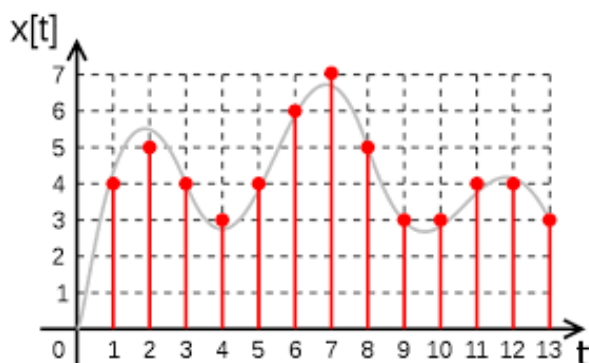


# [RE-47] ДИСКРЕТНІ І ЦИФРОВІ СИГНАЛИ ТА ПРОЦЕСИ В РАДІОТЕХНІЦІ



## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

|                                             |                                                                                                                     |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Рівень вищої освіти                         | Перший (бакалаврський)                                                                                              |
| Галузь знань                                | G - Інженерія, виробництво та будівництво                                                                           |
| Спеціальність                               | G5 - Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка                                          |
| Освітня програма                            | Всі ОП                                                                                                              |
| Статус дисципліни                           | Вибіркова (Ф-каталог)                                                                                               |
| Форма здобуття вищої освіти                 | Очна                                                                                                                |
| Рік підготовки, семестр                     | Доступно для вибору починаючи з 1-го курсу, весняний семестр                                                        |
| Обсяг дисципліни                            | 4 кред. (Лекц. 16 год, Практ. год, Лаб. 30 год, СРС. 74 год )                                                       |
| Семестровий контроль/контрольні заходи      | Залік                                                                                                               |
| Розклад занять                              | <a href="https://schedule.kpi.ua">https://schedule.kpi.ua</a>                                                       |
| Мова викладання                             | Українська                                                                                                          |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | Лекц.: <a href="#">Павлов О. І.</a> ,<br>Лаб.: <a href="#">Павлов О. І.</a> ,<br>СРС.: <a href="#">Павлов О. І.</a> |
| Розміщення курсу                            | <a href="http://dtsp.kiev.ua">http://dtsp.kiev.ua</a>                                                               |

### Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна дисципліни «Дискретні і цифрові сигнали та процеси в радіотехніці» (далі — ДЦСПВРТ) відноситься до дисциплін циклу професійної підготовки фахівців першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 172 "Електронні комунікації та радіотехніка", є вибірковою (не нормативною) і за ОПП "Інформаційна та комунікаційна

радіоінженерія" має шифр ПФ 01-14, як вибіркового освітній компонент Ф-каталогу з шифром RE-47.

## I.1 Предмет та мета вивчення дисципліни

**Предмет дисципліни** «Дискретні і цифрові сигнали та процеси в радіотехніці» (ДЦСПРТ) — властивості та методи аналізу і синтезу сигналів дискретного часу та дискретних систем, а також особливості їх застосування в радіотехніці, в тому числі в радіозв'язку, радіолокації, гідролокації, сейсмології, проектуванні радіотехнічних та механічних систем, навігації та медичній електроніці.

**Мета вивчення дисципліни** — формування у студентів компетентності щодо:

- виконання часового, спектрального та кореляційного аналізу детермінованих сигналів в дискретному часі та випадкових сигналів в неперервному та дискретному часі з використанням системи Matlab;
- виконання розрахунків часових та спектральних характеристик дискретних ЛСС;
- виконання розрахунків реакції ЛСС в часовому та спектральному просторі;
  - проведення експериментального дослідження процесів цифрової модуляції та демодуляції, а також методів параметричного ЦСА підвищеної роздільної здатності.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

**ЗНАННЯ** (результат вивчення явищ і закономірностей об'єктивного світу, такий, який можна логічно або фактично обґрунтувати, і емпірично або практично перевірити):

- класифікації дискретних сигналів та систем, їх визначення, властивостей та критеріїв; властивостей процесу дискретної згортки, як основного процесу перетворення сигналів в ЛСС;
- особливостей подання дискретної ЛСС у вигляді ЛРРПК; сутності ДЧПФ, як способу частотного подання сигналів і систем та його властивостей; сутності Z-перетворення, як узагальнення ДЧПФ та його властивостей;
- процесів дискретизації та відновлення неперервних сигналів і їх властивостей в системах НДН та ДНД; процесів дискретизації з підвищеною і зниженою частотами, що використовується в системах обробки кратних сигналів;
- правил подання дискретних ЛСС, які описуються ЛРРПК, за допомогою характеристичних функцій та за допомогою карти нулів і полюсів; методів аналізу ЛСС; концепції групової затримки при аналізі фазових спотворень; зв'язку між ФЧХ і АЧХ дискретних систем, включаючи мінімально-фазові, все-пропускні і систем з узагальненою лінійною фазою;
- сутності ДРФ та ДПФ, їх властивостей та зв'язку між собою та з ДЧПФ та НЧПФ; сутності ДКП та його властивостей; методу обчислення дискретної згортки через ДЧПФ; правил застосування ДЧПФ до Фур'є-аналізу сигналів; сутності залежного від часу ДЧПФ; ефектів обробки вікном; сутності періодограмного та корелограмного аналізу;
- основ загальної теорії випадкових сигналів; принципів обробки випадкових сигналів лінійними стаціонарними, параметричними і нелінійними системами; теорії оптимальної фільтрації випадкових сигналів;

**НАВИКИ** (здатність до діяльності, "навченість виконувати дії", сформована шляхом повторення дії і доведення її до автоматизму):

- виконання часового, спектрального та кореляційного аналізу детермінованих сигналів в дискретному часі та випадкових сигналів в неперервному та дискретному часі з

- використанням системи Matlab;
- розрахунків часових та спектральних характеристик дискретних ЛСС;
- розрахунків реакції ЛСС в часовому та спектральному просторі;
- експериментального дослідження процесів цифрової модуляції та демодуляції, а також методів параметричного ЦСА підвищеної роздільної здатності.

УМІННЯ (опанований спосіб виконання дії, який забезпечується сукупністю придбаних знань та навичок, і який створює можливість виконання дії не тільки в звичних умовах, але і в таких, що змінилися):

- виконувати кореляційний та спектральний аналіз дискретних та випадкових сигналів;
- виконувати розрахунки основних часових та спектральних характеристик і параметрів дискретних ЛСС;
- виконувати розрахунки реакції дискретних ЛСС на дію детермінованих та випадкових сигналів часовими та спектральними методами; визначати характеристики випадкових сигналів на виході таких систем.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати програмні компетентності (коло питань, в яких наявна добра обізнаність) та результати навчання за освітньо-професійною програмою «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія» (див.на сайті <https://osvita.kpi.ua/op>), в тому числі, але не виключно (за ОПП, введеною в дію з 2023/2024 навч. року наказом ректора КПІ ім. Ігоря Сікорського від 17.05. 2023 р. № МОМ/165/2023):

### **Загальні компетентності**

ЗК 1 — Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (спектральне та багатовимірне представлення сигналів в різних базисах, подання скінчених сигналів нескінченими функціями, застосування теорії функцій комплексних змінних, моделювання процесів та систем тощо — фактична обізнаність за суттю питань, що вивчаються та підходів, які застосовуються).

ЗК 2 — Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 4 — Здатність розуміти предметну область та професійну діяльність (обізнаність щодо призначення та структури сучасних радіотехнічних та телекомунікаційних систем, процесів, які в них відбуваються тощо).

ЗК 7 — Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК 8 — Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

### **Фахові компетентності**

ФК 3 — Здатність використовувати базові методи, способи та засоби отримання, передавання, обробки та зберігання інформації.

ФК 4 — Здатність здійснювати комп'ютерне моделювання пристроїв, систем і процесів з використанням універсальних пакетів прикладних програм.

### **Програмні результати навчання**

ПРН 6 — грамотно застосовувати термінологію галузі телекомунікацій та радіотехніки;

ПРН 7 — описувати принципи та процедури, що використовуються в телекомунікаційних системах, інформаційно-телекомунікаційних мережах та радіотехніці;

ПРН 12 — застосовувати фундаментальні і прикладні науки для аналізу та розробки процесів, що відбуваються в телекомунікаційних та радіотехнічних системах.

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

2.1. Вивчення навчальної дисципліни ДЦСПвРТ ґрунтується на компетенціях, набутих під час вивчення наступних навчальних дисциплін: «Вища математика» (теми "Диференціювання та інтегрування функцій", "Функціональні ряди", "Диференціальні рівняння", "Перетворення Фур'є", "Теорія ймовірностей", "Теорія функцій комплексної змінної"), «Фізика» (теми "Електростатика", "Електромагнетизм"), «Матеріали та компоненти радіоелектронної апаратури» чи «Схемотехніка. Частина 1. Електронна компонентна база» (тема "Характеристики електронних та напівпровідникових приладів"), «Схемотехніка. Частина 2. Аналогова схемотехніка» (теми "Елементарні підсилювачі на біполярному та польовому транзисторі", "Робота транзистора в нелінійному режимі"), «Основи теорії кіл» (теми "Коливальні контури", "Зв'язані контури", "Схемні функції").

2.2. Компетенції, набуті під час вивчення ДЦСПвРТ, використовуються під час вивчення всіх без винятку подальших дисциплін спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка", а також під час виконання дипломного проектування.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Розділ 1. Дискретні сигнали і дискретні системи [1, Глава 2. с.28-110]**

Тема 1.1. Дискретні сигнали як послідовності

Вступні положення (Класифікація сигналів: Сигнали НЧ та ДЧ. Сигнали АА та КА. Цифрові сигнали. Відмінність між теорією обробки дискретних сигналів (ОДС) і цифровою обробкою сигналів (ЦОС). Самодостатність теорії ОДС та основні етапи її становлення. Паралельність вивчення теорії ОДС та теорії аналогових сигналів та процесів (СПРТ КМ1, ОТТК). ЦОС як надбудова над ОДС. Основна світова література з теорії ОДС та ЦОС.

Дискретні сигнали як послідовності (Крок та частота дискретизації. Поняття про дискретизацію сигналу неперервного часу та його відновлення за Найквістом. [1, с. 28—30]. Стандартні послідовності та операції над ними (Комбінування стандартних послідовностей. Періодичні і неперіодичні дискретні синусоїди) [1, с. 30—35].

Тематична контрольна робота 1 за темою 1.1 (*Moodle*).

Тема 1.2. Різновиди дискретних систем та їх визначення через дискретні процеси перетворення сигналів

Системи без пам'яті та з пам'яттю. Лінійні та нелінійні системи. Стаціонарні (інваріантні у часі) та нестаціонарні системи. Детерміновані та недетерміновані системи. Стійкі та нестійкі системи. Ідеальна система затримки. Ковзне середнє. Накопичувач. Квадратична та логарифмічна системи. Компресор. Права та ліва різницеві системи. Перевірка лінійності, детермінованості, стійкості. [1, с. 35—42].

Тематична контрольна робота 2 за темою 1.2 (*Moodle*).

Тема 1.3. Дискретна згортка як процес перетворення сигналів в лінійних стаціонарних системах

Лінійні стаціонарні (ЛІЧ) системи. Умови та наслідки лінійності. Умови та наслідки стаціонарності. Імпульсна характеристика системи. Опис перетворення сигналів в лінійних стаціонарних (ЛІЧ) системах за допомогою дискретної згортки [1, с. 42—47].

