

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет
 Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій
 Кафедра електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та інтернету речей

УЗГОДЖЕНО
 Ва Декан ФАЕТ
 _____ С. Завгородній
 «25» _____ 2021 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Проректор з навчальної роботи
 _____ А. Полухін
 «25» _____ 2021 р.



Система менеджменту якості

РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни
«Цифрова обробка сигналів»

Галузь знань 15 Автоматизація та приладобудування
 Спеціальність: 153 Мікро- та наносистемна техніка
 Освітньо-професійна програма: Фізична та біомедична електроніка

Форма навчання	Се-местр	Усього (го-дин/кредиті в ECTS)	Лек-ції	Практ. заняття	Лаб. заняття	СРС	ДЗ / РГР /К	КР / КП	Форма сем. контролю
Денна:	5	180/6,0	33	33	22	92	-	-	Екзамен 5с
Заочна	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Індекс: НБ-2-153-1/20-1.17

СМЯ НАУ РП 22.02-01-2021



Робочу програму навчальної дисципліни «Цифрова обробка сигналів» розроблено на основі освітньої програми та навчального плану № НБ-2-153-3/20 підготовки здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка» за освітньо-професійною програмою «Фізична та біомедична електроніка» та відповідних нормативних документів.

Робочу програму розробив:
професор кафедри ЕРМІТ

І. Ф. Бойко

Робочу програму обговорено та схвалено на засіданні випускової кафедри спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» (освітньо-професійна програма «Фізична та біомедична електроніка») - кафедри електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та інтернету речей, протокол № 1 від «04» 01 2021 р.

Завідувач кафедри

В. М. Шутко

Робочу програму обговорено та схвалено на засіданні науково-методично-редакційної ради факультету авіонавігації, електроніки та телекомунікацій, протокол № 5 від «18» 01 2021 р.

Голова НМРР



ЗМІСТ

	сторінка
Вступ	4
1. Пояснювальна записка	4
1.1 Заплановані результати	4
1.2. Програма навчальної дисципліни.....	4
2. Зміст навчальної дисципліни	7
2.1. Структура навчальної дисципліни (тематичний план)	7
3. Навчально-методичні матеріали з дисципліни	9
3.1. Методи навчання.....	9
3.2. Рекомендована література (базова і допоміжна)	9
3.3. Інформаційні ресурси в Інтернеті.....	9
4. Рейтингова система оцінювання набутих студентом знань та вмінь	10



ВСТУП

Робоча програма (РП) навчальної дисципліни «Цифрова обробка сигналів» розроблена на основі «Методичних рекомендацій до розроблення та оформлення робочої програми навчальної дисципліни денної та заочної форм навчання», затверджених розпорядженнями № 071/роз. від 10.07.2019 р., № 088/роз. від 16.10.2019 р. та відповідних нормативних документів.

1. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

1.1. Заплановані результати

Дана навчальна дисципліна є теоретичною основою сукупності знань та вмінь, що формують професійний профіль фахівця з мікро- та наноелектроніки в області аналізу та побудови систем обробки цифрових сигналів.

Метою викладання дисципліни є розкриття сучасних методів та алгоритмів цифрової обробки сигналів, зокрема із застосуванням ЕОМ, синтезу та аналізу різного типу дискретних систем, що знаходять широке застосування в галузі автоматизації та приладобудування, зокрема, в фізичній та біомедичній електроніці, мікро- та наноелектроніці.

Завданнями вивчення навчальної дисципліни є:

- оволодіння необхідними теоретичними знаннями з теорії цифрової обробки сигналів та основними напрямками їх застосування в системі дисциплін за спеціалізацією «Фізична та біомедична електроніка»;
- дослідження сучасних аспектів, принципів, методів і алгоритмів з теорії та практики цифрової обробки сигналів (ЦОС), які є спільними для багатьох прикладних застосувань в галузі автоматизації та приладобудування, зокрема в комп'ютеризованих системах обробки та відображення інформації, технологіях мікро- та наноелектроніки;
- прищеплення первинних навичок аналізу та синтезу цифрових систем обробки інформації;
- вироблення вміння самостійно використовувати при розв'язанні теоретичних та практичних задач цифрової обробки сигналів необхідні методи і спеціальну літературу.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен набути наступні **компетентності**:

ІК. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми, що характеризуються комплексністю та невизначеністю умов, під час професійної діяльності у галузі мікро- та наносистемної техніки, або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів автоматизації та електроніки.

ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК6. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК11. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

ЗК12. Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків.

ФК1. Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки.

ФК2. Здатність виконувати аналіз предметної області та нормативної документації, необхідної для проектування та застосування приладів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки.

