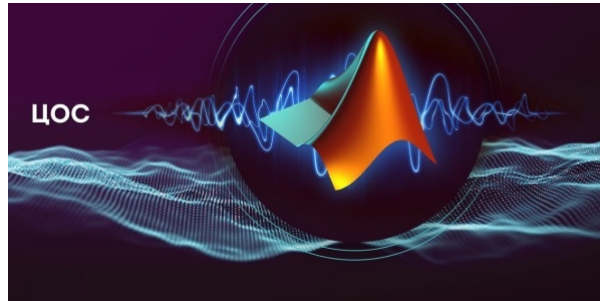




# [RE-114] ЦИФРОВЕ ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛІВ



## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	17 - Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність	172 - Електронні комунікації та радіотехніка 172Б РТС - Радіотехнічні інформаційні технології (ЄДЕБО id: 6842)172Б РОС - Радіозв'язок і оброблення сигналів (ЄДЕБО id: 6364)172Б РСІ - Радіосистемна інженерія (ЄДЕБО id: 7350)172Б ІТР - Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки (ЄДЕБО id: 49229)172Б ІТМР - Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки (ЄДЕБО id: 5627)172Б ІКР - Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія (ЄДЕБО id: 49228)172Б РКС - Радіотехнічні комп'ютеризовані системи (ЄДЕБО id: 49227)172Б ІТРЕТ+ - Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки (ЄДЕБО id: 57907)172Б ІКРІ+ - Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія (ЄДЕБО id: 57910)172Б РТКС+ - Радіотехнічні комп'ютеризовані системи (ЄДЕБО id: 57920)172Б ТРЕБ - Технології радіоелектронної боротьби (ЄДЕБО id: 63920)G5Б ТРЕБ - Технології радіоелектронної боротьби (ЄДЕБО id: )G5Б ІТРЕТ - Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки (ЄДЕБО id: )G5Б ІКРІ - Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія (ЄДЕБО id: )G5Б РТКС - Радіотехнічні комп'ютеризовані системи (ЄДЕБО id: 83620)
Освітня програма	
Статус дисципліни	Нормативна
Форма здобуття вищої освіти	Очна
Рік підготовки, семестр	3 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	5 кред. (Лекц. 36 год, Практ. 36 год, Лаб. 18 год, СРС. 60 год )
Семестровий контроль/контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	<a href="https://rozklad.kpi.ua">https://rozklad.kpi.ua</a>
Мова викладання	Українська

Інформація про керівника курсу / викладачів

Лекц.: [Антипенко Р. В.](#),  
Практ.: [Приходько І. О.](#),  
Лаб.: [Приходько І. О.](#),  
СРС.: [Антипенко Р. В.](#)

Розміщення курсу

<https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=450>

## Програма навчальної дисципліни

### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

**Метою** кредитного модуля є формування у студентів здатностей:

- Аналізувати дискретні системи та їх структури;
- Проектувати лінійні цифрові фільтри;
- Визначати основні характеристики дискретних сигналів;
- Використовувати основні методи спектрального аналізу дискретних сигналів;
- Проектувати дискретні системи з обробленням сигналів на кількох швидкостях.

Студенти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати такі результати навчання:

#### **знання:**

властивостей дискретних систем та їх основні характеристики в часовій, частотній та  $z$ -області; методів проектування цифрових лінійних фільтрів; основних методів спектрального аналізу дискретних сигналів; узгодженої цифрової фільтрації; оброблення дискретних сигналів на кількох швидкостях.

#### **уміння:**

аналізувати та проектувати лінійні дискретні системи (цифрові фільтри); використовувати основні методи спектрального аналізу дискретних сигналів; використовувати узгоджену фільтрацію дискретних сигналів, обробляти дискретні сигнали за допомогою багатошвидкісних систем.

#### **досвід:**

проектування лінійних цифрових фільтрів; спектрального аналізу дискретних сигналів; використання інструментів Matlab та інших програмних продуктів для цифрового оброблення сигналів.

#### **Загальні компетентності, що забезпечуються вивченням дисципліни:**

- **ЗК7.** Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями
- **ЗК8.** Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми
- **ЗК11.** Здатність реалізувати свої права і обов'язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського (вільного демократичного) суспільства та необхідність його сталого розвитку, верховенства права, прав і свобод людини і громадянина в Україні.