Тема 1.4. Властивості процесу дискретної згортки та лінійних стаціонарних систем Комутативність, дистрибутивність та асоціативність процесу дискретної згортки.

Еквівалентне подання послідовного та паралельного з'єднання ЛІЧ систем. [1, с. 47—53].

Тематична контрольна робота 3 за темою 1.3 та 1.4 (*Moodle*).

Тема 1.5. Представлення дискретних процесів перетворення сигналів в лінійних стаціонарних системах у вигляді лінійних різницевих рівнянь з постійними коефіцієнтами  
Лінійне різницеве рівняння з постійними коефіцієнтами (ЛРРПК). Зв'язок між вхідною та вихідною послідовностями ЛСС та його графічне подання у вигляді блок схеми "зіпер". Явна форма ЛРРПК відносно самого нового та самого старого відліку вихідної послідовності. Блок схема дискретної системи у вигляді трансверсальної та рекурсивної частин. ЛРРПК для накопичувача та ковзного середнього.

Розв'язання ЛРРПК (Подання рішення ЛРРПК як часткового та однорідного. Однорідне рівняння. Характеристичне алгебраїчне рівняння. Загальний вигляд однорідного рішення при відсутності кратних коренів. Додаткові умови для розв'язання системи ЛАР при визначенні однорідного рішення. Рекурентний спосіб обчислення вихідної послідовності. Приклад розв'язання ЛРРПК для нелінійної не детермінованої і нестационарної системи. Одночасні вимоги лінійності, детермінованості та стаціонарності. Стан спокою в початковому положенні. [1, с. 53—59, 96—98].

Тематична контрольна робота 4 за темою 1.5 (*Moodle*).

Тема 1.6. Представлення в частотному просторі дискретних сигналів та процесів в системах дискретного часу

Комплексна експонента як власна функція та КЧХ як власне значення дискретної лінійної стаціонарної системи. КЧХ ідеальної системи затримки. Синусоїдне подання ЛСС. Періодичність КЧХ. АЧХ та ФЧХ. Нижні та верхні частоти. КЧХ ІСЗ, ідеального ФНЧ, ідеального ФВЧ, ідеальних смугових фільтрів пропускання та затримки. КЧХ ковзного середнього, функція Діріхле.

Стала та тимчасова реакції дискретної лінійної стаціонарної детермінованої системи на миттєво включену дискретну комплексну експоненту. [1, с. 59—67].

Тема 1.7. Дискретне у часі перетворення Фур'є (ДЧПФ)

Пряме ДЧПФ, інтервал обчислення, періодичність та неперервність (густина) Фур'є образу за частотою. Амплітудний та фазовий спектри дискретного сигналу. Зв'язок між ІХ та КЧХ ЛСС. Подання дельта-імпульсу як інтегралу від комплексного експоненційного сигналу ДЧ.

Розкладання сигналу ДЧ на суперпозицію затриманих дельта-імпульсів та формула зворотного ДЧПФ.

Умови існування Фур'є образу. Абсолютне підсумовування сигналу та рівномірна збіжність ряду часткових сум до Фур'є образу. Підсумовування квадратом та середньоквадратична збіжність ряду. Ефект Гібса для КЧХ ідеального ФНЧ.

Фур'є образи сигналів, які не підсумовуються ані абсолютно, ані квадратично. Функція Дірака неперервного аргументу, її властивості. Фур'є образи постійної послідовності, комплексної експоненційної послідовностей та одиничного стрибка. [1, с. 67—74].

Тематична контрольна робота 5 за темою 1.6 та 1.7 (*Moodle*).

Тема 1.8. Симетрії ДЧПФ

Спряжено-симетрична та спряжено-кососиметрична послідовності. Парна та непарна послідовності. Загальні властивості симетрії ДЧПФ для довільних послідовностей. Властивості симетрії ДЧПФ для речових послідовностей [1, с. 74—77].

Тематична контрольна робота 6 за темою 1.7 та 1.8 (*Moodle*).

Тематична контрольна робота 7 за темою 1.7 (*Moodle*).

Тематична контрольна робота 8 за темою 1.8 (*Moodle*).

Тема 1.9. Теореми про ДЧПФ

Лінійність ДЧПФ. Часовий і частотний зсуви. Обернення часу. Диференціювання в частотній області. Теорема Парсеваля. Теорема про дискретну згортку. Модуляція, або теорема про дискретну періодичну згортку. [1, с. 77—83].

Тематична контрольна робота 9 за темою 1.9 (*Moodle*).

#### Тема 1.10. Випадкові дискретні сигнали

Ансамбль сигналів ДЧ, які характеризуються множинністю щільності імовірності. Поняття стохастичного сигналу і випадкового процесу (ВП). Негарантована підсумовуваність випадкових сигналів ані абсолютно, ані квадратом та негарантоване існування їх Фур'є образів.

Опис ВП за допомогою статистичних характеристик. Нестационарність, стаціонарність в вузькому та в широкому сенсі. Середнє значення (математичне очікування), автокореляційна функція (АКФ) та автоковаріаційна функція ВП. Розбіжності між світовою та вітчизняною термінологією.

Зв'язок АКФ вхідного та вихідного ВП ЛСС формулою дискретної згортки, детермінована аперіодична автокореляційна послідовність (АКП) ІХ ЛСС.

Спектральна густина потужності (СГП) ВП на вході і виході ЛСС, зв'язок між ними через КЧХ ЛСС. Властивості СГП.

Взаємно кореляційна послідовність (ВКП) ВП на вході і виході ЛСС як дискретна згортка ІХ ЛСС та АКП вхідного ВП.

Білий шум, його СГП, та СГП шуму на виході ЛСС. [1, с. 83—88].

Модульна контрольна робота 1 за розділом 1 (*Moodle*).

Модульна контрольна робота 2 за розділом 1 (*Moodle*).

### **Розділ 2. Z-перетворення** [1, Глава 3. с.111-153]

#### Тема 2.1. Пряме двобічне Z-перетворення

Перетворення Лапласа для сигналів неперервного часу. Комплексна площина операторного методу. Ряд Лорана та двобічне Z-перетворення. Зв'язок між Z-перетворенням та ДЧПФ.

Комплексна площина в методі Z-перетворення та одиничне коло в методі ДЧПФ. Поняття області збіжності (ОЗ) Z-перетворення. Форма границь ОЗ. Критерій існування Z-образу.

Подання Z-образу дрібно-раціональною функцією. Поняття нулів та полюсів Z-образу. Карта нулів і полюсів, Z-образ та ОЗ для правобічної та лівобічної експоненційної послідовності. Сума двох експоненційних послідовностей (різні випадки). [1, с. 111—120].

#### Тема 2.2. Область збіжності Z-перетворення

Форма ОЗ. Критерій існування ДЧПФ через ОЗ Z-перетворення. Полюси Z-образу та його ОЗ.

ОЗ Z-перетворення обмеженого сигналу скінченної тривалості. ОЗ Z-перетворення правобічної послідовності. ОЗ Z-перетворення лівобічної послідовності. ОЗ Z-перетворення двобічної послідовності. Зв'язність ОЗ.

Таблиця Z-перетворення та ОЗ для деяких сигналів.

Стійкість, детермінованість та ОЗ. [1, с. 120—127].

#### Тема 2.3. Зворотне Z-перетворення

Табличний метод. Метод простих дробів. Прилад для раціональної функції 2-го степеня.

Формули розкладання для різних випадків. Розклад в степеневі ряди. Послідовності скінченної довжини. [1, с. 127—134].

#### Тема 2.4. Властивості Z-перетворення

Лінійність. Затримка. Множення на експоненціальну послідовність. Диференціювання в часовому просторі. Спряження комплексної послідовності. Обернення часу. Згортка послідовності. Теорема про початкове значення. [1, с. 134—142].

Модульна контрольна робота за розділом 2 (*Moodle*).

### **Розділ 3. Дискретизація неперервного сигналу** [1, Глава 4. с.154-253]

#### Тема 3.1. Процес періодичної дискретизації неперервного сигналу.

Періодична дискретизація. Крок дискретизації. Частота дискретизації. Ідеальне неперервно-дискретне перетворення (НДП). [1, с. 154—156].

#### Тема 3.2. Частотне подання процесу дискретизації

Мультиплікативна модуляція неперервного сигналу періодичним ланцюжком дельта-функцій Дірака та згортка їх Фур'є образів (НЧПФ) в частотному просторі. Періодичне повторення спектрів. Накладання спектрів, їх спотворення та поява хибних частот при різних частотах дискретизації.

Теорема Найквіста. Частота Найквіста. Зв'язок між Фур'є образом ДЧПФ та Фур'є образом НЧПФ. Антіалайзінгова фільтрація реальних сигналів перед дискретизацією.

Дискретизація та відновлення синусоїдального сигналу. Субдискретизація. Накладання спектрів при відновленні синусоїдального сигналу. [1, с. 156—162].

Тема 3.3. Процес відновлення вузько смугового неперервного сигналу за його відліками  $\mathcal{X}$  ідеального неперервного ФНЧ для відновлення сигналу. Інтерполяція значень дискретного сигналу між відліками. Відліки дискретного сигналу як на вагові коефіцієнти ідеальних відновлювальних ортогональних базисних функцій Найквіста при зворотному перетворенні Найквіста (зворотному узагальненому ПФ в базисі Найквіста), та як результат прямого перетворення Найквіста від неперервного сигналу (прямого узагальненого ПФ в базисі Найквіста). Ідеальний дискретно-неперервний перетворювач (ДНП). [1, с. 162—166].

Тема 3.4. Процеси перетворення обмежених у спектрі неперервних сигналів в НДП-ДС-ДНП (НДН) системах

Дискретна обробка неперервних сигналів та структурна схема НДН системи. Застосування ЛСС в НДН системах. Ефективна КЧХ віртуальної неперервної ЛСС, еквівалентної до НДН системи.

Ідеальний неперервний ФНЧ з вбудованим дискретним фільтром.

Дискретна реалізація ідеального неперервного вузькосмугового диференціатора.

Імпульсна інваріантність неперервної ЛСС і еквівалентної НДН системи.

Імпульсна інваріантність, неперервний ФНЧ та еквівалентний дискретний ФНЧ.

Імпульсна інваріантність та неперервна система з раціональною системною функцією. [1, с. 166—175].

Тема 3.5. Процеси перетворення дискретних сигналів в ДНП-НС-НДП (ДНД) системах

Неперервна обробка дискретних сигналів, структурна схема ДНД системи та основні рівняння її роботи. Неціла затримка. Ковзне середнє з нецілою затримкою. [1, с. 175—179].

Тема 3.6. Зміна частоти дискретизації сигналу без відновлення його неперервної форми

Зменшення частоти дискретизації в ціле число разів. Збільшення частоти дискретизації в ціле число разів. Зміна частоти дискретизації на раціональний множник. [1, с. 179—190].

Тема 3.7. Процеси перетворення неперервних сигналів зі змінною частотою дискретизації (багато швидкісних сигналів)

Зміна порядку процесів обмеження спектру і пониження/підвищення частоти дискретизації.

Процес багатофазового розкладання дискретного сигналу. Багатофазова реалізація процесу проріджування. Багатофазова реалізація процесу інтерполяції. [1, с. 190—197].

Тема 3.8. Процеси перетворення необмежених у спектрі аналогових сигналів в НДН системах

Попереднє обмеження спектру для усунення ефекту накладання. Перетворення аналогового — континуального неперервного сигналу в цифровий. Аналіз похибок процесу квантування.