ФК3. Здатність використовувати математичні принципи і методи для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки.



ФК4. Здатність застосовувати відповідні наукові та інженерні методи, сучасні інформаційні технології і комп'ютерне програмне забезпечення, комп'ютерні мережі, бази даних та Інтернет-ресурси для розв'язування професійних завдань у галузі мікро- та наносистемної техніки.

ФК5. Здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у мікро- та наносистемній техніці за допомогою побудови і аналізу їх фізичних і математичних моделей.

Навчальна дисципліна «Цифрова обробка сигналів» використовує знання, які набувають студенти при вивченні таких дисциплін, як: «Вища математика», «Фізика» та є базою для вивчення таких дисциплін, як: «Цифрові приймачі біомедичних зображень», «Методи штучного інтелекту в обробці медичних зображень» та інших.

1.2. Програма навчальної дисципліни.

Навчальний матеріал дисципліни структурований за модульним принципом і складається з двох навчальних модулів, а саме:

- навчального модуля №1 «Лінійні дискретні системи та сигнали»;
- навчального модуля №2 «Системи цифрової обробки сигналів»,

кожен з яких є логічно завершеною, відносно самостійною, цілісною частиною навчальної дисципліни, засвоєння якої передбачає проведення модульної контрольної роботи та аналіз результатів її виконання.

Модуль 1. Лінійні дискретні системи та сигнали.

Тема 1. Вступ до цифрової обробки сигналів (ЦОС). Математичний опис дискретних сигналів.

Предмет та задачі дисципліни «Цифрова обробка сигналів». Задачі ЦОС, її переваги та недоліки у порівнянні з аналоговою обробкою сигналів. Узагальнена система ЦОС. Основні типи сигналів. Типові дискретні сигнали. Основні операції ЦОС. Основна смуга частот. Нормована частота. Області практичного застосування ЦОС.

Короткі відомості про перетворення Фур'є та Лапласа. Дискретні перетворення Фур'є та Лапласа. Їх основні властивості. Особливості спектрів дискретних сигналів. Z-перетворення дискретних сигналів. Його властивості. Зв'язок z-перетворення з перетвореннями Фур'є та Лапласа.

Тема 2. Опис лінійних дискретних систем (ЛДС) у часі.

Математична модель системи, класифікація. Основні властивості ЛДС. Означення імпульсної характеристики ЛДС, її властивості. Дискретна згортка. Співвідношення вхід-вихід ЛДС на основі імпульсної характеристики. Означення перехідної характеристики ЛДС, її властивості. Співвідношення вхід-вихід ЛДС на основі перехідної характеристики. Різницеві рівняння ЛДС. Поняття рекурсивних і нерекурсивних ЛДС. Поняття стійкості ЛДС. Критерій стійкості на основі поняття імпульсної характеристики.

Тема 3. Опис ЛДС у z-області.

Означення системної функції ЛДС. Системні функції для рекурсивних і нерекурсивних ЛДС. Співвідношення вхід-вихід ЛДС на основі системної функції. Властивості системної функції та її різновиди. Особливі точки та нулі системної функції. Критерій стійкості ЛДС у z-області. Системна функція та імпульсні характеристики ланок 1-го та 2-го порядків. Карти нулів і полюсів ланок 1-го та 2-го порядків.

Тема 4. Опис ЛДС у частотній області.

Означення частотної характеристики ЛДС. Її властивості. Співвідношення вхід-вихід ЛДС на основі частотної характеристики. Означення амплітудно-частотної характеристики



(АЧХ) та фазочастотної характеристики (ФЧХ) ЛДС. Розрахунок та аналіз АЧХ і ФЧХ ланок 1-го та 2-го порядків. Мінімально-фазові і не мінімально-фазові ЛДС. Фазові ланки.

Тема 5. Структурні схеми ЛДС. Опис ЛДС у просторі станів.

Структури рекурсивних ЛДС. Пряма структура. Пряма канонічна структура 1. Канонічна структура 2. Канонічна структура 3. Каскадна структура. Паралельна структура. Структури нерекурсивних ЛДС. Пряма структура. Каскадна структура. Принципи вибору структурної схеми ЛДС.

Означення поняття стану ЛДС. Опис ЛДС на основі структурних схем. Означення рівнянь стану та виходу на основі системної функції. Структурне зображення ЛДС на основі рівнянь стану та виходу.

Тема 6. Дискретні випадкові сигнали.

Означення випадкового сигналу. Види випадкових сигналів. Ймовірнісні характеристики випадкових сигналів. Дискретна випадкова послідовність. Дискретний випадковий сигнал. Стационарні випадкові сигнали. Спектрально-кореляційний опис випадкових сигналів. Марковські процеси.

