k+1} - \frac{2 \cdot d \cdot k}{k+1} \cdot z^{-1} + z^{-2}}{1 - \frac{2 \cdot d \cdot k}{k+1} \cdot z^{-1} + \frac{k-1}{k+1} \cdot z^{-2}}$ $d = \frac{\cos(\pi \cdot \frac{f_{g_high}}{f_a} + \pi \cdot \frac{f_{g_low}}{f_a})}{\cos(\pi \cdot \frac{f_{g_high}}{f_a} - \pi \cdot \frac{f_{g_low}}{f_a})}$ $k = \text{ctg}(\pi \cdot \frac{f_{g_high}}{f_a} - \pi \cdot \frac{f_{g_low}}{f_a}) \cdot \text{tg}(\pi \cdot \frac{f_g^*}{f_a})$
<p>ФНЧ* → ЗФ</p>	$z^{*-1} = \frac{\frac{1-k}{1+k} - \frac{2 \cdot d}{1+k} \cdot z^{-1} + z^{-2}}{1 - \frac{2 \cdot d}{1+k} \cdot z^{-1} + \frac{1-k}{1+k} \cdot z^{-2}}$ $d = \frac{\cos(\pi \cdot \frac{f_{g_high}}{f_a} + \pi \cdot \frac{f_{g_low}}{f_a})}{\cos(\pi \cdot \frac{f_{g_high}}{f_a} - \pi \cdot \frac{f_{g_low}}{f_a})}$ $k = \text{tg}(\pi \cdot \frac{f_{g_high}}{f_a} - \pi \cdot \frac{f_{g_low}}{f_a}) \cdot \text{tg}(\pi \cdot \frac{f_g^*}{f_a})$

ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ

№ пор.	Назва теми	Література
1	<p>Перетворення Фур'є неперервних сигналів. Розклад періодичних сигналів у ряд Фур'є. Інтегральне перетворення Фур'є. Властивості інтегрального перетворення Фур'є.</p> <p>Узагальнений ряд Фур'є</p>	1
2	<p>Перетворення спектра при дискретизації сигналів. Теорема Котельникова. Дискретно-неперервне та дискретне перетворення Фур'є. Швидке перетворення Фур'є. Дискретне косинусне перетворення</p>	1, 2, 4, 9
3	<p>Дискретне перетворення Лапласа та Z-перетворення. Z-перетворення деяких дискретних сигналів. Властивості дискретного Z-перетворення. Дискретна згортка та її обчислення. Лінійні дискретні системи та цифрові фільтри.</p> <p>Аналіз і синтез інтеграторів. Амплітудні характеристики сучасних інтегруючих фільтрів</p>	1, 4, 8
4	<p>Синтез нерекурсивних і рекурсивних цифрових. Властивості нерекурсивних фільтрів. Синтез НРФ з використанням вікон. Форми рекурсивних фільтрів. Методи частотної вибірки. Метод найкращої рівномірної апроксимації.</p> <p>Синтез рекурсивних фільтрів. Аналогові прототипи. Фільтри Чебишева, Бесселя, Баттерворта.</p>	1, 4, 8

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

РГР студенти виконують у межах модуля «Одновимірні сигнали і системи». Розрахункову роботу оцінюють за традиційною системою як «задовільно» (5 балів), «добре» (10 балів), «відмінно» (15 балів). Сума накопичених балів є складовою частиною сумарної оцінки за стобальною шкалою.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за 100-бальною шкалою	Оцінка в ECTS	Значення оцінки ECTS	Критерії оцінювання	Рівень компетентості	Оцінка за національною шкалою
					іспит, диференційований залік
90-100	A	відмінно	Студент виявляє особливі творчі здібності, вміє самостійно здобувати знання, без допомоги викладача знаходить та опрацьовує необхідну інформацію, вміє використовувати набуті знання і вміння для прийняття рішень у нестандартних ситуаціях, переконливо аргументує відповіді, самостійно розкриває власні обдарування і нахили	Високий (творчий)	відмінно
82-89	B	дуже добре	Студент вільно володіє вивченим обсягом матеріалу, застосовує його на практиці, вільно розв'язує вправи і задачі у нестандартних ситуаціях, самостійно виправляє допущені помилки, кількість яких незначна	Достатній (конструктивно-варіативний)	добре