Перетворення цифрового сигналу в аналоговий — континуальний неперервний. [1, с. 197—214].

Тема 3.9. Процеси дискретизації з підвищеною частотою та формування шумів в АЦП та ЦАП

Процес АЦП з підвищеною частотою дискретизації та простим квантуванням. Процес АЦП з підвищеною частотою дискретизації та формуванням шумів. Процес ЦАП з підвищеною частотою відліків та формуванням шумів. [1, с. 214—227].

Модульна контрольна робота за розділом 3 (*Moodle*).

## **Розділ 4. Аналіз процесів в лінійних стаціонарних системах дискретного часу** [1, Глава 5. с.254-345]

Тема 4.1. Комплексна частотна характеристика дискретної лінійної стаціонарної системи

Ідеальне обмеження спектру. Фазові спотворення і затримка. [1, с. 254—258].

Тема 4.2. Характеристичні функції систем, які подаються лінійними різницевиими рівняннями з постійними коефіцієнтами

Стійкість та детермінованість. Зворотні системи. Імпульсна характеристика дискретних систем с раціональною характеристичною функцією. [1, с. 258—267].

Тема 4.3. КЧХ дискретних систем с раціональною характеристичною функцією

КЧХ у випадку одного нуля або полюса характеристичної функції. Приклади з кратними полюсами або нулями. [1, с. 267—281].

Тема 4.4. Взаємозв'язок між АЧХ та ФЧХ

Поняття мінімальної фази. Інверсне перетворення комплексної площини по відношенню до одиничного кола. [1, с. 281—285].

Тема 4.5. Дискретні системи з постійною АЧХ

Системи з постійною АЧХ 1-го та 2-го порядку. [1, с. 285—290].

Тема 4.6. Мінімально-фазові дискретні системи

Розкладання складних систем на мінімально-фазову та систему з постійною АЧХ. Компенсація спотворень КЧХ дискретних лінійних стаціонарних систем. Властивості мінімально-фазових систем. [1, с. 290—300]

Тема 4.7. Дискретні лінійні системи з узагальненою лінійною фазою

Системи з лінійною фазою. Узагальнення лінійної фази. Детерміновані системи з узагальненою лінійною фазою. Зв'язок лінійно-фазових СХ-систем з мінімально-фазовими. [1, с. 300—318].

Модульна контрольна робота за розділом 4 (*Moodle*).

## **Розділ 5. Дискретне перетворення Фур'є** [1, Глава 8. с.548-629]

Тема 5.1. Дискретний ряд Фур'є: подання періодичних послідовностей

Подання періодичних послідовностей ДЧ через дискретні ряди Фур'є (ДРФ). Скінчена кількість періодичних комплексних експонент ДЧ з однаковим періодом та скінченність членів ДРФ.

Визначення коефіцієнтів розкладання (рівняння аналізу). Нескінчена кількість періодичних значень частот ДЧ, що приводять до тих самих періодичних комплексних експонент, періодичність послідовності коефіцієнтів розкладання. Відновлення періодичного сигналу ДЧ за коефіцієнтами ДРФ (рівняння синтезу).

ДРФ періодичного ланцюжка одиничних імпульсів. Дуальність форми послідовності ДЧ і форми послідовності коефіцієнтів ДРФ. ДРФ періодичної послідовності прямокутних імпульсів. [1, с. 548—552].

Тема 5.2. Властивості ДРФ

Лінійність. Зсув послідовності. Дуальність часового та частотного простору. Симетричність. Періодична згортка. Огляд властивостей подання періодичних послідовностей у вигляді ДРФ. [1, с. 552—557].

Тема 5.3. Перетворення Фур'є періодичних сигналів

Подання коефіцієнтів ДРФ у вигляді лінійчатого спектру лише на окремих дискретних частотах. Непідсумовуваність періодичних сигналів ані абсолютно, ані квадратом, та відсутність їх ДЧПФ. Застосування дельта-функції Дірака з неперервним аргументом для умовного подання періодичних сигналів у вигляді неперервного і періодичного за частотою Фур'є образу. Зворотне ДЧПФ запропонованого умовного Фур'є образу періодичних сигналів. ДЧПФ для періодичного ланцюжка одиничних імпульсів. Періодичне продовження сигналу скінченної тривалості (СТ). Розгляд періодичної послідовності коефіцієнтів ДРФ періодично-продовженого сигналу СТ як результат рівномірної дискретизації Фур'є образу первинного сигналу СТ. Зв'язок між коефіцієнтами ДРФ та функцією ДЧПФ від одного періоду сигналу. [1, с. 557—561].

Тема 5.4. Дискретизація Фур'є-образу

Фур'є образ довільного неперіодичного сигналу ДЧ як ФСГ, що неперервно визначена на одиничному колі комплексної площини. Ділення одиничного кола на  $N$  частин і визначення ФСГ на вершинах вписаного правильного  $N$ -кутника з утворенням періодичної послідовності значень — коефіцієнтів ДРФ певного періодичного сигналу ДЧ., — результату суперпозиції періодичного повторення первинного неперіодичного сигналу. Еквівалентний опис процесу дискретизації Фур'є образу через дискретну згортку неперіодичного сигналу і періодичної послідовності одиничних імпульсів. Частота дискретизації Фур'є образу і умови неспотвореного періодичного продовження сигналу. [1, с. 561—565].

Тема 5.5. Дискретне перетворення Фур'є як спосіб подання послідовностей скінченної тривалості

Неспотворене періодичне продовження послідовностей СТ. Подання отриманого періодичного продовження сигналу у вигляді скінченого набору коефіцієнтів ДРФ, — коефіцієнтів ДПФ.

Коефіцієнти ДПФ як оцінювання ФСГ Фур'є образу сигналу СТ на вершинах вписаного в одиничне коло правильного  $N$ -кутника. Формули прямого та зворотного ДПФ. Інтерполяція коефіцієнтів ДПФ через збільшення вершин  $N$ -кутника (повторення сигналу СТ з більшим періодом). ДПФ прямокутного імпульсу. [1, с. 565—569].

Тема 5.6. Властивості ДПФ

Лінійність. Циклічний зсув послідовності. Дуальність часового та частотного простору.

Симетричність. Циклічна згортка. Огляд властивостей подання періодичних послідовностей у вигляді ДПФ. [1, с. 569—580].

Тема 5.7. Обчислення лінійної згортки через ДПФ

Лінійна згортка двох скінчених послідовностей. Циклічна згортка як лінійна з ефектом накладання відліків у часі. Реалізація дискретних лінійних стаціонарних систем через ДПФ. [1, с. 580—591].

Тема 5.8. Дискретне косинус-перетворення

Визначення дискретного косинус-перетворення. Визначення ДКП-1 і ДКП-2. Зв'язок між ДПФ и ДКП-1. Зв'язок між ДПФ и ДКП-2. Ущільнення енергії при ДКП-2. Застосування ДКП. [1, с. 591—602].

Модульна контрольна робота за розділом 5 (*Moodle*).



## **Розділ 6. Застосування ДПФ до Фур'є-аналізу** [1, Глава 10. с.695-777]

Тема 6.1. ДПФ і Фур'є-аналіз сигналів

Етапи обробки неперервного сигналу при застосуванні ДПФ аналізу. Неідеальність антиалайзінгового фільтру. Джитер під час дискретизації. Шум квантування. Призначення та використання вагових вікон. Розтікання спектру рівень бокових пелюсток від віконної функції. Фур'є аналіз через ДПФ. [1, с. 695—699].

Тема 6.2. ДПФ-аналіз гармонічних сигналів

Ефект обробки методом вікна. Спектральна дискретизація. Ефекти спектральної дискретизації. [1, с. 699—715].

Тема 6.3. Залежне від часу ДПФ

Ефект обробки вікном в ЗЧ ДПФ. Дискретизація у часі і за частотою. [1, с. 715—723].

Тема 6.4. Блочна згортка з використанням ЗЧ ДПФ [1, с. 723—724].

Тема 6.5. Фур'є-аналіз нестационарних сигналів

Залежний від часу Фур'є-аналіз мовленнєвих сигналів. Залежний від часу Фур'є-аналіз радарних сигналів. [1, с. 724—730].

Тема 6.6. Фур'є-аналіз стаціонарних випадкових сигналів: періодограма

Періодограма. Властивості періодограм. Усереднення періодограм. Обчислення усереднених періодограм через ДПФ. Приклад періодограмного аналізу. [1, с. 730—743].

Тема 6.7. Спектральний аналіз випадкових сигналів через оцінки автокореляційної функції

Обчислення кореляції і оцінка спектру потужності через ДПФ. Приклад оцінки спектра потужності через оцінку автокореляційної послідовності. [1, с. 743—755].

Модульна контрольна робота за розділом 6 (*Moodle*).

## **Розділ 7. Дискретне перетворення Гілберта** [1, Глава 11. с.778-813]

Тема 7.1. Вступні положення. [1, с. 778—720].

Тема 7.2. Дійсна та уявна частини Фур'є-образу детермінованої послідовності. [1, с. 780—785].

Тема 7.3. Теореми достатності для скінчених послідовностей. [1, с. 785—791].

Тема 7.4. Взаємозв'язок абсолютного значення і фази. [1, с. 791—792].

Тема 7.5. Зв'язок між дійсною та уявною частинами аналітичних послідовностей через перетворення Гілберта

Проектування перетворювача Гілберта. Подання смугових сигналів. Смугова дискретизація. [1, с. 792—804].

Модульна контрольна робота за розділом 7 (*Moodle*).

...

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

### **Рекомендована література:**

#### **Основна**

1. [Oppenheim A. Schafer R. Discrete Time Signal Processing - 1998. - 870 p. \(Parts of book\)](#)
2. [Oppenheim A. Schafer R. Discrete Time Signal Processing. Solutions - 1998. - 488 p.](#)
3. [Оппенгейм А. В., Шафер Р. В. Обработка сигналов в дискретном времени: Пер. с англ. С. А. Кулешова / Под ред. А. С. Ненашева. — 2006. — 856 с. \(Окремі частини книги\)](#)
4. [Oppenheim A. Schafer R. Discrete Time Signal Processing - 2009. - 1108 p.](#)

#### **Додаткова**

1. [Buck, Singer. Computer Explorations in SIGNALS AND SYSTEMS using Matlab](#)
2. [McClellan. Computer-Based Exercises for Signal Processing Using MATLAB](#)
3. [Stearns. Digital Signal Processing with Examples in MATLAB](#)
4. [Alan V. Oppenheim, Alan S. Willsky, S. Hamid. Signals and Systems, - 2nd ed. - Prentice-Hall, 1996. - 957 p.](#)
5. [Марпл.-мл. С.Л. \(1990\) Цифровий спектральний аналіз та його застосування \(547с\)](#)
6. [Дженкинс Г. Ватс Д. \(1971\) 1. Спектральний аналіз та його застосування](#)
7. [Дженкинс Г. Ватс Д. \(1972\) 2. Спектральний аналіз та його застосування](#)

8. [Волощук Ю.І. Сигнали та процеси в радіотехніці \(ч.1\)](#)
9. [Волощук Ю.І. Сигнали та процеси в радіотехніці \(ч.2\)](#)
10. [Волощук Ю.І. Сигнали та процеси в радіотехніці \(ч.3\)](#)
11. [Волощук Ю.І. Сигнали та процеси в радіотехніці \(ч.4\)](#)
12. [Скляр Б. \(2003\) Цифровий зв'язок. Глава 1. Сигнали та спектри](#)
13. [Шрюфер Е. Цифрова обробка дискретизованих сигналів \(1992\)](#)
14. [Сергієнко А. Б. Цифрова обробка сигналів \(2002\) — 608 с.](#)