Тема 7. Дія дискретних випадкових сигналів на ЛДС.

Генерування реалізацій випадкових сигналів ЛДС. Стохастичні різницеві рівняння. Стохастичний аналіз дії випадкових сигналів на ЛДС у часовій області. Дія стаціонарного сигналу на ЛДС. Дія процесу типу білого шуму на ЛДС. Стохастичний аналіз дії марковських процесів на ЛДС. Аналіз дії стаціонарних випадкових сигналів на ЛДС у частотній області.

Тема 8. Квантування сигналів в цифрових системах.

Зображення та кодування чисел. Форми зображення чисел. Кодування чисел. Арифметичні операції над числами з фіксованою комою. Квантування чисел та сигналів. Способи квантування чисел. Моделі процесу квантування. Припущення відносно властивостей похибок квантування. Шум аналого-цифрового перетворення (АЦП). Лінійна модель процесу квантування вхідного сигналу. Оцінки шуму АЦП. Шум АЦП, зведений до виходу цифрової системи.

Тема 9. Ефекти квантування в цифрових системах.

Власні шуми цифрової системи. Лінійна модель цифрової системи. Визначення складових власного шуму. Обчислення власного шуму. Повний вихідний шум системи. Ефекти переповнення в суматорах. Динамічний діапазон цифрової системи. Масштабуючі коефіцієнти. Ефекти квантування коефіцієнтів цифрової системи. Поняття про паралельні цикли.

Модуль 2. Системи цифрової обробки сигналів.

Тема 1. Вступ до цифрових фільтрів. СІХ-фільтри з лінійною ФЧХ.

Основні означення та класифікація цифрових фільтрів. Синтез цифрових фільтрів. Вимоги до цифрових фільтрів. Типи вибіркового фільтрів та задання вимог до них. Характеристика задачі оптимального синтезу. Міра близькості в задачах апроксимації ЦОС. Постановка задачі оптимального синтезу. Вагова функція. Конструювання функціональної схеми цифрового фільтра.

Умови передачі сигналів без спотворень. Теорема про СІХ-фільтри з лінійною ФЧХ. Структурні схеми СІХ-фільтрів з лінійною ФЧХ. Частотні характеристики СІХ-фільтрів з лінійною ФЧХ (СІХ-фільтри типу 1 і 3; СІХ-фільтри типу 2 і 4). Властивості СІХ-фільтрів з лінійною ФЧХ типу 1, 2, 3 і 4.



Тема 2. Синтез СІХ-фільтрів методом вікон.

Постановка задачі. Означення методу. Загальна характеристика задачі. Явище Гіббса. Вікна та їх основні параметри: прямокутне вікно (вікно Діріхле), трикутне вікно (вікно Бартлетта), узагальнене косинус не вікно, вікно Кайзера. Визначення величини пульсацій Гіббса. Методика синтезу СІХ-фільтрів на основі вікон.

Тема 3. Синтез оптимальних за Чебишовим СІХ-фільтрів.

Поняття про синтез оптимальних за Чебишовим фільтрів. Постановка задачі оптимального синтезу. Поняття про поліноми Чебишова. Теорема Чебишова. Поліноміальний алгоритм Ремеза. Поняття про алгоритм Ремеза. Приклад використання обмінного алгоритму Ремеза.

Тема 4. Цифровий перетворювач Гільберта. Цифрові диференціатори.

Поняття про перетворення Гільберта. Спряжений сигнал. Означення обвідної, поточної фази і миттєвої частоти. Дискретне перетворення Гільберта. Властивості. Частотні характеристики цифрових перетворювачів Гільберта (ЦПГ). Імпульсна характеристика ЦПГ. Задання вимог до ЦПГ.

Поняття про диференціатор. Частотні характеристики цифрових диференціаторів. Задання вимог до цифрових диференціаторів.

Тема 5. Синтез НІХ-фільтрів. Метод білінійного z -перетворення.

Короткий огляд синтезу аналогових фільтрів-прототипів. Реактансні перетворення частоти. Апроксимація АЧХ раціональними функціями.

Синтез НІХ-фільтрів методом інваріантних імпульсних характеристик. Постановка задачі та її розв'язок. Властивості НІХ-фільтрів, синтезованих методом інваріантних імпульсних характеристик. Процедура синтезу НІХ-фільтрів методом інваріантних імпульсних характеристик.

Білінійне z -перетворення. Означення білінійного z -перетворення. Його властивості. Порівняння методів інваріантних імпульсних характеристик і білінійного z -перетворення. Процедура синтезу цифрового фільтру на основі білінійного z -перетворення. Синтез НІХ-фільтрів методом частотних перетворень НІХ-фільтрів нижніх частот.