74-81	C	добре	Студент вміє зіставляти, узагальнювати, систематизувати інформацію під керівництвом викладача; в цілому самостійно застосовувати її на практиці; контролювати власну діяльність; виправляти помилки, серед яких є суттєві, добирати аргументи для підтвердження думок		
64-73	D	задовільно	Студент відтворює значну частину теоретичного матеріалу, виявляє знання і розуміння основних положень; з допомогою викладача може аналізувати навчальний матеріал, виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих	Середній (репродуктивний)	задовільно
60-63	E	достатньо	Студент володіє навчальним матеріалом на рівні, вищому за початковий, значну частину його відтворює на репродуктивному рівні		
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання семестрового контролю	Студент володіє матеріалом на рівні окремих фрагментів, що становлять незначну частину навчального матеріалу	Низький (рецептивно-продуктивний)	незадовільно
1-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням залікового кредиту	Студент володіє матеріалом на рівні елементарного розпізнання і відтворення окремих фактів, елементів, об'єктів		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Основна

1. Smith, S. (2002). *Digital Signal Processing: A Practical Guide for Engineers and Scientists* (1st ed.). Newnes.
2. Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital Image Processing* (4th ed.). Pearson. Publisher: Pearson, 330 Hudson Street, New York, NY 10013. <https://dl.icdst.org/pdfs/files4/01c56e081202b62bd7d3b4f8545775fb.pdf>
3. Marple, S. L. (1987). *Digital Spectral Analysis: With Applications*. Prentice-Hall.
4. Pratt W.K. 2016. *Digital Images Processing*. Third edition. Wiley.
5. Parker J.R. 2010. *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*. Second Edition. Wiley Publishing, Inc.
6. Solomon C. and T. Breckon. 2011. *Fundamental of Digital Image Processing. A Practical Approach with Examples in Matlab*. Wiley – Blackwell.
7. Koschan, A., & Abidi, M. (2008). *Digital Color Image Processing*. ISBN: 978-0-470-23035-0. Wiley.
8. Joe Minichino, Joseph Howse. *Learning OpenCV 3 Computer Vision with Python* Second Edition. Packt Publishing Ltd, Birmingham, 2015. – 266 p. URL: <https://repository.unikom.ac.id/67052/1/Learning%20OpenCV%203%20Computer%20Vision%20with%20Python%20%28%20PDFDrive.com%20%29.pdf>

Допоміжна

9. *Pattern Recognition and Scene Analysis*. John Wiley & Sons Inc., New York, 1973. [10] J. U. T. A. Ton and R. C. Gonzalez. *Pattern Recognition Principles*. Addison. 407 pages. URL: <https://www.amazon.com/Pattern-Recognition-Principles-Julius-Tou/dp/0201075873>
10. Stepan Bilan. *Formation Methods, Models, and Hardware Implementation of Pseudorandom Number Generators: Emerging Research and Opportunities*. – IGI

Global,- USA, 2017, P. 301.

11.Кобилін О. А., Творошенко І. С. Методи цифрової обробки зображень: навч. посібник. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 124 с. URL:

<https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/c739b2e6-aa8c-4fa0-92b1-dfb0d76e88d2/content>

12.Андрій Перекрест, Олексій Юрко, Денис Мосьпан, Валерій Сидоренко, Кирило Вадурін, Софія Повниця. Візуальна фіксація руху об'єкта засобами LABVIEW під час проведення фізичного експерименту. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2023. – Випуск 4(141) – 100–107 с.

13.Гученко М. І., Никифоров В. В., Сидоренко В. М., Мілашенко А. М. Застосування методів сегментації зображень в задачі розпізнавання екосистем регіонального ландшафтного парку «Кременчуцькі плавні» на аерофотознімках Журнал «Екологічна безпека» Наукове видання: Кременчуцький державний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 2/2009 (6). – С. 17-20

Інформаційні ресурси

1. Сайт з комп'ютерної графіки Київського національного університету ім. Т. Г. Шевченка. [Електронний ресурс]. URL: <http://cg.unicyb.kiev.ua>

2. Image Processing with Python. [Електронний ресурс]: / URL: <https://datacarpentry.org/image-processing/>

3. Getting started with opencv. [Електронний ресурс]. URL: <https://riptutorial.com/opencv>

4. OpenCV with Python Intro and loading Images tutorial. [Електронний ресурс]. URL: <https://pythonprogramming.net/loading-images-python-opencv-tutorial/>

Умовні позначення в таблицях додатка А:

- ФНЧ – фільтр нижніх частот;
- ФВЧ – фільтр верхніх частот;
- СФ – смуговий фільтр;
- РФ – режекторний (загороджувальний) фільтр.

