



ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИМАЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛІВ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність	172 Електронні комунікації та радіотехніка
Освітня програма	Радіотехнічні комп'ютеризовані системи
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Заочна
Рік підготовки, семестр	3 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	3.5/105 (14 годин – лекції, 6 годин – лабораторні заняття, 85 годин – СРС)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен/модульна контрольна робота
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., проф. Жук Сергій Якович, s.zhuk@kpi.ua , +38(068)801-04-37; Лабораторні: д.т.н., проф. Жук Сергій Якович.
Розміщення курсу	https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=881

Програма навчальної дисципліни

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

Опис навчальної дисципліни. Дана дисципліна навчає статистичним методам оптимального оброблення сигналів для використання в сучасних радіотехнічних системах. Сучасні радіотехнічні системи мають значні обчислювальні можливості і, по-суті, є комп'ютеризованими інформаційно-вимірювальними системами. Розробка досконалих радіотехнічних комп'ютеризованих систем, які могли б надійно функціонувати в складній сигнально-завадовій обстановці, можлива лише на базі сучасних методів оптимізації (синтезу). Математичною основою синтезу таких систем є апарат теорії випадкових процесів.

Мета навчальної дисципліни. Метою дисципліни є вивчення основ теорії випадкових процесів і методів оптимального оброблення сигналів в радіотехнічних комп'ютеризованих системах, які дозволяють розробляти алгоритми, що забезпечують ефективне функціонування таких систем в умовах завад.

Предмет вивчення: основи теорії випадкових процесів і методи оптимального виявлення, розрізнення, оцінки невідомих параметрів і фільтрації сигналів в сучасних радіотехнічних комп'ютеризованих системах.

Компетентності.

Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми (ЗК 08).

Здатність застосовувати сучасні мови програмування при створенні програмного забезпечення із відповідним функціоналом для радіотехнічних комп'ютеризованих систем та реалізовувати програми в різних середовищах програмування (ФК 17).

Здатність до виконання аналізу, розрахунку, оптимізації вихідних характеристик математичних та схемних моделей аналогових та цифрових пристроїв радіотехнічних систем в залежності від діапазону частот з

урахуванням факторів зовнішнього впливу, використовувати інформаційні ресурси Internet для отримання математичних та конструкторських моделей радіокомпонент від виробників. (ФК 18).

Здатність розробляти алгоритми оптимальної обробки сигналів в радіотехнічних комп'ютеризованих системах, що працюють в умовах завад, та досліджувати їх ефективність шляхом статистичного моделювання на ЕОМ з використанням спеціалізованих програмних засобів, та розробляти технічні рішення для підвищення ефективності функціонування (ФК 19).

Програмні результати навчання

Аналізувати, аргументувати, приймати рішення при розв'язанні спеціалізованих задач та практичних проблем телекомунікацій та радіотехніки, які характеризуються комплексністю та неповною визначеністю умов (ПРН 1).

Навички оцінювання, інтерпретації та синтезу інформації і даних (ПРН 05).

Застосування фундаментальних і прикладних наук для аналізу та розробки процесів, що відбуваються в телекомунікаційних та радіотехнічних системах (ПРН 13).

Будувати моделі функціонування радіонавігаційних і радіолокаційних систем в умовах завад, розробляти алгоритми оптимального виявлення, розрізнення, оцінки невідомих параметрів і фільтрації сигналів в радіотехнічних системах різного функціонального призначення в умовах завад. Досліджувати ефективність отриманих алгоритмів оптимального виявлення, розрізнення, оцінки невідомих параметрів і фільтрації сигналів шляхом статистичного моделювання. (ПРН 26).

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

Пререквізити: навчальна дисципліна «Технології оптимального оброблення сигналів» базується на знаннях з таких дисциплін: «Математичний аналіз», «Інформатика», «Основи теорії кіл» «Основи теорії електронних комунікацій і радіотехніки», «Теорія ймовірностей в радіотехніці».

Постреквізити: Дисципліна є основою для вивчення всіх наступних спеціальних дисциплін, в яких розглядаються процеси прийому і обробки сигналів в сучасних радіотехнічних комп'ютеризованих системах різного призначення.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Основи теорії випадкових процесів.

Тема 1. Закони розподілу ймовірностей, моментні і кореляційні функції випадкових процесів.

Тема 2. Спектральна щільність потужності ергодичного випадкового процесу.

Тема 3. Гаусівський та марківські випадкові процеси.

Тема 4. Вплив випадкових процесів на лінійні системи.

Тема 5. Квазігармонійний випадковий процес.

Тема 6. Статистичні характеристики сигналів з амплітудною модуляцією.

Тема 7. Статистичні характеристики сигналів з амплітудною, частотною і фазовою маніпуляцією.

Розділ 2. Основи теорії синтезу оптимальних радіотехнічних систем.

Тема 8. Апостеріорна щільність ймовірності і функція правдоподібності переданого повідомлення.

Тема 9. Кореляційний прийом сигналів.

Тема 10. Узгоджена фільтрація сигналів.

Розділ 3. Методи оптимального виявлення та розрізнення сигналів.

Тема 11. Байєсівський критерій оптимального виявлення сигналів.

Тема 12. Критерії виявлення сигналів.

Тема 13. Оптимальне розрізнення двійкових сигналів.

Розділ 4. Оптимальна оцінювання параметрів сигналів.

Тема 14. Оптимальне оцінювання енергетичних параметрів сигналів.

Тема 15. Оптимальне оцінювання неенергетичних параметрів сигналів.

Розділ 5. Методи оптимальної фільтрації сигналів.

Тема 16. Марківські моделі повідомлень.

Тема 17. Оптимальна фільтрація скалярного повідомлення в дискретному часі.