#### **Фахові компетентності:**

- **ФК3.** Здатність використовувати базові методи, способи та засоби отримання, передавання, обробки та зберігання інформації
- **ФК4.** Здатність здійснювати комп'ютерне моделювання пристроїв, систем і процесів з використанням універсальних пакетів прикладних програм.
- **ФК5.** Здатність використовувати нормативну та правову документацію, що стосується інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем (закони України, технічні регламенти, міжнародні та національні стандарти,

рекомендації Міжнародного союзу електров'язку і т.п.) для вирішення професійних завдань.

- **ФК15.**Здатність проводити розрахунки у процесі проектування споруд і засобів інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем, відповідно до технічного завдання з використанням як стандартних, так і самостійно створених методів, прийомів і програмних засобів автоматизації проектування.
- **ФК16.**Здатність застосовувати стандартні методи розрахунку при проектуванні вузлів телекомунікаційних та радіотехнічних пристроїв і систем
- **ФК20.**Здатність обирати методи та засоби обробки інформації із застосуванням інтелектуальних технологій
- **ФК25.**Здатність обґрунтовано вибирати САПР для виконання аналізу, розрахунку, оптимізації вихідних характеристик математичних та схемних моделей аналогових та цифрових пристроїв в залежності від діапазону частот з урахуванням факторів зовнішнього впливу, використовувати інформаційні ресурси Internet для отримання математичних та конструкторських моделей радіокомпонент від виробників виходячи від оцінки особливостей передачі інформації в радіомережах

### **Програмні результати навчання:**

- **ПРН4.** застосовувати бази даних, математичне і програмне забезпечення для обробки даних та комп'ютерного моделювання телекомунікаційних та радіотехнічних систем, та інтелектуальних технологій радіоелектроніки;
- **ПРН5.** навички оцінювання, інтерпретації та синтезу інформації і даних;
- **ПРН6.** адаптуватись в умовах зміни технологій інформаційно-комунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем;
- **ПРН9.** аналізувати та виконувати оцінку ефективності методів проектування інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем;
- **ПРН11.** застосовувати міжособистісні навички для взаємодії з іншими людьми та залучення їх до командної роботи;
- **ПРН13.** застосовувати фундаментальні і прикладні науки для аналізу та розробки процесів, що відбуваються в телекомунікаційних та радіотехнічних системах;
- **ПРН15.** застосовувати засоби автоматизації проектування і технічної експлуатації систем телекомунікацій та радіотехніки у професійній діяльності;
- **ПРН20.** пояснювати принципи побудови й функціонування апаратно-програмних комплексів систем керування та технічного обслуговування для розробки, аналізу і експлуатації інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем;
- **ПРН23.** обирати і застосовувати технічні рішення та проводити необхідні розрахунки для реалізації методів цифрового та аналогового оброблення сигналів;
- **ПРН24.** реалізовувати методи цифрового оброблення сигналів на програмному та апаратному рівнях.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Цифрове оброблення сигналів базується на дисциплінах: «Вища математика», «Інформатика», «Основи теорії кіл», «Основи теорії телекомунікацій».

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Тема 1. Основні поняття.**

Розвиток систем ЦОС. Класичні напрямки ЦОС: спектральний аналіз та цифрова фільтрація. Сфери застосування ЦОС, переваги та недоліки. Математичний апарат. Узагальнена схема системи ЦОС. Шляхи реалізації систем ЦОС.

Основні типи сигналів. Дискретний сигнал. Цифровий сигнал. Типові дискретні сигнали.

Цифровий одиничний імпульс. Цифровий одиничний скачок. Дискретна дійсна експонента. Дискретний гармонічний сигнал. Дискретний комплексний гармонічний сигнал. Комбінування стандартних послідовностей.

Дискретні системи. Основні визначення. Класифікація дискретних систем. Лінійна дискретна система. Стаціонарна дискретна система. Детермінована дискретна система. Пам'ять систем. Стійкість.

## **Тема 2. Основи дискретних перетворень.**

Дискретні перетворення (огляд).

Дискретне перетворення Лапласа. Відмінність від перетворення аналогових сигналів. Основні властивості.