Таблиця А.1 – Варіанти завдань для частини І розрахункової роботи

№	Завдання			
	Аналітичний вид сигналу	Тип та порядок фільтра	Граничні частоти	Коефіцієнт підсилення сигналу
1	$x(t) = \cos(15t) + \cos(7t) + \cos(t)$	ФНЧ, $N = 10$	$\omega_g = 3 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	2
2	$x(t) = \cos(t) + \cos(7t) + \cos(15t)$	ФВЧ, $N = 5$	$\omega_g = 10 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	3
3	$x(t) = \cos(t) + \cos(7t) + \cos(8t) + \cos(15t)$	СФ, $N = 5$	$\omega_{g_low} = 5 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 10 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	1
4	$x(t) = \cos(15t) + \cos(7t) + \cos(8t) + \cos(t)$	РФ, $N = 5$	$\omega_{g_low} = 5 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 10 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	2
5	$x(t) = \cos(3t) + \cos(7t) + \cos(8t) + \cos(15t)$	ФВЧ, $N = 5$	$\omega_g = 10 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	5
6	$x(t) = \cos(3t) + \cos(7t) + \cos(8t) + \cos(20t)$	ФНЧ, $N = 6$	$\omega_g = 5 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	3
7	$x(t) = 15 \cos(2t) + 10 \cos(10t) + 8 \cos(25t)$	СФ, $N = 5$	$\omega_{g_low} = 5 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	0,5

8	$x(t) = 15 \cos(2t) + 10 \cos(10t) + 8 \cos(25t)$	РФ, $N = 5$	$\omega_{g_low} = 5 \frac{rad}{сек}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{rad}{сек}$	0,5
9	$x(t) = \cos(3t) + 10 \cos(7t) + 8 \cos(8t) + \cos(25t) + 10 \cos(20t)$	ФНЧ, $N = 8$	$\omega_g = 5 \frac{rad}{сек}$	3
10	$x(t) = 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + 8 \cos(20t)$	РФ, $N = 6$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{rad}{сек}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{rad}{сек}$	0,5
11	$x(t) = 5 \cos(5t) + 8 \cos(20t) + 10 \cos(10t)$	СФ, $N = 6$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{rad}{сек}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{rad}{сек}$	0,25
12	$x(t) = 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + 8 \cos(20t) + \cos(25t)$	СФ, $N = 6$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{rad}{сек}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{rad}{сек}$	0,25
13	$x(t) = 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + 8 \cos(20t) + \cos(30t)$	РФ, $N = 6$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{rad}{сек}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{rad}{сек}$	0,5
14	$x(t) = \cos(5t) + 20 \cos(10t) + \cos(25t) + 10 \cos(20t)$	ФВЧ, $N = 4$	$\omega_g = 15 \frac{rad}{сек}$	1
15	$x(t) = \cos(5t) + 20 \cos(10t) + 10 \cos(20t) + \cos(25t)$	ФНЧ, $N = 4$	$\omega_g = 15 \frac{rad}{сек}$	1
16	$x(t) = \cos(t) + 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + \cos(15t)$	СФ, $N = 5$	$\omega_{g_low} = 3 \frac{rad}{сек}$ $\omega_{g_high} = 12 \frac{rad}{сек}$	0,5
17	$x(t) = \cos(t) + 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + \cos(15t)$	РФ, $N = 6$	$\omega_{g_low} = 3 \frac{rad}{сек}$ $\omega_{g_high} = 7 \frac{rad}{сек}$	1

18	$x(t) = \cos(10t) + \cos(15t) + \cos(5t)$	СФ, $N = 5$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 12 \frac{рад}{сек}$	5
19	$x(t) = \cos(t) + \cos(30t) + 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + \cos(15t)$	ФВЧ, $N = 5$	$\omega_g = 12 \frac{рад}{сек}$	3
20	$x(t) = \cos(t) + \cos(25t) + 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + \cos(15t)$	ФНЧ, $N = 8$	$\omega_g = 7 \frac{рад}{сек}$	1
21	$x(t) = \cos(25t) + \cos(5t) + \cos(8t) + \cos(15t)$	РФ, $N = 6$	$\omega_{g_low} = 3 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 10 \frac{рад}{сек}$	5
22	$x(t) = \cos(25t) + \cos(5t) + \cos(8t) + \cos(15t)$	ФВЧ, $N = 6$	$\omega_g = 20 \frac{рад}{сек}$	10
23	$x(t) = \cos(12t) + 10 \cos(25t) + 5 \cos(35t)$	СФ, $N = 4$	$\omega_{g_low} = 15 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 30 \frac{рад}{сек}$	0,5
24	$x(t) = \cos(12t) + 10 \cos(25t) + 2 \cos(35t) + \cos(40t)$	РФ, $N = 4$	$\omega_{g_low} = 15 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 30 \frac{рад}{сек}$	0,5
25	$x(t) = \cos(8t) + 10 \cos(25t) + 2 \cos(35t) + \cos(45t)$	РФ, $N = 5$	$\omega_{g_low} = 15 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 30 \frac{рад}{сек}$	1
26	$x(t) = 8 \cos(5t) + \cos(32t) + 5 \cos(27t) + 10 \cos(12t) + \cos(15t)$	СФ, $N = 5$	$\omega_{g_low} = 10 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 25 \frac{рад}{сек}$	1
27	$x(t) = \cos(t) + 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + \cos(25t)$	ФВЧ, $N = 5$	$\omega_g = 20 \frac{рад}{сек}$	3