#### Посібники та методичні вказівки

1. [Методичні вказівки «Спектральні перетворення та методи ЦСА» до дисципліни “Дискретні та цифрові сигнали і процеси в радіотехніці”. Для студентів радіотехнічного факультету усіх форм навчання / Укл. О. І. Павлов, — К.: НТУУ “КПІ”, 2020. — 45 с.](#)
2. [Моделювання сигналів і процесів в радіотехніці в середовищах MathCAD та Multisim. Частина 1. \[Електронний ресурс\]: навч. посіб. для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / Уклад.: О.В.Гусєва, О.І.Павлов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. — <https://drive.google.com/file/d/1dHixDBS0UNpgukc3Lrnxe5KuBmEHwdxj/view?usp=sharing>](#)
3. [Моделювання сигналів і процесів в радіотехніці в середовищах MathCAD та Multisim. Частина 2. \[Електронний ресурс\]: навч. посіб. для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / Уклад.: О.В.Гусєва, О.І.Павлов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. — Електронні текстові дані \(1 файл 3.173 Мбайт\). — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. — 109 с. — <https://drive.google.com/file/d/19IsfgO4dEm2i9C7bvV2PiGwgZmZPqV2k/view?usp=sharing>](#)
4. [Моделювання сигналів і процесів в радіотехніці в середовищах MathCAD та Electronics Workbench. Частина I \[Електронний ресурс\]: навч. посіб. для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / Уклад.: О. В. Гусєва, О. І. Павлов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — 128 с. — <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/43832>](#)

#### Інформаційні ресурси

1. Сервер СДН кафедри ТОР з дисципліни СПРТ за адресою [dtsr.kiev.ua](http://dtsr.kiev.ua) (електронні версії літератури, методичні вказівки, завдання, рейтинг).

...

### Навчальний контент

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

##### 5.3. Лекційні заняття

Структура лекційних занять для 36 годин їх загального обсягу наведена в таблиці.

| № з/п | Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС) | Кіл-ть годин |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
|       | Розділ 1. Дискретні сигнали і дискретні системи                                                                        |              |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1. | <p>Тема 1.1. Дискретні сигнали як послідовності<br/>Вступні положення (Класифікація сигналів: Сигнали НЧ та ДЧ. Сигнали АА та КА. Цифрові сигнали. Відмінність між теорією обробки дискретних сигналів (ОДС) і цифровою обробкою сигналів (ЦОС). Самодостатність теорії ОДС та основні етапи її становлення. Паралельність вивчення теорії ОДС та теорії аналогових сигналів та процесів (СПРТ КМ1, ОТТК). ЦОС як надбудова над ОДС. Основна світова література з теорії ОДС та ЦОС.</p> <p>Дискретні сигнали як послідовності (Крок та частота дискретизації. Поняття про дискретизацію сигналу неперервного часу та його відновлення за Найквістом. [1, с. 28—30]. Стандартні послідовності та операції над ними (Комбінування стандартних послідовностей. Періодичні і неперіодичні дискретні синусоїди) [1, с. 30—35].</p> | 0.25        |
|    | <p>Тема 1.2. Різновиди дискретних систем та їх визначення через дискретні процеси перетворення сигналів<br/>Системи без пам'яті та з пам'яттю. Лінійні та нелінійні системи. Стаціонарні (інваріантні у часі) та нестаціонарні системи. Детерміновані та недетерміновані системи. Стійкі та нестійкі системи. Ідеальна система затримки. Ковзне середнє. Накопичувач. Квадратична та логарифмічна системи. Компресор. Права та ліва різницеві системи. Перевірка лінійності, детермінованості, стійкості. [1, с. 35—42].</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.25        |
|    | <p>Тема 1.3. Дискретна згортка як процес перетворення сигналів в лінійних стаціонарних системах<br/>Лінійні стаціонарні (ЛІЧ) системи. Умови та наслідки лінійності. Умови та наслідки стаціонарності. Імпульсна характеристика системи. Опис перетворення сигналів в лінійних стаціонарних (ЛІЧ) системах за допомогою дискретної згортки [1, с. 42—47].</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0.75        |
|    | <p>Тема 1.4. Властивості процесу дискретної згортки та лінійних стаціонарних систем<br/>Комутативність, дистрибутивність та асоціативність процесу дискретної згортки. Еквівалентне подання послідовного та паралельного з'єднання ЛІЧ систем. [1, с. 47—53].</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 0.75        |
| —  | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>2.00</b> |
| —  | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | —           |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |             |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1. | <p>Тема 1.5. Представлення дискретних процесів перетворення сигналів в лінійних стаціонарних системах у вигляді лінійних різницевих рівнянь з постійними коефіцієнтами</p> <p>Лінійне різницеве рівняння з постійними коефіцієнтами (ЛРРПК). Зв'язок між вхідною та вихідною послідовностями ЛСС та його графічне подання у вигляді блок схеми "зіпер". Явна форма ЛРРПК відносно самого нового та самого старого відліку вихідної послідовності. Блок схема дискретної системи у вигляді трансверсальної та рекурсивної частин. ЛРРПК для накопичувача та ковзного середнього.</p> <p>Розв'язання ЛРРПК (Подання рішення ЛРРПК як часткового та однорідного. Однорідне рівняння. Характеристичне алгебраїчне рівняння. Загальний вигляд однорідного рішення при відсутності кратних коренів. Додаткові умови для розв'язання системи ЛАР при визначенні однорідного рішення. Рекурентний спосіб обчислення вихідної послідовності. Приклад розв'язання ЛРРПК для нелінійної не детермінованої і нестаціонарної системи. Одночасні вимоги лінійності, детермінованості та стаціонарності. Стан спокою в початковому положенні. [1, с. 53—59, 96—98].</p> | 0.75        |
|    | <p>Тема 1.6. Представлення в частотному просторі дискретних сигналів та процесів в системах дискретного часу</p> <p>Комплексна експонента як власна функція та КЧХ як власне значення дискретної лінійної стаціонарної системи. КЧХ ідеальної системи затримки. Синусоїдне подання ЛСС. Періодичність КЧХ. АЧХ та ФЧХ. Нижні та верхні частоти. КЧХ ІСЗ, ідеального ФНЧ, ідеального ФВЧ, ідеальних смугових фільтрів пропускання та затримки. КЧХ ковзного середнього, функція Діріхле.</p> <p>Стала та тимчасова реакції дискретної лінійної стаціонарної детермінованої системи на миттєво включену дискретну комплексну експоненту. [1, с. 59—67].</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0.50        |
|    | <p>Тема 1.7. Дискретне у часі перетворення Фур'є (ДЧПФ)</p> <p>Пряме ДЧПФ, інтервал обчислення, періодичність та неперервність (густина) Фур'є образу за частотою. Амплітудний та фазовий спектри дискретного сигналу. Зв'язок між ІХ та КЧХ ЛСС.</p> <p>Подання дельта-імпульсу як інтегралу від комплексного експоненційного сигналу ДЧ. Розкладання сигналу ДЧ на суперпозицію затриманих дельта-імпульсів та формула зворотного ДЧПФ.</p> <p>Умови існування Фур'є образу. Абсолютне підсумовування сигналу та рівномірна збіжність ряду часткових сум до Фур'є образу. Підсумовування квадратом та середньоквадратична збіжність ряду. Ефект Гібса для КЧХ ідеального ФНЧ. Фур'є образи сигналів, які не підсумовуються ані абсолютно, ані квадратично. Функція Дірака неперервного аргументу, її властивості. Фур'є образи постійної послідовності, комплексної експоненційної послідовностей та одиничного стрибка. [1, с. 67—74].</p>                                                                                                                                                                                                            | 0.75        |
| —  | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>2.00</b> |
| —  | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | —           |