Перетворення Фур'є дискретної послідовності. Основні властивості перетворення Фур'є. Неперервність. Періодичність. Перетворення Фур'є дійсного сигналу. Лінійність. Зміщення по частоті. Зміщення в часі (затримка). Теорема Парсеваля. Теорема про згортку. Теорема про періодичну згортку (модуляція). Диференціювання по частоті.

Z-перетворення. Зв'язок з дискретним перетворенням Лапласа. Зв'язок з перетворенням Фур'є.

Область збігання z-перетворення. Властивості області збігання.

Властивості z-перетворення. Лінійність. Теорема про затримку. Теорема про згортку. Множення на експоненційну послідовність. Диференціювання.

Зворотне z-перетворення. Способи знаходження зворотного z-перетворення. Таблиці відповідності. Розкладання z-зображення на прості дроби. Розкладання в степеневі ряди.

## **Тема 3. Спектральний аналіз.**

Спектр дискретного сигналу. Властивості спектрів дискретного сигналу. Накладання спектрів дискретного сигналу. Зв'язок із спектром аналогового сигналу, розмноження спектру аналогового сигналу.

Дискретне перетворення Фур'є (ДПФ). Пряме перетворення. Діапазон аналізу. Роздільна здатність по частоті. Відлік абсолютної частоти. Кількість часових та частотних відліків. Періодичність ДПФ по частоті. Матриця ДПФ.

Властивості ДПФ. Періодичність. Лінійність. Зміщення. Затримка. Теорема Парсеваля. Симетрія. Розрахунок за допомогою ДПФ кругової (періодичної) згортки. ДПФ добутку періодичних послідовностей.

Алгоритми швидкого перетворення Фур'є. Розрахункова складність ДПФ.

Алгоритм ШПФ з прорідженням у часі. Початкові умови (обернення бітів). Приклад ШПФ 8-точкової послідовності. Основа алгоритму ШПФ.

Алгоритм ШПФ з прорідженням по частоті.

Знаходження зворотного ДПФ за допомогою алгоритму ШПФ.

Узагальнення по ШПФ.

Алгоритм Герцеля.

Розтікання спектру.

Дискретна фільтрація за допомогою ДПФ.

Спектрограма.

Особливості використання ДПФ для спектрального аналізу.

#### **Тема 4. Лінійні дискретні системи (ЛДС).**

Лінійні дискретні системи, визначення.

Опис ЛДС в часовій області. Імпульсна характеристика (ІХ). Перехідна характеристика. Співвідношення між входом і виходом ЛДС. Формула дискретної лінійної згортки. Різницеве рівняння. Рекурсивні та не рекурсивні ЛДС. Системи із скінченною та нескінченною ІХ. Пам'ять ЛДС. Стійкість ЛДС. Оцінка стійкості ЛДС по ІХ.

Опис ЛДС в  $z$ -області. Передавальна функція. Властивості ПФ. Карта нулів та полюсів ПФ. Зв'язок ПФ та ІХ. ПФ рекурсивних та нерекурсивних ЛДС. Оцінка стійкості ЛДС по ПФ.

Опис ЛДС в частотній області. Частотна характеристика. КЧХ, АЧХ та ФЧХ. Зв'язок КЧХ та ПФ. Властивості КЧХ.

Структури ЛДС, основні операції.

Структури рекурсивних ЛДС. Пряма структура I. Пряма структура II (канонічна пряма структура). Каскадна структура. Паралельна структура.

Структури нерекурсивних ЛДС. Пряма структура. Каскадна структура.

Вибір структури ЛДС.

#### **Тема 5. Цифрові лінійні фільтри (ЦФ). Методи розрахунку.**

Цифрові фільтри. Вимоги до ЦФ. ЦФ як ЛДС. Імпульсна характеристика ЦФ різних порядків. Випадки дійсних та комплексних полюсів. Геометрична інтерпретація АЧХ та ФЧХ. Нуль-полюсна карта ЦФ. Вплив нулів та полюсів на ЧХ.

ЦФ різного порядку. ЦФ 1-го порядку. Схема, характеристики. ЦФ 2-го порядку. Пряма та канонічна форми реалізації. Структурні схеми. Алгоритм обчислення імпульсної характеристики та АЧХ.

Методи розрахунку НІХ-фільтрів.

Метод інваріантного перетворення імпульсної характеристики. Переваги та недоліки методу. Приклади розрахунку.