28	$x(t) = \cos(12t) + 10\cos(20t) + 2\cos(30t)$	ФНЧ, $N = 7$	$\omega_g = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	5
29	$x(t) = \cos(12t) + \cos(25t) + 5\cos(5t) + 10\cos(10t) + \cos(15t)$	СФ, $N = 5$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 17 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	3
30	$x(t) = \cos(50t) + \cos(20t) + 10\cos(15t) + \cos(25t)$	РФ, $N = 5$	$\omega_{g_low} = 10 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 30 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	5
31	$x(t) = \cos(t) + \cos(7t) + \cos(8t) + \cos(20t)$	СФ, $N = 5$	$\omega_{g_low} = 5 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 10 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	1
32	$x(t) = \cos(25t) + \cos(7t) + \cos(8t) + \cos(3t)$	РФ, $N = 5$	$\omega_{g_low} = 5 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 12 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	2
33	$x(t) = \cos(t) + \cos(5t) + \cos(7t) + \cos(20t)$	ФВЧ, $N = 5$	$\omega_g = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	5
34	$x(t) = \cos(3t) + \cos(7t) + \cos(8t) + \cos(20t)$	ФНЧ, $N = 8$	$\omega_g = 10 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	3
35	$x(t) = 15\cos(2t) + 10\cos(10t) + 10\cos(30t)$	СФ, $N = 6$	$\omega_{g_low} = 5 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 13 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	1
36	$x(t) = \cos(15t) + \cos(7t) + \cos(t) + \cos(30t)$	ФНЧ, $N = 10$	$\omega_g = 3 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	2
37	$x(t) = \cos(t) + \cos(7t) + \cos(15t) + \cos(20t)$	ФВЧ, $N = 5$	$\omega_g = 10 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	4

38	$x(t) = \cos(t) + \cos(10t) + \cos(8t) + \cos(25t)$	СФ, $N = 5$	$\omega_{g_low} = 5 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 13 \frac{рад}{сек}$	2
39	$x(t) = \cos(25t) + \cos(7t) + \cos(8t) + \cos(3t)$	РФ, $N = 7$	$\omega_{g_low} = 5 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 10 \frac{рад}{сек}$	3
40	$x(t) = 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + 8 \cos(25t)$	РФ, $N = 6$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{рад}{сек}$	2
41	$x(t) = 5 \cos(5t) + 8 \cos(30t) + 10 \cos(10t)$	СФ, $N = 6$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{рад}{сек}$	0,25
42	$x(t) = 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + 8 \cos(20t) + \cos(40t) + \cos(45t)$	СФ, $N = 6$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{рад}{сек}$	0,25
43	$x(t) = 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + 8 \cos(20t) + \cos(35t)$	РФ, $N = 6$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 25 \frac{рад}{сек}$	0,5
44	$x(t) = \cos(5t) + 20 \cos(10t) + \cos(25t) + 10 \cos(25t)$	ФВЧ, $N = 6$	$\omega_g = 15 \frac{рад}{сек}$	1
45	$x(t) = \cos(5t) + 20 \cos(10t) + 10 \cos(20t) + \cos(25t) + \cos(30t)$	ФНЧ, $N = 7$	$\omega_g = 15 \frac{рад}{сек}$	2
46	$x(t) = \cos(t) + \cos(25t) + 5 \cos(5t) + 10 \cos(8t) + \cos(15t)$	ФВЧ, $N = 7$	$\omega_g = 10 \frac{рад}{сек}$	3
47	$x(t) = \cos(t) + \cos(30t) + 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + \cos(15t)$	ФНЧ, $N = 8$	$\omega_g = 7 \frac{рад}{сек}$	2