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |             |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1.                                                  | Тема 1.8. Симетрії ДЧПФ<br>Спряжено-симетрична та спряжено-кососиметрична послідовності. Парна та непарна послідовності. Загальні властивості симетрії ДЧПФ для довільних послідовностей. Властивості симетрії ДЧПФ для речових послідовностей [1, с. 74—77].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0.50        |
|                                                     | Тема 1.9. Теореми про ДЧПФ<br>Лінійність ДЧПФ. Часовий і частотний зсуви. Обернення часу. Диференціювання в частотній області. Теорема Парсеваля. Теорема про дискретну згортку. Модуляція, або теорема про дискретну періодичну згортку. [1, с. 77—83].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0.75        |
|                                                     | Тема 1.10. Випадкові дискретні сигнали<br>Ансамбль сигналів ДЧ, які характеризуються множинністю щільності імовірності. Поняття стохастичного сигналу і випадкового процесу (ВП). Негарантована підсумовуваність випадкових сигналів ані абсолютно, ані квадратом та негарантоване існування їх Фур'є образів.<br>Опис ВП за допомогою статистичних характеристик. Нестационарність, стаціонарність в вузькому та в широкому сенсі. Середнє значення (математичне очікування), автокореляційна функція (АКФ) та автоковаріаційна функція ВП. Розбіжності між світовою та вітчизняною термінологією.<br>Зв'язок АКФ вхідного та вихідного ВП ЛСС формулою дискретної згортки, детермінована аперіодична автокореляційна послідовність (АКП) ІХ ЛСС. Спектральна густина потужності (СГП) ВП на вході і виході ЛСС, зв'язок між ними через КЧХ ЛСС. Властивості СГП.<br>Взаємно кореляційна послідовність (ВКП) ВП на вході і виході ЛСС як дискретна згортка ІХ ЛСС та АКП вхідного ВП.<br>Білий шум, його СГП, та СГП шуму на виході ЛСС. [1, с. 83—88]. | 0.75        |
|                                                     | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>2.00</b> |
| <b>Розділ 2. Z-перетворення</b>                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |             |
| 1.                                                  | Тема 2.1. Пряме двобічне Z-перетворення<br>Перетворення Лапласа для сигналів неперервного часу. Комплексна площа операторного методу. Ряд Лорана та двобічне Z-перетворення. Зв'язок між Z-перетворенням та ДЧПФ. Комплексна площа в методі Z-перетворенням та одиничне коло в методі ДЧПФ. Поняття області збіжності (ОЗ) Z-перетворення. Форма границь ОЗ. Критерій існування Z-образу.<br>Подання Z-образу дрібно-раціональною функцією. Поняття нулів та полюсів Z-образу. Карта нулів і полюсів, Z-образ та ОЗ для правобічної та лівобічної експоненційної послідовності. Сума двох експоненційних послідовностей (різні випадки). [1, с. 111—120].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1.0         |
|                                                     | Тема 2.2. Область збіжності Z-перетворення<br>Форма ОЗ. Критерій існування ДЧПФ через ОЗ Z-перетворення. Полюси Z-образу та його ОЗ. ОЗ Z-перетворення обмеженого сигналу скінченної тривалості. ОЗ Z-перетворення правобічної послідовності. ОЗ Z-перетворення лівобічної послідовності. ОЗ Z-перетворення двобічної послідовності. Зв'язність ОЗ. Таблиця Z-перетворення та ОЗ для деяких сигналів.<br>Стійкість, детермінованість та ОЗ. [1, с. 120—127].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 1.0         |
|                                                     | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>2.00</b> |
| 1.                                                  | Тема 2.3. Зворотне Z-перетворення<br>Табличний метод. Метод простих дробів. Прилад для раціональної функції 2-го степеня. Формули розкладання для різних випадків. Розклад в степеневі ряди. Послідовності скінченної довжини. [1, с. 127—134].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.5         |
|                                                     | Тема 2.4. Властивості Z-перетворення<br>Лінійність. Затримка. Множення на експоненціальну послідовність.<br>Диференціювання в часовому просторі. Спряження комплексної послідовності. Обернення часу. Згортка послідовності. Теорема про початкове значення. [1, с. 134—142].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1.5         |
|                                                     | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>2.00</b> |
| <b>Розділ 3. Дискретизація неперервного сигналу</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |             |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1. | Тема 3.1. Процес періодичної дискретизації неперервного сигналу. Періодична дискретизація. Крок дискретизації. Частота дискретизації. Ідеальне неперервно-дискретне перетворення (НДП). [1, с. 154—156].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 0.50        |
|    | Тема 3.2. Частотне подання процесу дискретизації<br>Мультиплікативна модуляція неперервного сигналу періодичним ланцюжком дельта-функцій Дірака та згортка їх Фур'є образів (НЧПФ) в частотному просторі. Періодичне повторення спектрів. Накладання спектрів, їх спотворення та поява хибних частот при різних частотах дискретизації.<br>Теорема Найквіста. Частота Найквіста. Зв'язок між Фур'є образом ДЧПФ та Фур'є образом НЧПФ. Антіалайзінгова фільтрація реальних сигналів перед дискретизацією.<br>Дискретизація та відновлення синусоїдального сигналу. Субдискретизація. Накладання спектрів при відновленні синусоїдального сигналу. [1, с. 156—162].                             | 0.25        |
|    | Тема 3.3. Процес відновлення вузько смугового неперервного сигналу за його відліками<br>ІХ ідеального неперервного ФНЧ для відновлення сигналу. Інтерполяція значень дискретного сигналу між відліками. Відліки дискретного сигналу як на вагові коефіцієнти ідеальних відновлювальних ортогональних базисних функцій Найквіста при зворотному перетворенні Найквіста (зворотному узагальненому ПФ в базисі Найквіста), та як результат прямого перетворення Найквіста від неперервного сигналу (прямого узагальненого ПФ в базисі Найквіста). Ідеальний дискретно-неперервний перетворювач (ДНП). [1, с. 162—166].                                                                            | 0.50        |
|    | Тема 3.4. Процеси перетворення обмежених у спектрі неперервних сигналів в НДП-ДС-ДНП (НДН) системах<br>Дискретна обробка неперервних сигналів та структурна схема НДН системи. Застосування ЛСС в НДН системах. Ефективна КЧХ віртуальної неперервної ЛСС, еквівалентної до НДН системи.<br>Ідеальний неперервний ФНЧ з вбудованим дискретним фільтром.<br>Дискретна реалізація ідеального неперервного вузькосмугового диференціатора. Імпульсна інваріантність неперервної ЛСС і еквівалентної НДН системи.<br>Імпульсна інваріантність, неперервний ФНЧ та еквівалентний дискретний ФНЧ. Імпульсна інваріантність та неперервна система з раціональною системною функцією. [1, с. 166—175]. | 0.75        |
| —  | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>2.00</b> |
| —  | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | —           |
| 1. | Тема 3.5. Процеси перетворення дискретних сигналів в ДНП-НС-НДП (ДНД) системах<br>Неперервна обробка дискретних сигналів, структурна схема ДНД системи та основні рівняння її роботи. Неціла затримка. Ковзне середнє з нецілою затримкою. [1, с. 175—179].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0.25        |
|    | Тема 3.6. Зміна частоти дискретизації сигналу без відновлення його неперервної форми<br>Зменшення частоти дискретизації в ціле число разів. Збільшення частоти дискретизації в ціле число разів. Зміна частоти дискретизації на раціональний множник. [1, с. 179—190].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1.00        |
|    | Тема 3.7. Процеси перетворення неперервних сигналів зі змінною частотою дискретизації (багато швидкісних сигналів)<br>Зміна порядку процесів обмеження спектру і пониження/підвищення частоти дискретизації. Процес багатофазового розкладання дискретного сигналу. Багатофазова реалізація процесу проріджування. Багатофазова реалізація процесу інтерполяції. [1, с. 190—197].                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 0.75        |
|    | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>2.00</b> |
| —  | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | —           |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |             |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1. | Тема 3.8. Процеси перетворення необмежених у спектрі аналогових сигналів в НДН системах<br>Попереднє обмеження спектру для усунення ефекту накладання. Перетворення аналогового — континуального неперервного сигналу в цифровий. Аналіз похибок процесу квантування. Перетворення цифрового сигналу в аналоговий — континуальний неперервний. [1, с. 197—214]. | 1.0         |
|    | Тема 3.9. Процеси дискретизації з підвищеною частотою та формування шумів в АЦП та ЦАП<br>Процес АЦП з підвищеною частотою дискретизації та простим квантуванням. Процес АЦП з підвищеною частотою дискретизації та формуванням шумів. Процес ЦАП з підвищеною частотою відліків та формуванням шумів. [1, с. 214—227].                                         | 1.0         |
| —  | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>2.00</b> |
| —  | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | —           |
|    | <b>Розділ 4. Аналіз процесів в лінійних стаціонарних системах дискретного часу</b>                                                                                                                                                                                                                                                                              |             |
| 1. | Тема 4.1. Комплексна частотна характеристика дискретної лінійної стаціонарної системи<br>Ідеальне обмеження спектру. Фазові спотворення і затримка. [1, с. 254—258].                                                                                                                                                                                            | 0.5         |
|    | Тема 4.2. Характеристичні функції систем, які подаються лінійними різницевиими рівняннями з постійними коефіцієнтами<br>Стійкість та детермінованість. Зворотні системи. Імпульсна характеристика дискретних систем с раціональною характеристичною функцією. [1, с. 258—267].                                                                                  | 1.5         |
| —  | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>2.00</b> |
| —  | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | —           |
| 1. | Тема 4.3. КЧХ дискретних систем с раціональною характеристичною функцією<br>КЧХ у випадку одного нуля або полюса характеристичної функції. Приклади з кратними полюсами або нулями. [1, с. 267—281].                                                                                                                                                            | 1.5         |
|    | Тема 4.4. Взаємозв'язок між АЧХ та ФЧХ<br>Поняття мінімальної фази. Інверсне перетворення комплексної площини по відношенню до одиничного кола. [1, с. 281—285].                                                                                                                                                                                                | 0.25        |
|    | Тема 4.5. Дискретні системи з постійною АЧХ<br>Системи з постійною АЧХ 1-го та 2-го порядку. [1, с. 285—290].                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.25        |
| —  | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>2.00</b> |
| —  | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | —           |
| 1. | Тема 4.6. Мінімально-фазові дискретні системи<br>Розкладання складних систем на мінімально-фазову та систему з постійною АЧХ. Компенсація спотворень КЧХ дискретних лінійних стаціонарних систем. Властивості мінімально-фазових систем. [1, с. 290—300]                                                                                                        | 1.0         |
|    | Тема 4.7. Дискретні лінійні системи з узагальненою лінійною фазою<br>Системи з лінійною фазою. Узагальнення лінійної фази. Детерміновані системи з узагальненою лінійною фазою. Зв'язок лінійно-фазових СІХ-систем з мінімально-фазовими. [1, с. 300—318].                                                                                                      | 1.0         |
| —  | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>2.00</b> |
| —  | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | —           |
|    | <b>Розділ 5. Дискретне перетворення Фур'є</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |             |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |             |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1. | <p>Тема 5.1. Дискретний ряд Фур'є: подання періодичних послідовностей</p> <p>Подання періодичних послідовностей ДЧ через дискретні ряди Фур'є (ДРФ). Скінчена кількість періодичних комплексних експонент ДЧ з однаковим періодом та скінченність членів ДРФ. Визначення коефіцієнтів розкладання (рівняння аналізу). Нескінчена кількість періодичних значень частот ДЧ, що приводять до тих самих періодичних комплексних експонент, періодичність послідовності коефіцієнтів розкладання. Відновлення періодичного сигналу ДЧ за коефіцієнтами ДРФ (рівняння синтезу).</p> <p>ДРФ періодичного ланцюжка одиничних імпульсів. Дуальність форми послідовності ДЧ і форми послідовності коефіцієнтів ДРФ. ДРФ періодичної послідовності прямокутних імпульсів. [1, с. 548—552].</p>                                                                                                         | 0.5         |
|    | <p>Тема 5.2. Властивості ДРФ</p> <p>Лінійність. Зсув послідовності. Дуальність часового та частотного простору. Симетричність. Періодична згортка. Огляд властивостей подання періодичних послідовностей у вигляді ДРФ. [1, с. 552—557].</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0.5         |
|    | <p>Тема 5.3. Перетворення Фур'є періодичних сигналів</p> <p>Подання коефіцієнтів ДРФ у вигляді лінійчатого спектру лише на окремих дискретних частотах. Непідсумовуваність періодичних сигналів ані абсолютно, ані квадратом, та відсутність їх ДЧПФ. Застосування дельта-функції Дірака з неперервним аргументом для умовного подання періодичних сигналів у вигляді неперервного і періодичного за частотою Фур'є образу. Зворотне ДЧПФ запропонованого умовного Фур'є образу періодичних сигналів.</p> <p>ДЧПФ для періодичного ланцюжка одиничних імпульсів. Періодичне продовження сигналу скінченої тривалості (СТ). Розгляд періодичної послідовності коефіцієнтів ДРФ періодично-продовженого сигналу СТ як результат рівномірної дискретизації Фур'є образу первинного сигналу СТ. Зв'язок між коефіцієнтами ДРФ та функцією ДЧПФ від одного періоду сигналу. [1, с. 557—561].</p> | 0.5         |
|    | <p>Тема 5.4. Дискретизація Фур'є-образу</p> <p>Фур'є образ довільного неперіодичного сигналу ДЧ як ФСГ, що неперервно визначена на одиничному колі комплексної площини. Ділення одиничного кола на N частин і визначення ФСГ на вершинах вписаного правильного N-кутника з утворенням періодичної послідовності значень — коефіцієнтів ДРФ певного періодичного сигналу ДЧ., — результату суперпозиції періодичного повторення первинного неперіодичного сигналу. Еквівалентний опис процесу дискретизації Фур'є образу через дискретну згортку неперіодичного сигналу і періодичної послідовності одиночних імпульсів. Частота дискретизації Фур'є образу і умови неспотвореного періодичного продовження сигналу. [1, с. 561—565].</p>                                                                                                                                                    | 0.5         |
| —  | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>2.00</b> |
| —  | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | —           |
| 1. | <p>Тема 5.5. Дискретне перетворення Фур'є як спосіб подання послідовностей скінченої тривалості</p> <p>Неспотворене періодичне продовження послідовностей СТ. Подання отриманого періодичного продовження сигналу у вигляді скінченого набору коефіцієнтів ДРФ, — коефіцієнтів ДПФ. Коефіцієнти ДПФ як оцінювання ФСГ Фур'є образу сигналу СТ на вершинах вписаного в одиничне коло правильного N-кутника. Формули прямого та зворотного ДПФ. Інтерполяція коефіцієнтів ДПФ через збільшення вершин N-кутника (повторення сигналу СТ з більшим періодом). ДПФ прямокутного імпульсу. [1, с. 565—569].</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1.0         |
|    | <p>Тема 5.6. Властивості ДПФ</p> <p>Лінійність. Циклічний зсув послідовності. Дуальність часового та частотного простору. Симетричність. Циклічна згортка. Огляд властивостей подання періодичних послідовностей у вигляді ДПФ. [1, с. 569—580].</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1.0         |
| —  | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>2.00</b> |
| —  | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | —           |