Метод білінійного перетворення. Сутність методу. Вимоги до функції перетворення аналогової частоти. Основні співвідношення. Недоліки методу.

Розрахунок коефіцієнтів ЦФ шляхом розміщення нулів та полюсів. Розрахунок коефіцієнтів ЦФ шляхом узгодженого  $z$ -перетворення.

Методи розрахунку СІХ-фільтрів.

Метод зважування імпульсної характеристики. Використання ФНЧ та смугових ідеальних аналогових фільтрів як прототипів ЦФ. Основні співвідношення. Явище Гіббса. Види зважувачих вікон: прямокутне, Хемінга, Ханна, Кайзера. Порівняння їх ефективності. Вибір вікон по гарантованому згасанню та перехідній смузі частот. Переваги та недоліки методу.

Метод частотної вибірки. Основні співвідношення. Відхилення АЧХ ЦФ від прототипу у місцях частотних вибірок. Методи оптимізації частотних вибірок. Метод лінійного програмування. Різні форми реалізації інтерполюючого СІХ-фільтра. Використання нерекурсивної та рекурсивної структур.

ЦФ з лінійною ФЧХ. Умови забезпечення ідеальної лінійної ФЧХ, типи ЦФ. ФЧХ фільтрів із скінченною імпульсною характеристикою. Постановка задачі. Результати рішення. Вид імпульсної характеристики СІХ-фільтра з ідеальною ФЧХ. Забезпечення постійної фазової та групової затримки.

Все пропускаючі фільтри (ВПФ). ВПФ першого порядку. ВПФ вищих порядків. Структурні схеми ВПФ першого порядку. Рекурентна формула ПФ ВПФ.

Мінімально фазові ЛДС.

Узгоджені ЦФ.

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

1. [Дистанційний курс Цифрове оброблення сигналів на платформі дистанційного навчання "Сікорський"](#).
2. Alan V. Oppenheim. Digital Signal Processing / Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schaffer — Режим доступу: <https://ocw.mit.edu/courses/res-6-008-digital-signal-processing-spring-2011/> — Назва з екрану.
3. Бортник Г.Г. Цифрова обробка сигналів в телекомунікаційних системах підручник. Г.Г. Бортник / 2014. — Вінниця: ВНТУ 2014.— 231с.
4. Ушенко Ю.О. Основи та методи цифрової обробки сигналів: від теорії до практики навчальний посібник. Ю.О. Ушенко, В.В. Дрожак, М.С. Гавриляк, М.В. Талах / 2021. — Чернівці : Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича 2021. — 307 с.
5. Digital Signal Processing. Principles, Algorithms, and Applications. Third Edition. John G. Proakis, Dimitris G. Manolakis. 1996, Prentice Hall, New Jersey, USA.
6. Signal Processing Toolbox — Режим доступу: [https://uk.mathworks.com/help/signal/index.html?s\\_tid=hc\\_product\\_card](https://uk.mathworks.com/help/signal/index.html?s_tid=hc_product_card)— Назва з екрану.