48	$x(t) = \cos(45t) + \cos(5t) + \cos(8t) + \cos(15t)$	РФ, $N = 6$	$\omega_{g_low} = 3 \frac{rad}{сек}$ $\omega_{g_high} = 10 \frac{rad}{сек}$	5
49	$x(t) = \cos(20t) + \cos(5t) + \cos(8t) + \cos(15t)$	ФВЧ, $N = 5$	$\omega_g = 17 \frac{rad}{сек}$	10
50	$x(t) = \cos(12t) + 10\cos(25t) + 2\cos(35t) + \cos(40t)$	СФ, $N = 4$	$\omega_{g_low} = 15 \frac{rad}{сек}$ $\omega_{g_high} = 30 \frac{rad}{сек}$	0,5
51	$x(t) = \cos(12t) + 10\cos(25t) + 2\cos(35t) + \cos(45t)$	РФ, $N = 4$	$\omega_{g_low} = 15 \frac{rad}{сек}$ $\omega_{g_high} = 30 \frac{rad}{сек}$	0,5
52	$x(t) = \cos(8t) + 10\cos(25t) + 2\cos(35t) + \cos(45t)$	РФ, $N = 5$	$\omega_{g_low} = 15 \frac{rad}{сек}$ $\omega_{g_high} = 40 \frac{rad}{сек}$	2
53	$x(t) = 8\cos(5t) + \cos(38t) + 5\cos(27t) + 10\cos(12t) + \cos(15t)$	СФ, $N = 6$	$\omega_{g_low} = 10 \frac{rad}{сек}$ $\omega_{g_high} = 25 \frac{rad}{сек}$	3
54	$x(t) = \cos(t) + 5\cos(5t) + 10\cos(10t) + \cos(20t) + 15\cos(40t)$	ФВЧ, $N = 7$	$\omega_g = 15 \frac{rad}{сек}$	5
55	$x(t) = \cos(8t) + 8\cos(5t) + 10\cos(30t) + \cos(7t) + 10\cos(10t)$	ФНЧ, $N = 8$	$\omega_g = 15 \frac{rad}{сек}$	4
56	$x(t) = \cos(15t) + 20\cos(25t) + \cos(45t) + \cos(5t) + 10\cos(10t)$	СФ, $N = 5$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{rad}{сек}$ $\omega_{g_high} = 27 \frac{rad}{сек}$	0,6
57	$x(t) = \cos(15t) + 20\cos(25t) + \cos(50t) + \cos(5t) + 10\cos(10t)$	РФ, $N = 5$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{rad}{сек}$ $\omega_{g_high} = 20 \frac{rad}{сек}$	0,8

58	$x(t) = \cos(5t) + 10\cos(10t) + \cos(15t) + 7\cos(40t) + \cos(20t)$	ФВЧ, $N = 8$	$\omega_g = 17 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	5
59	$x(t) = 10\cos(40t) + 5\cos(15t) + 10\cos(30t)$	СФ, $N = 4$	$\omega_{g_low} = 10 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 20 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	0,2
60	$x(t) = 10\cos(50t) + 5\cos(15t) + 10\cos(30t)$	РФ, $N = 4$	$\omega_{g_low} = 10 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 20 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	0,2
61	$x(t) = 5\cos(5t) + 10\cos(10t) + 8\cos(25t) + 10\cos(30t)$	РФ, $N = 6$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	0,5
62	$x(t) = 5\cos(5t) + 8\cos(35t) + 10\cos(10t)$	СФ, $N = 6$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	1
63	$x(t) = 5\cos(5t) + 10\cos(10t) + 8\cos(20t) + \cos(40t) + \cos(50t)$	СФ, $N = 6$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	2
64	$x(t) = 5\cos(5t) + 10\cos(10t) + 8\cos(20t) + \cos(50t)$	РФ, $N = 6$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 25 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	2
65	$x(t) = \cos(5t) + 20\cos(10t) + \cos(25t) + 10\cos(35t)$	ФВЧ, $N = 6$	$\omega_g = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	0,5
66	$x(t) = \cos(8t) + 10\cos(25t) + 2\cos(35t) + \cos(50t)$	РФ, $N = 5$	$\omega_{g_low} = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 30 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$	1

67	$x(t) = 8 \cos(5t) + \cos(40t) + 5 \cos(27t) + 10 \cos(12t) + \cos(15t)$	СФ, $N = 6$	$\omega_{g_low} = 10 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 25 \frac{рад}{сек}$	1
68	$x(t) = \cos(t) + 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + \cos(30t)$	ФВЧ, $N = 4$	$\omega_g = 20 \frac{рад}{сек}$	3
69	$x(t) = \cos(12t) + 10 \cos(20t) + 2 \cos(50t)$	ФНЧ, $N = 7$	$\omega_g = 15 \frac{рад}{сек}$	5
70	$x(t) = \cos(12t) + \cos(30t) + 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + \cos(15t)$	СФ, $N = 5$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 17 \frac{рад}{сек}$	3