|                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |             |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1.                                                 | Тема 5.7. Обчислення лінійної згортки через ДПФ<br>Лінійна згортка двох скінчених послідовностей. Циклічна згортка як лінійна з ефектом накладання відліків у часі. Реалізація дискретних лінійних стаціонарних систем через ДПФ. [1, с. 580—591].                                                                                                     | 1.0         |
|                                                    | Тема 5.8. Дискретне косинус-перетворення<br>Визначення дискретного косинус-перетворення. Визначення ДКП-1 і ДКП-2. Зв'язок між ДПФ и ДКП-1. Зв'язок між ДПФ и ДКП-2. Ущільнення енергії при ДКП-2. Застосування ДКП. [1, с. 591—602].                                                                                                                  | 1.0         |
| —                                                  | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>2.00</b> |
| —                                                  | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | —           |
| <b>Розділ 6. Застосування ДПФ до Фур'є-аналізу</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |             |
| 1.                                                 | Тема 6.1. ДПФ і Фур'є-аналіз сигналів<br>Етапи обробки неперервного сигналу при застосуванні ДПФ аналізу. Неідеальність антиалайзінгового фільтру. Джитер під час дискретизації. Шум квантування. Призначення та використання вагових вікон. Розтікання спектру рівень бокових пелюсток від віконної функції. Фур'є аналіз через ДПФ. [1, с. 695—699]. | 0.5         |
|                                                    | Тема 6.2. ДПФ-аналіз гармонічних сигналів<br>Ефект обробки методом вікна. Спектральна дискретизація. Ефекти спектральної дискретизації. [1, с. 699—715].                                                                                                                                                                                               | 1.5         |
| —                                                  | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>2.00</b> |
| —                                                  | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | —           |
| 1.                                                 | Тема 6.3. Залежне від часу ДПФ<br>Ефект обробки вікном в ЗЧ ДПФ. Дискретизація у часі і за частотою. [1, с. 715—723].                                                                                                                                                                                                                                  | 1.0         |
|                                                    | Тема 6.4. Блочна згортка з використанням ЗЧ ДПФ [1, с. 723—724].                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 0.25        |
|                                                    | Тема 6.5. Фур'є-аналіз нестационарних сигналів<br>Залежний від часу Фур'є-аналіз мовленнєвих сигналів. Залежний від часу Фур'є-аналіз радарних сигналів. [1, с. 724—730].                                                                                                                                                                              | 0.75        |
| —                                                  | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>2.00</b> |
| —                                                  | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | —           |
| 1.                                                 | Тема 6.6. Фур'є-аналіз стаціонарних випадкових сигналів: періодограма<br>Періодограма. Властивості періодограм. Усереднення періодограм. Обчислення усереднених періодограм через ДПФ. Приклад періодограмного аналізу. [1, с. 730—743].                                                                                                               | 1.0         |
|                                                    | Тема 6.7. Спектральний аналіз випадкових сигналів через оцінки автокореляційної функції<br>Обчислення кореляції і оцінка спектру потужності через ДПФ. Приклад оцінки спектра потужності через оцінку автокореляційної послідовності. [1, с. 743—755].                                                                                                 | 1.0         |
| —                                                  | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>2.00</b> |
| —                                                  | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | —           |
| <b>Розділ 7. Дискретне перетворення Гілберта</b>   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |             |
| 1.                                                 | Тема 7.1. Вступні положення. [1, с. 778—720].                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.25        |
|                                                    | Тема 7.2. Дійсна та уявна частини Фур'є-образу детермінованої послідовності. [1, с. 780—785].                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.5         |
|                                                    | Тема 7.3. Теореми достатності для скінчених послідовностей. [1, с. 785—791].                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0.5         |
|                                                    | Тема 7.4. Взаємозв'язок абсолютного значення і фази. [1, с. 791—792].                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0.25        |
|                                                    | Тема 7.5. Зв'язок між дійсною та уявною частинами аналітичних послідовностей через перетворення Гілберта<br>Проектування перетворювача Гілберта. Подання смугових сигналів. Смугова дискретизація. [1, с. 792—804].                                                                                                                                    | 0.5         |
| —                                                  | <b>Видача завдання до РГР, РР, ГР, ДЗ, ДКР</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |             |
| —                                                  | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>2.00</b> |
| —                                                  | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | —           |

Структура лекційних занять для ЗФН відрізняється тим, що час викладення матеріалу кожної з 18 наведених вище лекцій скорочується, а кількість лекцій зменшується вдвічі.

## 5.5. Лабораторні заняття (комп'ютерні практикуми)

Метою лабораторних робіт є вивчення методики та одержання навичок експериментального дослідження процесів перетворення сигналів в лінійних та нелінійних радіотехнічних колах та практична перевірка реакції кіл на задану дію і її відповідності теоретично визначеним результатам.

Структура лабораторних занять для 18 годин їх загального обсягу наведена в таблиці.

| № з/п | Назва лабораторної роботи                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Кількість ауд. годин |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1.    | <b>Процеси перетворення сигналів в пристроях міжстанційної сигналізації з використанням <i>DTMF</i>:</b> Кодування інформації, яка має передаватися та синтез <i>DTMF</i> сигналів в дискретному часі:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>процеси синтезу, кодування, модуляції, демодуляції та декодування <i>DTMF</i> сигналів: <ul style="list-style-type: none"> <li>в пристроях тонального набору телефонного номера абонента,</li> <li>в пристроях автоматичного визначення телефонного номера абонента.</li> </ul> </li> </ul> [23]                                                                                                                                                                                                         | 3                    |
| 1.    | <b>Процеси перетворення сигналів в пристроях міжстанційної сигналізації з використанням <i>DTMF</i>:</b> Демодуляція <i>DTMF</i> сигналів в дискретному часі та декодування інформації, що передавалася:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>процеси синтезу, кодування, модуляції, демодуляції та декодування <i>DTMF</i> сигналів: <ul style="list-style-type: none"> <li>в пристроях тонального набору телефонного номера абонента,</li> <li>в пристроях автоматичного визначення телефонного номера абонента.</li> </ul> </li> </ul> [23]                                                                                                                                                                                                       | 3                    |
| 1.    | <b>Процеси перетворення сигналів в модемах зі складними видами модуляції:</b> Кодування інформації, яка має передаватися та синтез модульованих сигналів в дискретному часі:<br><ul style="list-style-type: none"> <li><i>BFSK</i> в модемі V.21, кільцевої <i>BPSK</i> та <i>QPSK</i> в модемі V.22,</li> <li>прямокутної <i>QAM</i>-16 в модемі V.22bis,</li> <li>кільцевої <i>QPSK</i> та <math>\pi/4</math>-<i>QPSK</i> в модемі V.26, кільцевої 8-<i>PSK</i> в модемі V.27,</li> <li>кільцевої <i>QAM</i>-16, <i>QAM</i>-8, <i>QPSK</i> з не надлишковим кодуванням в модемі V.29,</li> <li>прямокутної <i>QAM</i>-16 з не надлишковим кодуванням та прямокутної <i>QAM</i>-32 з надлишковим решітчастим кодуванням в модемі V.32. [23]</li> </ul>   | 3                    |
| 1.    | <b>Процеси перетворення сигналів в модемах зі складними видами модуляції:</b> Демодуляція модульованих сигналів в дискретному часі та декодування інформації, що передавалася:<br><ul style="list-style-type: none"> <li><i>BFSK</i> в модемі V.21, кільцевої <i>BPSK</i> та <i>QPSK</i> в модемі V.22,</li> <li>прямокутної <i>QAM</i>-16 в модемі V.22bis,</li> <li>кільцевої <i>QPSK</i> та <math>\pi/4</math>-<i>QPSK</i> в модемі V.26, кільцевої 8-<i>PSK</i> в модемі V.27,</li> <li>кільцевої <i>QAM</i>-16, <i>QAM</i>-8, <i>QPSK</i> з не надлишковим кодуванням в модемі V.29,</li> <li>прямокутної <i>QAM</i>-16 з не надлишковим кодуванням та прямокутної <i>QAM</i>-32 з надлишковим решітчастим кодуванням в модемі V.32. [23]</li> </ul> | 3                    |
| 1.    | <b>Класичні методи оцінювання АС, ФС, ЕС та АКФ сигналів дискретного часу</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 3                    |
| 1.    | <b>Дослідження розтікання спектру сигналів дискретного часу при обмеженій тривалості спостережень</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 3                    |
| 1.    | <b>Спектральне оцінювання сигналів при вимірюваннях відстані методом ЛЧМ радіолокації. Дослідження класичних методів ЦСА. [23]</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 0                    |
| 1.    | <b>Спектральне оцінювання сигналів при вимірюваннях відстані методом ЛЧМ радіолокації. Дослідження та параметричних методів ЦСА підвищеної роздільної здатності. [23]</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0                    |
|       | <b>Всього</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 18.00                |

## 6. Самостійна робота студента

### 5.7. Самостійна робота студента

Студент повинен завчасно готуватись до лекцій, практичних та лабораторних занять (комп'ютерних практикумів). Перед лекціями необхідно повторити теоретичний матеріал, наданий у попередніх лекціях. Перед практичними та лабораторними заняттями (комп'ютерними практикумами) необхідно повторити відповідний теоретичний матеріал.

Обов'язковим є виконання індивідуальних завдань до комп'ютерних практикумів, які необхідно виконувати до наступного лабораторного заняття. Для підготовки до виконання індивідуальних завдань слід скористатися рекомендованою літературою та конспектом лекцій.

Для кращого закріплення теоретичного матеріалу студент повинен виконувати тематичні та модульні контрольні роботи (в СДН Moodle), підготовка до яких вимагає ретельного повторення теоретичного матеріалу відповідних лекцій у години самостійної роботи.