### Навчальний контент

#### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

##### Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	<p><b>Тема 1. Основні поняття.</b>                      [1], [2], [3],                      Історія розвитку ЦОС. Класичні напрямки ЦОС: спектральний аналіз та цифрова фільтрація. Застосування ЦОС - переваги та недоліки.  <b>Завдання на СРС:</b> Математичний апарат. Узагальнена схема системи ЦОС. Шляхи реалізації систем ЦОС. [3, стор. 7, 20]</p> <p><b>Тема 2. Основи дискретних перетворень.</b>                      [1]                      Дискретне перетворення Лапласа. Відміни від перетворення аналогових сигналів. Основні властивості.</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
2	<p><b>Тема 2. Основи дискретних перетворень (продовження).</b>  Перетворення Фур'є дискретної послідовності. Умова існування. Основні властивості. <math>Z</math> - перетворення пряме. Обґрунтування переходу від комплексної <math>p</math> - площини до <math>Z</math> - площини. Збігання <math>Z</math> - перетворення. Співвідношення комплексних <math>p</math> - та <math>Z</math> - площин. Властивості. Приклади перетворень.  Обернене <math>Z</math> - перетворення. Методи знаходження. Приклади.  <b>Завдання на СРС:</b> Інші дискретні перетворення (огляд): ортогональні перетворення, дискретне перетворення Гілберта, перетворення Адамара, Хаара, Уолша, косинусне та синусне, Карунена-Лоева. [2]</p>
3	<p><b>Тема 3. Спектральний аналіз.</b>  [1-4]  Комплексний спектр дискретного сигналу. Амплітудний та енергетичний спектр. Основні властивості та теореми: лінійність, цифрова згортка, теорема про зсув, періодичність по частоті, зв'язок із спектром аналогового сигналу, розмноження спектру аналогового сигналу, можливість відновлення спектру аналогового сигналу. Накладання спектрів.  <b>Завдання на СРС:</b> Подання ДПФ як дискретної фільтрації (алгоритм Герцеля). [3]</p>
4	<p><b>Тема 3. Спектральний аналіз (продовження).</b>  Дискретне перетворення Фур'є (ДПФ). Пряме перетворення. Діапазон аналізу. Роздільна здатність по частоті. Відлік абсолютної частоти. Кількість часових та частотних відліків. Періодичність ДПФ по частоті. Накладання спектрів. Швидкодія алгоритму. Властивість комплексної симетрії. Способи підвищення роздільної здатності по частоті. Обернене перетворення Фур'є, його властивості.</p>
5	<p><b>Тема 3. Спектральний аналіз (продовження).</b>  Алгоритми швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Різноманітність алгоритмів ШПФ. Процедура прорідження часових відліків. Алгоритм двійкової інверсії (біт-реверс). Направлений граф ШПФ. Переваги алгоритму ШПФ: швидкодія, використання пам'яті. Коефіцієнт прискорення ШПФ. Обернене ШПФ (ОШПФ). Знаходження ОШПФ за допомогою ШПФ.  <b>Завдання на СРС:</b> Перенос та інверсія спектра. Формування цифрового сигналу з однією боковою смугою. Подання ДПФ як дискретної фільтрації (алгоритм Герцеля). [1], [3]</p>
6	<p><b>Тема 4. Дискретна згортка та кореляція.</b>  [3-4]  Взаємна кореляція та автокореляція. Використання кореляції. Швидка кореляція. Дискретна згортка. Використання згортки у ЦОС як базової операції. Приклад обчислення. Згортка аперіодична (лінійна). Приклади обчислення.</p>
7	<p><b>Тема 4. Дискретна згортка та кореляція (продовження).</b>  Дискретна фільтрація за допомогою ДПФ. Згортка кругова (періодична). Згортка швидка. Використання алгоритму ШПФ.  <b>Завдання на СРС:</b> Обчислення згортки довгих послідовностей, їх секціонування (блочна згортка). Методи склеювання окремих блоків. Подання ДПФ як дискретної фільтрації (алгоритм Герцеля). [5]</p>
8	<p><b>Тема 5. Лінійні дискретні системи (ЛДС).</b>  [1], [3]  Основні поняття та властивості ЛДС.  Опис ЛДС в часовій області. Основна характеристика в часовій області - імпульсна характеристика. Лінійна згортка. Різницеве рівняння. Рекурсивні та нерекурсивні ЛДС. Аналіз стійкості.  Опис ЛДС в <math>z</math>-області. Основна характеристика ЛДС в <math>z</math>-області - передавальна функція (ПФ). Визначення ПФ. Зв'язок ПФ та імпульсної характеристики.</p>