Таблиця А.2 – Варіанти завдань для частини II розрахункової роботи

№	Завдання		
	Аналітичний вид сигналу	Тип та порядок фільтра	Граничні частоти
1	$x(t) = \cos(3t) + \cos(7t) + \cos(8t) + \cos(20t)$	ФНЧ Баттерворта, $N = 3$	$\omega_g = 5 \frac{рад}{сек}$
2	$x(t) = 10 \cos(40t) + 5 \cos(15t) + 10 \cos(30t)$	СФ Чебишева, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 10 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 20 \frac{рад}{сек}$
3	$x(t) = \cos(15t) + 20 \cos(25t) + \cos(50t) + \cos(5t) + 10 \cos(10t)$	РФ Бесселя, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 20 \frac{рад}{сек}$
4	$x(t) = \cos(20t) + \cos(5t) + \cos(8t) + \cos(15t)$	ФВЧ Кауера, $N = 4$	$\omega_g = 17 \frac{рад}{сек}$
5	$x(t) = 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + 8 \cos(20t) + \cos(30t)$	РФ Чебишева, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{рад}{сек}$

6	$x(t) = \cos(5t) + 20\cos(10t) + \cos(25t) + 10\cos(20t)$	ФВЧ Кауера, $N = 3$	$\omega_g = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
7	$x(t) = \cos(5t) + 20\cos(10t) + 10\cos(20t) + \cos(25t)$	ФНЧ Кауера, $N = 4$	$\omega_g = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
8	$x(t) = \cos(t) + 5\cos(5t) + 10\cos(10t) + \cos(15t)$	СФ Бесселя, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 3 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 12 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
9	$x(t) = \cos(t) + 5\cos(5t) + 10\cos(10t) + \cos(15t)$	РФ Баттерворта, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 3 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 7 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
10	$x(t) = \cos(25t) + \cos(7t) + \cos(8t) + \cos(3t)$	РФ Бесселя, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 5 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 12 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
11	$x(t) = \cos(t) + \cos(5t) + \cos(7t) + \cos(20t)$	ФВЧ Баттерворта, $N = 3$	$\omega_g = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
12	$x(t) = \cos(3t) + \cos(7t) + \cos(8t) + \cos(20t)$	ФНЧ Кауера, $N = 4$	$\omega_g = 10 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
13	$x(t) = 15\cos(2t) + 10\cos(10t) + 10\cos(30t)$	СФ Чебишева, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 5 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 13 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
14	$x(t) = \cos(15t) + \cos(7t) + \cos(t) + \cos(30t)$	ФНЧ Кауера, $N = 3$	$\omega_g = 3 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$

15	$x(t) = \cos(t) + \cos(7t) + \cos(15t) + \cos(20t)$	ФВЧ Кауера, $N = 4$	$\omega_g = 10 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
16	$x(t) = \cos(5t) + 20\cos(10t) + \cos(25t) + 10\cos(25t)$	ФВЧ Бесселя, $N = 4$	$\omega_g = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
17	$x(t) = \cos(5t) + 20\cos(10t) + 10\cos(20t) + \cos(25t) + \cos(30t)$	ФНЧ Кауера, $N = 3$	$\omega_g = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
18	$x(t) = \cos(t) + \cos(25t) + 5\cos(5t) + 10\cos(8t) + \cos(15t)$	ФВЧ Баттерворта, $N = 4$	$\omega_g = 10 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
19	$x(t) = \cos(t) + \cos(30t) + 5\cos(5t) + 10\cos(10t) + \cos(15t)$	ФНЧ Кауера, $N = 4$	$\omega_g = 7 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
20	$x(t) = \cos(45t) + \cos(5t) + \cos(8t) + \cos(15t)$	РФ Чебишева, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 3 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 10 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
21	$x(t) = \cos(20t) + \cos(5t) + \cos(8t) + \cos(15t)$	ФВЧ Чебишева, $N = 3$	$\omega_g = 17 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
22	$x(t) = \cos(12t) + 10\cos(25t) + 2\cos(35t) + \cos(40t)$	СФ Бесселя, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 30 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
23	$x(t) = \cos(12t) + 10\cos(25t) + 2\cos(35t) + \cos(45t)$	РФ Баттерворта, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 30 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$