Тема 6. Основи адаптивної обробки сигналів. Рекурентні алгоритми адаптації.

Класифікація адаптивних систем обробки сигналів. Системи зі зворотнім зв'язком та без зворотного зв'язку. Постановка задачі адаптивної обробки сигналів. Оптимальне нерекурсивне оцінювання. Автокореляційна та взаємна кореляційна матриці. Рівняння Вінера-Хопфа.

Калманівське оцінювання випадкового сигналу. Модель генерування сигналу. Модель впливу каналу на сигнал. Рекурсивна формула оцінки першого порядку. Скалярний фільтр Калмана. Характеристика ітераційних алгоритмів адаптації. Градієнтні методи адаптації.

Тема 7. Багатошвидкісні системи ЦОС.

Задачі перетворення частоти дискретизації: інтерполяція і децимація. Однократні та багатократні системи перетворення частоти дискретизації. Однократні системи інтерполяції. Експандер частоти дискретизації. Однократні системи децимації. Поліфазна структура систем інтерполяції. Поліфазна структура систем децимації.

Тема 8. Нелінійні дискретні системи.

Операторне рівняння системи та його використання в задачах ідентифікації, моделювання і синтезу нелінійних систем. Опис нелінійних систем у часовій області.



Функціональний ряд Вольєрра. Однорідні функціонали. Функціональний поліном Вольєрра. Опис нелінійних систем в p - і z -областях. Пряме та обернене багатовимірне перетворення Лапласа. Пряме та обернене багатовимірне перетворення Фур'є.

Зображення нелінійної системи на основі багатовимірного перетворення Фур'є.
Зображення нелінійної системи на основі багатовимірного дискретного перетворення Фур'є.
Визначення параметрів нелінійного оператора дискретної системи за середньоквадратичним критерієм. Побудова нелінійного оператора у часовій області. Побудова нелінійного оператора у частотній області.

2. ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Структура навчальної дисципліни.

№ п/п	Назва теми	Обсяг навчальних занять (год)									
		Денна форма навчання					Заочна форма навчання				
		Усього	Лекції	Пр. зан.	Лаб.роб.	СРС	Усього	Лекції	Пр. зан.	Лаб.роб.	СРС
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5 семестр											
Модуль №1 «Лінійні дискретні системи та сигнали»											
1.1	Вступ до цифрової обробки сигналів (ЦОС). Математичний опис дискретних сигналів	8	2	2	-	4					
1.2	Опис лінійних дискретних систем (ЛДС) у часі	12	2	2	2	6					
1.3	Опис ЛДС у z -області	8	2	2	-	4					
1.4	Опис ЛДС у частотній області	12	2	2	2	6					
1.5	Структурні схеми ЛДС. Опис ЛДС у просторі станів	8	2	2	-	4					
1.6	Дискретні випадкові сигнали	12	2	2	2	6					
1.7	Дія дискретних випадкових сигналів на ЛДС	12	2	2	2	6					
1.8	Квантування сигналів в цифрових системах	12	2	2	2	6					
1.9	Ефекти квантування в цифрових системах	8	2	-	2	4					
1.10	Модульна контрольна робота №1	6	-	2		4					
Усього за модулем №1		98	18	18	12	50					
Модуль №2 «Системи цифрової обробки сигналів»											
2.1	Вступ до цифрових фільтрів. СІХ-фільтри з лінійною ФЧХ	8	2	2	-	4					
2.2	Синтез СІХ-фільтрів методом вікон	12	2	2	2	6					
2.3	Синтез оптимальних за Чебишовим	8	2	2	-	4					



	СІХ-фільтрів										
2.4	Цифровий перетворювач Гільберта. Цифрові диференціатори	12	2	2	2	6					
2.5	Синтез НІХ-фільтрів. Метод білінійного z-перетворення	12	2	2	2	6					
2.6	Основи адаптивної обробки сигналів. Рекурентні алгоритми адаптації	12	2	2	2	6					
2.7	Багатошвидкісні системи ЦОС	4	2	-	-	2					
2.8	Нелінійні дискретні системи	8	1	2	2	4					
2.9	Модульна контрольна робота №2	6	-	1	-	4					
Усього за модулем №2		82	15	15	10	42					
Усього за навчальною дисципліною		180	33	33	22	92					

3. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ З ДИСЦИПЛІНИ

3.1. Методи навчання

При вивчення навчальної дисципліни використовуються наступні методи навчання:

- пояснювально-ілюстративний метод;
- метод проблемного викладу;
- репродуктивний метод;
- дослідницький метод.