9	<p><b>Тема 5. Лінійні дискретні системи (ЛДС) (продовження).</b>  Карта нулів і полюсів ПФ. Факторизація ПФ. Аналіз стійкості ЛДС в <math>z</math>-області. Опис ЛДС в частотній області. Основна характеристика в частотній області - комплексна частотна характеристика (КЧХ). Зв'язок КЧХ та ПФ.  <b>Завдання на СРС:</b> Експрес-аналіз КЧХ. [3]</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
10	<p><b>Тема 6. Структури ЛДС.</b> [1] Структури рекурсивних ЛДС, їх властивості та відмінності. Прямая структура. Канонічна пряма структура. Каскадна структура. Паралельна структура. Структури нерекурсивних ЛДС, їх властивості та відмінності. Прямая структура. Каскадна структура.</p>
11	<p><b>Тема 7. Цифрові лінійні фільтри (ЦФ).</b> [1] ЦФ як ЛДС. Імпульсна характеристика ЦФ різних порядків. Випадки дійсних та комплексних полюсів. Геометрична інтерпретація АЧХ та ФЧХ. Нуль-полюсна карта ЦФ. ЦФ різного порядку. ЦФ 1-го порядку. Схема, характеристики. ЦФ 2-го порядку. Алгоритм обчислення імпульсної характеристики та АЧХ. Рекурсивні ЦФ. Фільтри із нескінченною імпульсною характеристикою (НІХ-фільтри). Особливості НІХ-фільтрів: форми реалізації, імпульсна характеристика, нуль-полюсна карта, необхідність перевірки на стійкість, алгоритми реалізації, <b>Завдання на СРС:</b> Особливості НІХ-фільтрів: вплив на АЧХ полюсів, порядок. [3]</p>
12	<p><b>Тема 7. Цифрові лінійні фільтри (ЦФ) (продовження).</b> Нерекурсивні ЦФ. Фільтри із скінченною імпульсною характеристикою (СІХ-фільтри). Імпульсна характеристика. Форми реалізації. Нуль-полюсна карта. Стійкість нерекурсивних ЦФ. Реалізація та алгоритм швидкої згортки. Вплив нулів та полюсів на ЧХ. Переваги та недоліки ЦФ. Вибір між НІХ та СІХ фільтрами.</p>
13	<p><b>Тема 8. Методи розрахунку ЦФ.</b> [1-5]. Розрахунок НІХ-фільтрів. Метод інваріантного перетворення імпульсної характеристики. Переваги та недоліки методу. Приклади розрахунку. Метод білінійного перетворення. Сутність методу. Вимоги до функції перетворення аналогової частоти. Основні співвідношення. Недоліки методу. <b>Завдання на СРС:</b> Інші методи проектування НІХ-фільтрів. [1-5]</p>
14	<p><b>Тема 8. Методи розрахунку ЦФ (продовження).</b> Розрахунок СІХ-фільтрів. Метод зважування імпульсної характеристики. Використання ФНЧ та смугових ідеальних аналогових фільтрів як прототипів ЦФ. Основні співвідношення. Явище Гіббса. Види віконних функцій: прямокутна, Хемінга, Ханна, Кайзера. <b>Завдання на СРС:</b> Порівняння ефективності віконних функцій. Вибір вікон по гарантованому згасанню та перехідній смузі частот. Переваги та недоліки метода. [1,5]</p>
15	<p><b>Тема 8. Методи розрахунку ЦФ (продовження).</b> Метод частотної вибірки. Основні співвідношення. Відхилення АЧХ ЦФ від прототипу у місцях частотних вибірок. Методи оптимізації частотних вибірок. Метод лінійного програмування. Різні форми реалізації інтерполюючого СІХ-фільтра. Рекурсивна реалізація СІХ-фільтра. <b>Завдання на СРС:</b> Оптимізаційні методи проектування СІХ-фільтрів. [1-3,5]</p>
16	<p><b>Тема 9. Приклади систем ЦОС та їх особливості.</b> [1] СІХ системи з лінійною ФЧХ. Умови забезпечення ідеальної лінійної ФЧХ. Вид імпульсної характеристики СІХ-фільтра з ідеальною ФЧХ. Забезпечення постійної фазової та групової затримки. Структура систем із лінійною ФЧХ. Все пропускаючі фільтри (all-pass filter). ПФ, КЧХ. Структура все пропускаючих фільтрів. <b>Завдання на СРС:</b> Мінімально-фазові системи. [3] Узгоджений цифровий фільтр [4]</p>
17	<p><b>Тема 10. Зміна частоти дискретизації цифрового сигналу.</b> [3] Необхідність оброблення сигналів на кількох швидкостях. Децимація (зменшення частоти дискретизації цифрового сигналу). Принцип роботи систем децимації. Децимація за допомогою оптимальних ЦФ. Перенос спектра при децимації.</p>