24	$x(t) = \cos(12t) + 10\cos(25t) + 2\cos(35t) + \cos(45t)$	СФ Баттерворта, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 15 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 30 \frac{рад}{сек}$
25	$x(t) = \cos(12t) + 10\cos(25t) + 2\cos(35t) + \cos(45t)$	РФ Чебишева, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 15 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 30 \frac{рад}{сек}$
26	$x(t) = \cos(8t) + 10\cos(25t) + 2\cos(35t) + \cos(45t)$	РФ Бесселя, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 15 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 40 \frac{рад}{сек}$
27	$x(t) = 8\cos(5t) + \cos(40t) + 5\cos(27t) + 10\cos(12t) + \cos(15t)$	СФ Баттерворта, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 10 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 25 \frac{рад}{сек}$
28	$x(t) = \cos(t) + 5\cos(5t) + 10\cos(10t) + \cos(20t) + 15\cos(40t)$	ФВЧ Кауера, $N = 4$	$\omega_g = 15 \frac{рад}{сек}$
29	$x(t) = \cos(8t) + 8\cos(5t) + 10\cos(30t) + \cos(7t) + 10\cos(10t)$	ФНЧ Кауера, $N = 4$	$\omega_g = 15 \frac{рад}{сек}$
30	$x(t) = \cos(15t) + 20\cos(25t) + \cos(45t) + \cos(5t) + 10\cos(10t)$	СФ Бесселя, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 27 \frac{рад}{сек}$
31	$x(t) = \cos(15t) + 20\cos(30t) + \cos(50t) + \cos(5t) + 10\cos(10t)$	РФ Баттерворта, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 25 \frac{рад}{сек}$
32	$x(t) = \cos(5t) + 10\cos(10t) + \cos(15t) + 7\cos(40t) + \cos(20t)$	ФВЧ Кауера, $N = 4$	$\omega_g = 17 \frac{рад}{сек}$

33	$x(t) = 10\cos(40t) + 5\cos(15t) + 10\cos(30t)$	СФ Бесселя, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 10 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 20 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
34	$x(t) = 10\cos(50t) + 5\cos(15t) + 10\cos(30t)$	РФ Чебишева, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 10 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 25 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
35	$x(t) = 5\cos(5t) + 10\cos(10t) + 8\cos(25t)$	РФ Баттерворта, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
36	$x(t) = 5\cos(5t) + 8\cos(30t) + 10\cos(10t)$	СФ Бесселя, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
37	$x(t) = 5\cos(5t) + 10\cos(10t) + 8\cos(20t) + \cos(30t)$	СФ Чебишева, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
38	$x(t) = 5\cos(5t) + 10\cos(10t) + 8\cos(20t) + \cos(30t)$	РФ Баттерворта, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 25 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
39	$x(t) = \cos(5t) + 20\cos(10t) + \cos(35t) + 10\cos(20t)$	ФВЧ Кауера, $N = 4$	$\omega_g = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
40	$x(t) = \cos(5t) + 20\cos(10t) + 10\cos(20t) + \cos(25t)$	ФНЧ Кауера, $N = 3$	$\omega_g = 12 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
41	$x(t) = \cos(t) + 5\cos(5t) + 10\cos(10t) + \cos(25t)$	СФ Бесселя, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 3 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 12 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$

42	$x(t) = \cos(t) + 5\cos(5t) + 10\cos(10t) + \cos(30t)$	РФ Баттерворта, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 3 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{рад}{сек}$
43	$x(t) = \cos(10t) + \cos(15t) + \cos(5t) + \cos(25t)$	СФ Чебишева, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 17 \frac{рад}{сек}$
44	$x(t) = \cos(t) + \cos(35t) + 5\cos(5t) + 10\cos(10t) + \cos(15t)$	ФВЧ Кауера, $N = 4$	$\omega_g = 12 \frac{рад}{сек}$
45	$x(t) = \cos(t) + \cos(25t) + 5\cos(5t) + 10\cos(13t) + \cos(15t) + \cos(10t)$	ФНЧ Кауера, $N = 3$	$\omega_g = 11 \frac{рад}{сек}$
46	$x(t) = \cos(40t) + \cos(5t) + \cos(8t) + \cos(15t)$	РФ Баттерворта, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 3 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 10 \frac{рад}{сек}$
47	$x(t) = \cos(25t) + \cos(5t) + \cos(8t) + \cos(15t) + \cos(30t)$	ФВЧ Кауера, $N = 4$	$\omega_g = 20 \frac{рад}{сек}$
48	$x(t) = \cos(12t) + 10\cos(25t) + 5\cos(40t)$	СФ Бесселя, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 15 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 30 \frac{рад}{сек}$
49	$x(t) = \cos(12t) + 10\cos(25t) + 2\cos(30t) + \cos(40t)$	РФ Баттерворта, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 15 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 35 \frac{рад}{сек}$
50	$x(t) = \cos(8t) + 10\cos(25t) + 2\cos(35t) + \cos(50t)$	РФ Чебишева, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 15 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 30 \frac{рад}{сек}$