Реалізація цих методів здійснюється при проведенні лекцій, демонстрацій, самостійному вирішенні задач, роботі з навчальною літературою для опанування фундаментальних, загально технічних і професійних основ спеціальності за напрямом «Мікро- та наносистемна техніка», специфіки майбутньої роботи випускника.

3.2. Рекомендована література

Базова література

3.2.1. Цифрова обробка аудіо- та відеоінформації у мультимедійних системах: Навчальний посібник / О.В. Дробик, В.В. Кідалов, В.В. Коваль, Б.Я. Костік, В.С. Лазебний, Г.М. Розорінов, Г.О. Сукач. – К.: Наукова думка, 2008. – 144 с.: іл

3.2.2. Цифрова обробка сигналів. Навчальний посібник / А. Й. Наконечний, Р. А. Наконечний, В. А. Павлиш. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. 368 с.

3.2.3. Бабак В.П., Хандлецький В.С., Шрюфер Е. Обробка сигналів: Підручник. -К.: Либідь, 1996.-392 с.

Допоміжна література

3.2.4. Рибальченко М.О., Єгоров О.П., Зворикін В.Б. Цифрова обробка сигналів. Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2018. – 79 с.

3.3. Інформаційні ресурси в Інтернеті

3.3.1 <http://kafelec.nau.edu.ua/materialu12-ukr.html>



4. РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ НАБУТИХ СТУДЕНТОМ ЗНАТЬ ТА ВМІНЬ

4.1. Оцінювання окремих видів виконаної студентом навчальної роботи здійснюється в балах відповідно до табл.4.1.

Таблиця 4.1

Вид навчальної роботи	Максимальна кількість балів		
	Денна форма навчання		Заочна форма навчання
	5 семестр		
	Модуль №1	Модуль №2	
Виконання завдань на практичних заняттях	6	5	
Виконання та захист лабораторних робіт	3б×6=18	3б×5=15	
<i>Для допуску до виконання модульної контрольної роботи студент має набрати не менше</i>	<i>15 балів</i>	<i>12 балів</i>	–
Виконання модульної контрольної роботи	8	8	–
Усього за модулем	32	28	
Семестровий екзамен	40		
Усього за дисципліною	100		

4.2. Виконані види навчальної роботи зараховуються студенту, якщо він отримав за них позитивну рейтингову оцінку.

4.3. Сума рейтингових оцінок, отриманих студентом за окремі види виконаної навчальної роботи, становить поточну модульну рейтингову оцінку, яка заноситься до відомості модульного контролю.

4.4. Сума поточної та контрольної модульних рейтингових оцінок становить підсумкову модульну рейтингову оцінку, яка в балах та за національною шкалою заноситься до відомості модульного контролю.

4.5. Підсумкова семестрова рейтингова оцінка в балах, за національною шкалою та шкалою ECTS заноситься до заліково-екзаменаційної відомості, навчальної картки та залікової книжки студента.

4.6. Підсумкова семестрова рейтингова оцінка заноситься до залікової книжки та навчальної картки студента, наприклад, так: **92/Відм./А, 87/Добре/В, 79/Добре/С, 68/Задов./D, 65/Задов./Е** тощо.

4.7. Підсумкова рейтингова оцінка з дисципліни дорівнює підсумковій семестровій рейтинговій оцінці.

Зазначена підсумкова рейтингова оцінка з дисципліни заноситься до Додатку до диплома.



(Ф 03.02 – 01)

АРКУШ ПОШИРЕННЯ ДОКУМЕНТА

№ прим.	Куди передано (підрозділ)	Дата видачі	П.І.Б. отримувача	Підпис отримувача	Примітки

(Ф 03.02 – 02)

АРКУШ ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ДОКУМЕНТОМ

№ пор.	Прізвище ім'я по-батькові	Підпис ознайомленої особи	Дата ознайомлення	Примітки

(Ф 03.02 – 04)

АРКУШ РЕЄСТРАЦІЇ РЕВІЗІЇ

№ пор.	Прізвище ім'я по-батькові	Дата ревізії	Підпис	Висновок щодо адекватності

(Ф 03.02 – 03)

АРКУШ ОБЛІКУ ЗМІН

№ зміни	№ листа (сторінки)				Підпис особи, яка внесла зміну	Дата внесення зміни	Дата введення зміни
	Зміненого	Заміненого	Нового	Анульованого			

(Ф 03.02 – 32)

УЗГОДЖЕННЯ ЗМІН

	Підпис	Ініціали, прізвище	Посада	Дата
Розробник				
Узгоджено				
Узгоджено				
Узгоджено				