№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
18	<p><b>Тема 10. Зміна частоти дискретизації цифрового сигналу (продовження).</b>            Інтерполяція (збільшення частоти дискретизації цифрового сигналу). Принцип роботи систем інтерполяції, їх структурні схеми. Цифрова фільтрація при поліноміальній (лінійній) інтерполяції. Інтерполяція за допомогою оптимальних ЦФ. Перенос спектра при інтерполяції.            Перетворення частоти дискретизації із нецілим кроком (передискретизація).  <b>Завдання на СРС:</b> Багатокаскадне перетворення частоти дискретизації.            Перетворення частоти дискретизації із використанням поліфазної структури. [3]</p>

### Практичні заняття

Практичні заняття проводяться для кращого засвоєння та поглибленого вивчення лекційного матеріалу. Тема практичного заняття доводиться до студентів заздалегідь, на попередньому занятті або на лекції.

В кінці заняття кожен студент може отримувати індивідуальне завдання для самостійного розв'язку по темі практичного заняття для оцінки якості засвоєння матеріалу.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Дискретні сигнали та дискретні системи, класифікація [1]
2	Спектр дискретного сигналу, властивості [1].
3	Дискретне перетворення Фур'є[1].
4	Дискретна згортка [2].
5	Аналіз лінійних дискретних систем. Використання Z-перетворення [2-3].
6	Структури лінійних дискретних систем [1-3]
7	Проектування СХ-фільтрів. [3-5]
8	Узгоджений цифровий фільтр.[4-5]
9	Оброблення дискретних сигналів багатозв'язними системами. [3-4].

### Лабораторні заняття

Основні завдання циклу лабораторних занять формування у студентів відповідних умінь та досвіду.

**Лабораторна робота №1** Дискретне перетворення Фур'є

**Лабораторна робота №2** Проектування цифрових фільтрів

**Лабораторна робота №3** Проектування цифрових фільтрів в Filter Design and Analysis Tool

**Лабораторна робота №4** Фільтрація сигналів

### Індивідуальні завдання

У якості індивідуального завдання програмою передбачено розрахунково-графічну роботу. Студентам пропонується розрахувати цифрові фільтри різних типів із заданими характеристиками. Отримані результати є вхідними даними для виконання лабораторних робіт.

### Контрольні роботи

Для кредитного модуля ЦОС навчальним планом передбачений модульний контроль, що виконується шляхом проведення контрольних робіт. Їх мета – перевірка якості набутих знань та якості виконання самостійної роботи. Контрольні роботи проводяться як самостійна робота студентів.

Перелік задач контрольної роботи:

1. Класифікувати дискретну систему, якщо відома її імпульсна характеристика (або передавальна функція, або різницеве рівняння, або КЧХ, або структурна схема, або набір коефіцієнтів...). Відповідь обґрунтувати.
2. Знайти передавальну функцію дискретної системи, якщо задана імпульсна характеристика (або структурна схема, або вхідний та вихідний сигнали...).
3. Знайти імпульсну характеристику, якщо відома передавальна функція (або структурна схема, або вхідний та вихідний сигнали, або набір коефіцієнтів ...).
4. Задано вхідний дискретний сигнал. Знайти реакцію системи, якщо відома її імпульсна характеристика (або передавальна функція, або різницеве рівняння, або КЧХ, або структурна схема, або набір коефіцієнтів...).
5. Відома реакція дискретної системи. Знайти дію, якщо відома імпульсна характеристика дискретної системи (або передавальна функція, або різницеве рівняння, або КЧХ, або структурна схема, або набір коефіцієнтів...).
6. Знайти спектр заданого дискретного сигналу .
7. Знайти КЧХ дискретної системи, якщо відома її імпульсна характеристика (або передавальна функція, або різницеве рівняння, або КЧХ, або структурна схема, або набір коефіцієнтів, або вхідний та вихідний сигнали...).
8. Накреслити структурну схему (заданого типу) дискретної системи. Різницеве рівняння задане (або передавальна функція, або КЧХ, або набір коефіцієнтів... )