Самостійна робота студента передбачається під час підготовки до всіх видів аудиторних занять та контрольних заходів за нормами, поданими у таблиці.

| № з/п | Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Кількість годин СРС |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1.    | <b>Розділ 1. Дискретні сигнали і дискретні системи</b> [1, Глава 2. с.28-110]                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |
| 1.    | Тема 1.1. Дискретні сигнали як послідовності [1, с. 28—30]. Стандартні послідовності та операції над ними [1, с. 30—35].                                                                                                                                                                                                                                                        | 0.75                |
| 1.    | Тема 1.2. Різновиди дискретних систем та їх визначення через дискретні процеси перетворення сигналів. (Системи без пам'яті та з пам'яттю. Лінійні та нелінійні системи. Стаціонарні (інваріантні у часі) та нестаціонарні системи. Детерміновані та недетерміновані системи. Стійкі та нестійкі системи) [1, с. 35—42].                                                         | 1.00                |
| 1.    | Тема 1.3. Дискретна згортка як процес перетворення сигналів в лінійних стаціонарних (ЛІЧ) системах [1, с. 42—47].                                                                                                                                                                                                                                                               | 1.00                |
| 1.    | Тема 1.4. Властивості процесу дискретної згортки [1, с. 47—53].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1.00                |
| 1.    | Тема 1.5. Представлення дискретних процесів перетворення сигналів в ЛІЧ системах у вигляді лінійних різницевих рівнянь з постійними коефіцієнтами [1, с. 53—59].                                                                                                                                                                                                                | 1.00                |
| 1.    | Тема 1.6. Представлення в частотному просторі дискретних сигналів та процесів в системах дискретного часу. (Комплексна експонента як власна функція та КЧХ як власне значення дискретної лінійної стаціонарної системи. Стала та тимчасова реакції дискретної лінійної стаціонарної детермінованої системи на миттєво включену дискретну комплексну експоненту). [1, с. 59—67]. | 1.25                |
| 1.    | Тема 1.7. Дискретне у часі перетворення Фур'є (ДЧПФ) [1, с. 67—74].                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 1.50                |
| 1.    | Тема 1.8. Симетрії ДЧПФ [1, с. 74—77].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1.25                |
| 1.    | Тема 1.9. Теореми про ДЧПФ. (Лінійність ДЧПФ. Часовий і частотний зсуви. Обернення часу. Диференціювання в частотній області. Теорема Парсеваля. Теорема про дискретну згортку. Модуляція, або теорема про дискретну періодичну згортку). [1, с. 77—83].                                                                                                                        | 1.00                |
| 1.    | Тема 1.10. Випадкові дискретні сигнали. [1, с. 83—88].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1.25                |
| 1.    | <b>Розділ 2. Z-перетворення</b> [1, Глава 3. с.111-153]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                     |
| 1.    | Тема 2.1. Пряме двобічне Z-перетворення [1, с. 111—120].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1.75                |
| 1.    | Тема 2.2. Область збіжності Z-перетворення [1, с. 120—127].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1.75                |
| 1.    | Тема 2.3. Зворотне Z-перетворення. (Табличний метод. Метод простих дробів. Розклад в степеневі ряди). [1, с. 127—134].                                                                                                                                                                                                                                                          | 2.0                 |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |      |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1. | Тема 2.4. Властивості Z-перетворення. (Лінійність. Затримка. Множення на експоненціальну послідовність. Диференціювання в часовому просторі. Спряження комплексної послідовності. Обернення часу. Згортка послідовності. Теорема про початкове значення). [1, с. 134—142].                                                                                                        | 2.50 |
| 1. | <b>Розділ 3. Дискретизація неперервного сигналу</b> [1, Глава 4. с.154-253]                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |
| 1. | Тема 3.1. Процес періодичної дискретизації неперервного сигналу [1, с. 154—156].                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1.25 |
| 1. | Тема 3.2. Частотне подання процесу дискретизації [1, с. 156—162].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1.50 |
| 1. | Тема 3.3. Процес відновлення вузько смугового неперервного сигналу за його відліками [1, с. 162—166].                                                                                                                                                                                                                                                                             | 1.25 |
| 1. | Тема 3.4. Процеси перетворення обмежених у спектрі неперервних сигналів в НДН системах. (Лінійні стаціонарні системи. Імпульсна інваріантність) [1, с. 166—175].                                                                                                                                                                                                                  | 0.75 |
| 1. | Тема 3.5. Процеси перетворення дискретних сигналів в ДНД системах [1, с. 175—179].                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0.50 |
| 1. | Тема 3.6. Зміна частоти дискретизації сигналу без відновлення його неперервної форми. (Зменшення частоти дискретизації в ціле число разів. Збільшення частоти дискретизації в ціле число разів. Зміна частоти дискретизації на раціональний множник). [1, с. 179—190].                                                                                                            | 1.50 |
| 1. | Тема 3.7. Процеси перетворення неперервних сигналів зі змінною частотою дискретизації (багато швидкісних сигналів). (Зміна порядку процесів обмеження спектру і пониження/підвищення частоти дискретизації. Процес багатофазового розкладання дискретного сигналу. Багатофазова реалізація процесу проріджування. Багатофазова реалізація процесу інтерполяції). [1, с. 190—197]. | 1.75 |
| 1. | Тема 3.8. Процеси перетворення необмежених у спектрі аналогових сигналів в НДН системах. (Попереднє обмеження спектру для усунення ефекту накладання. Перетворення аналогового — континуального неперервного сигналу в цифровий. Аналіз похибок процесу квантування. Перетворення цифрового сигналу в аналоговий — континуальний неперервний.) [1, с. 197—214].                   | 1.25 |
| 1. | Тема 3.9. Процеси дискретизації з підвищеною частотою та формування шумів в АЦП та ЦАП. (Процес АЦП з підвищеною частотою дискретизації та простим квантуванням. Процес АЦП з підвищеною частотою дискретизації та формуванням шумів. Процес ЦАП з підвищеною частотою відліків та формуванням шумів). [1, с. 214—227].                                                           | 1.25 |
| 1. | <b>Розділ 4. Аналіз процесів в лінійних стаціонарних системах дискретного часу</b> [1, Глава 5. с.254-345]                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |
| 1. | Тема 4.1. Комплексна частотна характеристика дискретної лінійної стаціонарної системи. (Ідеальне обмеження спектру. Фазові спотворення і затримка). [1, с. 254—258].                                                                                                                                                                                                              | 0.65 |
| 1. | Тема 4.2. Характеристичні функції систем, які подаються лінійними різницевиими рівняннями з постійними коефіцієнтами. (Стійкість та детермінованість. Зворотні системи. Імпульсна характеристика дискретних систем с раціональною характеристичною функцією). [1, с. 258—267].                                                                                                    | 0.75 |
| 1. | Тема 4.3. КЧХ дискретних систем с раціональною характеристичною функцією. (КЧХ у випадку одного нуля або полюса характеристичної функції. Приклади з кратними полюсами або нулями). [1, с. 267—281].                                                                                                                                                                              | 0.75 |
| 1. | Тема 4.4. Взаємозв'язок між АЧХ та ФЧХ. [1, с. 281—285].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.35 |
| 1. | Тема 4.5. Дискретні системи з постійною АЧХ [1, с. 285—290].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0.35 |
| 1. | Тема 4.6. Мінімально-фазові дискретні системи. (Розкладання складних систем на мінімально-фазову та систему з постійною АЧХ. Компенсація спотворень КЧХ дискретних лінійних стаціонарних систем. Властивості мінімально-фазових систем). [1, с. 290—300]                                                                                                                          | 0.70 |
| 1. | Тема 4.7. Дискретні лінійні системи з узагальненою лінійною фазою. (Системи з лінійною фазою. Узагальнення лінійної фази. Детерміновані системи з узагальненою лінійною фазою. Зв'язок лінійно-фазових СІХ-систем з мінімально-фазовими). [1, с. 300—318].                                                                                                                        | 0.45 |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                        |              |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1. | <b>Розділ 5. Дискретне перетворення Фур'є</b> [1, Глава 8. с.548-629]                                                                                                                                                                                  |              |
| 1. | Тема 5.1. Дискретний ряд Фур'є: подання періодичних послідовностей. [1, с. 548—552].                                                                                                                                                                   | 0.65         |
| 1. | Тема 5.2. Властивості ДРФ. (Лінійність. Зсув послідовності. Дуальність часового та частотного простору. Симетричність. Періодична згортка. Огляд властивостей подання періодичних послідовностей у вигляді ДРФ). [1, с. 552—557].                      | 0.80         |
| 1. | Тема 5.3. Перетворення Фур'є періодичних сигналів. [1, с. 557—561].                                                                                                                                                                                    | 0.65         |
| 1. | Тема 5.4. Дискретизація Фур'є-образу. [1, с. 561—565].                                                                                                                                                                                                 | 0.65         |
| 1. | Тема 5.5. Дискретне перетворення Фур'є: подання скінчених послідовностей. [1, с. 565—569].                                                                                                                                                             | 0.65         |
| 1. | Тема 5.6. Властивості ДПФ. (Лінійність. Циклічний зсув послідовності. Дуальність часового та частотного простору. Симетричність. Циклічна згортка. Огляд властивостей подання періодичних послідовностей у вигляді ДПФ). [1, с. 569—580].              | 0.80         |
| 1. | Тема 5.7. Обчислення лінійної згортки через ДПФ. (Лінійна згортка двох скінчених послідовностей. Циклічна згортка як лінійна з ефектом накладання відліків у часі. Реалізація дискретних лінійних стаціонарних систем через ДПФ). [1, с. 580—591].     | 0.90         |
| 1. | Тема 5.8. Дискретне косинус-перетворення. (Визначення дискретного косинус-перетворення. Визначення ДКП-1 і ДКП-2. Зв'язок між ДПФ и ДКП-1. Зв'язок між ДПФ и ДКП-2. Ущільнення енергії при ДКП-2. Застосування ДКП). [1, с. 591—602].                  | 1.90         |
| 1. | <b>Розділ 6. Застосування ДПФ до Фур'є-аналізу</b> [1, Глава 10. с.695-777]                                                                                                                                                                            | 0.9          |
| 1. | Тема 6.1. ДПФ і Фур'є-аналіз сигналів. [1, с. 695—699].                                                                                                                                                                                                |              |
| 1. | Тема 6.2. ДПФ-аналіз гармонічних сигналів. (Ефект обробки методом вікна. Спектральна дискретизація). [1, с. 699—715].                                                                                                                                  | 0.85         |
| 1. | Тема 6.3. Залежне від часу ДПФ. (Ефект обробки вікном в 3Ч ДЧПФ. Дискретизація у часі і за частотою). [1, с. 715—723].                                                                                                                                 | 0.65         |
| 1. | Тема 6.4. Блочна згортка з використанням 3Ч ДПФ. [1, с. 723—724].                                                                                                                                                                                      | 0.55         |
| 1. | Тема 6.5. Фур'є-аналіз нестационарних сигналів. (Залежний від часу Фур'є-аналіз мовленнєвих сигналів. Залежний від часу Фур'є-аналіз радарних сигналів). [1, с. 724—730].                                                                              | 0.50         |
| 1. | Тема 6.6. Фур'є-аналіз стаціонарних випадкових сигналів: періодограма. (Періодограма. Властивості періодограм. Усереднення періодограм. Обчислення усереднених періодограм через ДЧПФ. Приклад періодограмного аналізу). [1, с. 730—743].              | 0.50         |
| 1. | Тема 6.7. Спектральний аналіз випадкових сигналів через оцінки автокореляційної функції. (Обчислення кореляції і оцінка спектру потужності через ДПФ. Приклад оцінки спектра потужності через оцінку автокореляційної послідовності). [1, с. 743—755]. | 1.05         |
| 1. | <b>Розділ 7. Дискретне перетворення Гілберта</b> [1, Глава 11. с.778-813]                                                                                                                                                                              | 0.50         |
| 1. | Тема 7.1. Вступні положення [1, с. 778—720].                                                                                                                                                                                                           |              |
| 1. | Тема 7.2. Дійсна та уявна частини Фур'є-образу детермінованої послідовності [1, с. 780—785].                                                                                                                                                           | 1.0          |
| 1. | Тема 7.3. Теореми достатності для скінчених послідовностей [1, с. 785—791].                                                                                                                                                                            | 1.0          |
| 1. | Тема 7.4. Взаємозв'язок абсолютного значення і фази [1, с. 791—792].                                                                                                                                                                                   | 0.50         |
| 1. | Тема 7.5. Зв'язок між дійсною та уявною частинами аналітичних послідовностей через перетворення Гілберта. (Проектування перетворювача Гілберта. Подання смугових сигналів. Смугова дискретизація). [1, с. 792—804].                                    | 1.0          |
|    | <b>Разом</b>                                                                                                                                                                                                                                           | <b>50.00</b> |
| 1. | Тематична КР 1 в СДН Moodle за темою 1.1 [23].                                                                                                                                                                                                         | 0.50         |
| 1. | Тематична КР 2 в СДН Moodle за темою 1.2 [23].                                                                                                                                                                                                         | 0.50         |
| 1. | Тематична КР 3 в СДН Moodle за темою 1.3 та 1.4 [23].                                                                                                                                                                                                  | 0.50         |
| 1. | Тематична КР 4 в СДН Moodle за темою 1.5 [23].                                                                                                                                                                                                         | 0.25         |
| 1. | Тематична КР 5 в СДН Moodle за темою 1.6 та 1.7 [23].                                                                                                                                                                                                  | 0.50         |
| 1. | Тематична КР 6 в СДН Moodle за темою 1.7 та 1.8 [23].                                                                                                                                                                                                  | 0.25         |