51	$x(t) = 8\cos(5t) + \cos(40t) + 5\cos(27t) + 10\cos(12t) + \cos(15t)$	СФ Бесселя, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 10 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 25 \frac{рад}{сек}$
52	$x(t) = \cos(t) + 5\cos(5t) + 10\cos(10t) + \cos(30t)$	ФВЧ Кауера, $N = 4$	$\omega_g = 20 \frac{рад}{сек}$
53	$x(t) = \cos(12t) + 10\cos(20t) + 2\cos(35t)$	ФНЧ Кауера, $N = 3$	$\omega_g = 15 \frac{рад}{сек}$
54	$x(t) = \cos(12t) + \cos(30t) + 5\cos(5t) + 10\cos(10t) + \cos(15t)$	СФ Баттерворта, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 17 \frac{рад}{сек}$
55	$x(t) = \cos(50t) + \cos(20t) + 10\cos(15t) + \cos(25t) + \cos(30t)$	РФ Бесселя, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 10 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 35 \frac{рад}{сек}$
56	$x(t) = \cos(t) + 10\cos(7t) + 8\cos(8t) + \cos(25t)$	СФ Баттерворта, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 5 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 10 \frac{рад}{сек}$
57	$x(t) = \cos(30t) + \cos(7t) + \cos(8t) + \cos(3t) + 10\cos(10t)$	РФ Бесселя, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 5 \frac{рад}{сек}$ $\omega_{g_high} = 12 \frac{рад}{сек}$
58	$x(t) = \cos(t) + \cos(5t) + \cos(7t) + \cos(25t)$	ФВЧ Кауера, $N = 4$	$\omega_g = 15 \frac{рад}{сек}$
59	$x(t) = \cos(3t) + \cos(7t) + \cos(8t) + \cos(25t) + \cos(10t)$	ФНЧ Кауера, $N = 3$	$\omega_g = 15 \frac{рад}{сек}$

60	$x(t) = 5 \cos(5t) + 8 \cos(35t) + 10 \cos(10t) + 5 \cos(12t)$	СФ Баттерворта, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
61	$x(t) = 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + 8 \cos(25t) + 10 \cos(40t)$	РФ Бесселя, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
62	$x(t) = 5 \cos(5t) + 8 \cos(35t) + 10 \cos(10t) + \cos(20t)$	СФ Баттерворта, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 25 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
63	$x(t) = 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + 8 \cos(20t) + \cos(13t) + \cos(50t)$	СФ Чебишева, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
64	$x(t) = 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + 8 \cos(20t) + \cos(40t)$	РФ Баттерворта, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 25 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
65	$x(t) = \cos(5t) + 20 \cos(10t) + \cos(25t) + 10 \cos(40t)$	ФВЧ Кауера, $N = 4$	$\omega_g = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
66	$x(t) = \cos(8t) + 10 \cos(25t) + 2 \cos(35t) + 10 \cos(45t)$	РФ Чебишева, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 30 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
67	$x(t) = 8 \cos(5t) + \cos(40t) + 5 \cos(27t) + 10 \cos(12t) + \cos(15t)$	СФ Баттерворта, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 10 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 25 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
68	$x(t) = \cos(t) + 5 \cos(5t) + 10 \cos(10t) + \cos(50t)$	ФВЧ Кауера, $N = 4$	$\omega_g = 20 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$

69	$x(t) = \cos(12t) + 10\cos(20t) + 2\cos(50t)$	ФНЧ Кауэра, $N = 3$	$\omega_g = 15 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$
70	$x(t) = \cos(12t) + \cos(35t) + 5\cos(5t) + 10\cos(10t) + \cos(15t)$	СФ Бесселя, $N = 2$	$\omega_{g_low} = 7 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ $\omega_{g_high} = 17 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$

Зразок оформлення титульної сторінки розрахункової роботи

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО

Кафедра комп'ютерних та інформаційних систем

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

з навчальної дисципліни «Обробка сигналів та зображень»

Тема «Аналіз та синтез цифрових нерекурсивних і рекурсивних фільтрів»

Студент гр. _____ ПІБ _____

Керівник _____ ПІБ _____

Кременчук 2021

Методичні вказівки щодо виконання розрахунково-графічної та самостійної робіт з навчальної дисципліни «Обробка сигналів та зображень» для здобувачів денної форми навчання зі спеціальності 123 – «Комп'ютерна інженерія» освітньо-професійної програми «Комп'ютерна інженерія» освітнього ступеня «Бакалавр»

Укладачі: к. т. н., доц. В. М. Сидоренко

Відповідальний за випуск зав. кафедри КІЕ А. Л. Перекрест

Підп. до др. _____ Формат 60x84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.

Ум. друк. арк. _____ Наклад _____ прим. Зам. № _____ Безкоштовно.

Редакційно-видавничий відділ
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського
вул. Університетська 20, м. Кременчук, Полтавська обл., 39600