## 6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назва теми, що вноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	<b>Тема 1. Основні поняття.</b> Завдання на СРС: Математичний апарат. Узагальнена схема системи ЦОС. Шляхи реалізації систем ЦОС. [1]	3
2	<b>Тема 2. Основи дискретних перетворень.</b> Завдання на СРС: Інші дискретні перетворення (огляд): ортогональні перетворення, дискретне перетворення Гілберта, перетворення Адамара, Хаара, Уолша, косинусне та синусне, Карунена-Лоева. [1-3]	4
3	<b>Тема 3. Спектральний аналіз.</b> Завдання на СРС: Подання ДПФ як дискретної фільтрації (алгоритм Герцеля). [1, стор. 629] Перенос та інверсія спектра. Формування цифрового сигналу з однією боковою смугою. Подання ДПФ як дискретної фільтрації (алгоритм Герцеля). [1-3].	4
4	<b>Тема 4. Дискретна згортка та кореляція.</b> Завдання на СРС: Обчислення згортки довгих послідовностей, їх секціонування (блочна згортка). Методи склеювання окремих блоків. Подання ДПФ як дискретної фільтрації (алгоритм Герцеля). [3-5]	4
5	<b>Тема 5. Лінійні дискретні системи (ЛДС).</b> Завдання на СРС: Експрес-аналіз КЧХ. [1]	2
6	<b>Тема 7. Цифрові лінійні фільтри (ЦФ).</b> Завдання на СРС: Особливості НІХ-фільтрів: вплив на АЧХ полюсів, порядок. [4]	4
7	<b>Тема 8. Методи розрахунку ЦФ.</b> Завдання на СРС: Інші методи проектування НІХ-фільтрів. [3-5] Порівняння ефективності віконних функцій. Вибір вікон по гарантованому згасанню та перехідній смузі частот. Переваги та недоліки метода. Оптимізаційні методи проектування СІХ-фільтрів.	4

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
8	<b>Тема 9. Приклади систем ЦОС та їх особливості.</b> Завдання на СРС: Мінімально-фазові системи. [3] Узгоджений цифровий фільтр [4]	4
9	<b>Тема 10. Зміна частоти дискретизації цифрового сигналу.</b> Завдання на СРС: Багатокаскадне перетворення частоти дискретизації. Перетворення частоти дискретизації із використанням поліфазної структури. [3-4]	4

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

- Необхідною умовою допуску до екзамену є відсутність заборгованостей по курсу, а також стартовий рейтинг не менше 30 балів.
- Студент, що отримав на екзамені менше 10 балів (або за одне з 3-х питань отримав балів) вважається таким, що отримав підсумкову оцінку «незадовільно» незалежно від семестрового рейтингу.
- Календарна атестація студента проводиться за значенням поточного рейтингу на момент атестації. Якщо значення цього рейтингу не менше 50% від максимально можливого на момент проведення атестації, то студент вважається задовільно атестованим.

### 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

1. Відвідування та самостійна робота на практичних заняттях.
2. Виконання розрахунково-графічної роботи.
3. Виконання та захист лабораторних робіт.
4. Виконання модульної контрольної роботи.
5. Складання екзамену.

#### СИСТЕМА РЕЙТИНГОВИХ БАЛІВ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

1. Відвідування та відповіді на практичних заняттях.

За роботу на практичних заняттях студент може отримати: 20 балів.

2. Виконання розрахункової роботи.

Максимальна кількість балів за виконання РР: 5 балів.

3. Лабораторні роботи.

Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи: 20 балів.

Студенти, що не виконали РР, до виконання лабораторної роботи не допускаються (робота вважається не виконаною та не захищеною вчасно).

4. Модульна контрольна робота.

Ваговий бал модульної контрольної роботи: 15 балів.

#### ЗАОХОЧУВАЛЬНІ БАЛИ

Творчий підхід та високий рівень знань: додатково до +10 балів.

## РОЗРАХУНОК ШКАЛИ РЕЙТИНГУ

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру: 60 балів.

Екзамен: 40 балів (теоретичні питання та задача).

### **Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою**

<b>Кількість балів</b>	<b>Оцінка</b>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

### **9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

...

#### **Опис матеріально-технічного та інформаційного забезпечення дисципліни**

Обладнання для лабораторних робіт: Комп'ютериний клас з 12 комп'ютерів Intel Celeron G540, 2.5 GHz, ОЗУ: 4 ГБ, HDD: 500 ГБ Програмне забезпечення: MatLAB (Online)

---

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Складено** [Антипенко Р. В.](#); [Приходько І. О.](#);

**Ухвалено** кафедрою ПРЕ (протокол № № 06/2023 від 22.06.2023 )

**Погоджено** методичною комісією факультету/ІНІ (протокол № № 06-2023 від 29.06.2023 )