|    |                                                        |              |
|----|--------------------------------------------------------|--------------|
| 1. | Тематична КР 7 в СДН Moodle за темою 1.7 [23].         | 0.50         |
| 1. | Тематична КР 8 в СДН Moodle за темою 1.8 [23].         | 0.50         |
| 1. | Тематична КР 9 в СДН Moodle за темою 1.9 [23].         | 0.50         |
| 1. | Модульна КР в СДН Moodle за розділом 1, теми 1-5 [23]. | 1.00         |
| 1. | Модульна КР в СДН Moodle за розділом 1, теми 6-9 [23]. | 1.00         |
| 1. | Модульна КР в СДН Moodle за розділом 2 [23].           | 0.0          |
| 1. | Модульна КР в СДН Moodle за розділом 3 [23].           | 0.0          |
| 1. | Модульна КР в СДН Moodle за розділом 4 [23].           | 0.0          |
| 1. | Модульна КР в СДН Moodle за розділом 5 [23].           | 0.0          |
| 1. | Модульна КР в СДН Moodle за розділом 6 [23].           | 0.0          |
| 1. | Модульна КР в СДН Moodle за розділом 7 [23].           | 0.0          |
| 1. | ДКР                                                    | 10.0         |
| 1. | РГР                                                    | 0.0          |
| 1. | <b>Курсова робота</b> [23]                             | 0.0          |
| 1. | <b>Підготовка до іспиту</b>                            | 0.0          |
|    | <b>Всього</b>                                          | <b>66.00</b> |

## Політика та контроль

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

#### 6.1. Відвідування занять

Відвідування лекцій та практичних та лабораторних занять є обов'язковим згідно Положення про організацію освітнього процесу КПІ ім. Ігоря Сікорського. У разі хвороби студент зобов'язаний представляти довідку про термін проходження лікування, оформлену належним чином, з установи, де проходило лікування. У інших випадках (наприклад, сімейні обставини) питання вирішується в індивідуальному порядку з викладачем. Матеріал занять, які були з тих чи інших причин пропущені, необхідно опановувати самостійно. Для допомоги студентам в СДН dtsp.kiev.ua містяться посилання на відеозаписи всіх лекцій.

#### 6.2. Пропущені контрольні заходи

Подання результатів моделювальних робіт, ТКР та МКР є обов'язковим. Несвоєчасне подання дає нульову оцінку. У разі несвоєчасного подання з поважних причин (наприклад, хвороби), підтверджених відповідними документами, студент має можливість написати контрольний захід в інший узгоджений з викладачем термін без зниження оцінки. З метою самовдосконалення та покращення власних результатів допускається повторне виконання ТКР та МКР.

Пропущений іспит не зараховується незалежно від причин пропуску; у такому випадку студент отримує запис у відомості «не з'явився» та повинен скласти іспит на додатковій сесії.

#### 6.3. Оголошення результатів контрольних заходів

Результати виконання самостійних робіт проставляються в СДН Moodle і оголошуються кожному студенту окремо у присутності або у дистанційній формі та супроводжуються оціночними листами (в СДН Moodle), в яких студенти можуть побачити свою оцінку за певними критеріями, а також позначення основних помилок та коментарі до них.

Результати письмово екзамену вказуються на бланках для письмової екзаменаційної роботи (завдання, які виконували студенти) з позначенням усіх помилок, коректної або некоректної відповіді, а також з коментарями, зауваженнями тощо. Екзамен може проводитися у формі тестів та завдань з використанням можливостей СДН Moodle.

#### 6.4. Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

#### 6.5. Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

#### 6.6. Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість поставити будь-яке питання, яке стосується процедури проведення та/або оцінювання контрольних заходів, та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами.

Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши, з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

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

1. Облік виконання завдань та рейтинг студентів здійснюється в СДН Moodle DTSP.KIEV.UA. Студенти з першого дня вивчення дисципліни створюють особисті профілі в СДН та отримують доступ до всіх матеріалів курсу, в тому числі до правил рейтингової системи та власного журналу оцінок.

2. Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується, виходячи із 100-бальної шкали (100% успішності)

$$R_m = R_s + R_e = 100;$$

$$R_{s \max} = 60; R_{e \max} = 40.$$

Стартовий рейтинг  $R_s$  (семестрова складова) складається з балів, що студент отримує за:

- виконання лабораторних(моделювальних завдань);
- виконання модульних контрольних робіт;
- виконання тематичних контрольних робіт;
- виконання розрахунково-графічних робіт (або ДКР);
- додаткової активності.

3. Виконання, оформлення і захист звітів про виконання лабораторних робіт (ЛР) (комп'ютерних практикумів), що надають такі рейтингові бали успішності:

|                                                                                                                          |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Виконання лабораторної роботи (комп'ютерного практикуму)                                                                 | 40%     |
| Оформлення звіту відповідно до вимог                                                                                     | 20%     |
| Оформлення звіту з порушеннями                                                                                           | 0...10% |
| Повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) під час захисту ЛР на поточному або наступному лабораторному занятті | 40%     |
| Неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) або несвоєчасний захист ЛР                        | 20%     |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| Відповідь з істотними помилками | 10% |
| Незадовільна відповідь          | 0%  |

Вклад балів за ЛР в семестрову складову рейтингу - 25%.

Виконання тематичних та модульних контрольних робіт (ТКР та МКР) при ручному оцінюванні:

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації)                                   | 95...100% |
| Достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності) | 75...94%  |
| Неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки)                | 60...74%  |
| Незадовільна відповідь                                                                | 0...59%   |

Вклад в семестрову складову рейтингу балів за ТКР та МКР (теоретичні заняття) - 35%

Вклад в семестрову складову рейтингу балів за виконання тестів та ДЗ (практичні заняття) - 25%

4. Умовою позитивної *першої атестації* є отримання поточного рейтинги не менше 60% успішності (60 балів) (при умові виконання всіх ТКР та інших планових завдань на час атестації). Умовою позитивної *другої атестації* – є отримання поточного рейтинги не менше 60% успішності (60 балів) (при умові виконання всіх МКР та інших планових завдань на час атестації).

5. Умовою допуску до екзамену є зарахування всіх лабораторних робіт (комп'ютерних практикумів), розрахункової роботи та стартовий рейтинг не менше 60% успішності (60 балів).

6. На екзамені студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних питання і одну розрахункову задачу. Перелік екзаменаційних завдань наведено у MOODLE сайті з дисципліни.

Кожне теоретичне питання оцінюється у 30% від максимальної оцінки за іспит, розрахункова задача оцінюється у 40% успішності.

У підсумку

$R_e = 2 \cdot 30 + 40 = 100\%$  успішності = 40 балів (екзаменаційної складової).

7. Сума стартових балів та балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

|          |            |
|----------|------------|
| Бали     | Оцінка     |
| 100...95 | Відмінно   |
| 94...85  | Дуже добре |



|                                                                                    |              |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 84...75                                                                            | Добре        |
| 74...65                                                                            | Задовільно   |
| 64...60                                                                            | Достатньо    |
| Менше 60                                                                           | Незадовільно |
| Є не зараховані моделювальні завдання або не зарахована модульна контрольна робота | Не допущено  |

**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**

Практичні та лабораторні заняття з дисципліни «Дискретні і цифрові сигнали та процеси в радіотехніці» проводяться на ПК з використанням пакету Matlab.

Практичні та лабораторні роботи виконуються в комп'ютерному класі 321-17, тестування результатів виконання лабораторних робіт здійснюється в спеціалізованій лабораторії 318-17.

В класі 321-17 організовано 12 робочих місць. Кожне місце облаштоване персональним комп'ютером та Ethernet розеткою та 220 В для підключення додаткового обладнання. Підготовлено 3 шестигодинних лабораторних роботи.

В 318-17 лабораторії організовано 6 робочих місць. Кожне місце облаштоване різноманітними генераторами, осцилографом, вольтметрами.

Під час вивчення дисципліни «Дискретні і цифрові сигнали та процеси в радіотехніці» студенти виконують такі лабораторні роботи:

**ЛР 1.** Процеси перетворення сигналів в пристроях міжстанційної сигналізації з використанням DTMF:

- процеси синтезу, кодування, модуляції, демодуляції та декодування DTMF сигналів в пристроях тонального набору телефонного номера абонента,
- процеси синтезу, кодування, модуляції, демодуляції та декодування DTMF сигналів в пристроях автоматичного визначення телефонного номера абонента.

**ЛР 2.** Процеси перетворення сигналів в модемах зі складними видами модуляції:

- BFSK в модемі V.21,
- кільцевої BPSK та QPSK в модемі V.22,
- прямокутної QAM-16 в модемі V.22bis,
- кільцевої QPSK та  $\pi/4$ -QPSK в модемі V.26,
- кільцевої 8-PSK в модемі V.27,
- кільцевої QAM-16, QAM-8, QPSK з ненадлишковим кодуванням в модемі V.29,
- прямокутної QAM-16 з ненадлишковим кодуванням та прямокутної QAM-32 з надлишковим

решітчатим кодуванням в модемі V.32.

**ЛР 3.** Дослідження методів оцінювання спектру та спектральних параметрів сигналу при наявності адитивних завад та шумів квантування:

- ознайомлення з принципом роботи радіодальноміру при вимірюванні дальності методом ЛЧМ (лінійної частотної модуляції),
- ознайомлення з класичними та параметричними методами ЦСА (цифрового спектрального аналізу),
- дослідження способів реалізації класичних методів оцінювання спектру за функцією спектральної густини,
- дослідження ефекту розтікання лінійчатого спектру періодичного сигналу при обмеженій тривалості спостережень,
- дослідження впливу процесу когерентного накопичення сигнальних реалізацій на характеристики методів ЦСА в умовах шумів,
- дослідження ефекту збільшення віртуальної розрядності процесу квантування при когерентному накопиченні реалізації суміші сигналу та шуму «розкачування».

Перетворення сигналів з неперервної форми в дискретну та навпаки, а також їх аналіз здійснюється за допомогою АЦП, ЦАП, осцилографів та спектроаналізаторів (для сигналів звукового діапазону можна використовувати аудіокарти ПК та оціночні модулі на базі сигнального процесору ADSP-2181, для сигналів ВЧ діапазону може бути використані АЦП і ЦАП з РЧ вибіркою, а синтез і аналіз даних забезпечується засобами ПК).

---

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Складено** [Павлов О. І.](#);

**Ухвалено** кафедрою РІ (протокол № 06/2025 від 24.06.2025 )

**Погоджено** методичною комісією факультету/ННІ (протокол № 06/2025 від 25.06.2025 )