Тема 18. Оптимальна лінійна фільтрація векторного повідомлення в дискретному часі.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Література базова:

1. Жук С.Я. Технології оптимального оброблення сигналів. Курс лекцій. / С.Я. Жук. Електронне мережне навчальне видання. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського 2023. -260с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57037>
2. Прокопенко І.Г. Методи і засоби обробки сигналів. Оцінювання, виявлення, фільтрація. Підручник / І.Г. Прокопенко. – К.: НАУ, 2003.-200с. <https://zavantag.com/docs/1157/index-3316.html>
3. Жук С.Я., Вишневий С.В. Технології оптимального оброблення сигналів. Лабораторний практикум / С.Я. Жук, С.В. Вишневий. Електронне мережне навчальне видання. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського 2022.-116с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48646>

Література додаткова:

1. Андреев М.В. Комп'ютерні методи обробки сигналів. Конспект лекцій. Цифровий депозитарій ДНУ ім. О.Гончара, 2017. – Режим доступу: http://repository.dnu.dp.ua:1100/?page=inner_material&id=8146
2. Братченко Г. Д., Перелигін Б. В., Банзак О. В., Казакова Н. Ф., Григор'єв Д. В. Методи та засоби обробки сигналів. Навчальний посібник. – Одеса: Типографія-видавництво «Плутон», 2014. – 452 с. <https://osatrq.edu.ua/wp-content/uploads/2016/05/Navchalniy-posibnikMZOS.pdf>
3. Васильєв В. М. Теорія ймовірностей в радіотехніці: підручник / В. М. Васильєв, С. Я. Жук. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 368 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/56854>
4. Оптимізація проектування радіотехнічних систем [Текст]: метод. вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Оптимізація проектування радіотехнічних систем» для студ. радіотехнічного ф-ту / Уклад.: С.Я. Жук - К.: НТУУ "КПІ", 2012. – 26 с.
5. MATLAB and Simulink for Signal Processing [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.mathworks.com/solutions/signal-processing.html>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента) (6 семестр)

Лекційні заняття

Розділ 1. Основи теорії випадкових процесів.

Тема 1. Закони розподілу ймовірностей, моментні і кореляційні функції випадкових процесів.

Предмет і зміст дисципліни. Закони розподілу ймовірностей випадкового процесу. Властивості багатомірної щільності ймовірності. Моментні і кореляційні функції випадкового процесу. Властивості кореляційної функції випадкового процесу. Параметри часового осереднення ергодичних процесів. Властивості кореляційної функції стаціонарного процесу.

Література: [1,2]

Завдання для СРС. Стаціонарні і нестаціонарні випадкові процеси. **Тема 2. Спектральна щільність потужності ергодичного випадкового процесу.**

Визначення і фізичний зміст спектральної щільності потужності ергодичного випадкового процесу. Теорема Вінера-Хінчина. Зв'язок між спектральною щільністю і кореляційною функцією. Властивості спектральної щільності. Ефективна ширина спектра та інтервал кореляції.

Література: [1,2]

Завдання для СРС. Білий шум і його властивості. **Розділ 2. Основи теорії синтезу оптимальних радіотехнічних систем.**

Тема 8. Апостеріорна щільність ймовірності і функція правдоподібності переданого повідомлення.

Задачі оптимального оброблення сигналів. Апостеріорна щільність ймовірності повідомлення, що передається. Функція правдоподібності в гаусівському каналі.

Література: [1,2]

Завдання для СРС. Апостеріорна щільність ймовірності невідомої затримки сигналу.

Розділ 3. Методи оптимального виявлення та розрізнення сигналів.

Тема 11. Байєсівський критерій оптимального виявлення сигналів.

Постановка задачі оптимального виявлення сигналів. Граф прийняття рішень. Однокрокова задача прийняття рішень. Середній ризик. Байєсівський критерій оптимального виявлення сигналів. Оптимальне байєсівське вирішальне правило. Відношення правдоподібності.

Література: [1,2]

Завдання для СРС. Відношення правдоподібності при прийомі сигналів в дискретному часі.

Тема 12. Критерії виявлення сигналів.

Відношення правдоподібності при прийомі сигналів в неперервному часі. Достатня статистика. Структура оптимального виявлювача на основі кореляційного приймача. Оптимальне виявлення за критеріями ідеального спостерігача, максимальної правдоподібності та Неймана-Пірсона. Виявлення повністю відомого сигналу за критерієм Неймана-Пірсона.

Література: [1,2,3]

Завдання для СРС. Виявлення сигналу з випадковою початковою фазою. Схема квадратурної обробки.

Тема 13. Оптимальне розрізнення двійкових сигналів.

Постановка задачі оптимального розрізнення сигналів. Оптимальний пристрій розрізнення двійкових сигналів. Функціонування пристрою для сигналів з амплітудною, частотною та фазовою маніпуляцією. Імовірність помилки при розрізненні сигналів з амплітудною, частотною та фазовою маніпуляцією..

Література: [1,2,3]

Завдання для СРС. Розрізнення M детермінованих сигналів.

Розділ 4. Методи оптимального оцінювання параметрів сигналів.

Тема 14. Оптимальне оцінювання енергетичних параметрів сигналів.

Постановка задачі оптимального оцінювання параметрів сигналів. Критерії оптимального оцінювання параметрів сигналів. Оцінювання енергетичних параметрів сигналів. Оптимальний пристрій оцінювання амплітуди радіосигналу. Точність оцінки амплітуди радіосигналу.

Література: [1,2]

Завдання для СРС. Точність оцінювання амплітуди прямокутного радіоімпульсу.

Лабораторні заняття

Розділ 2. Лабораторна робота 3. Дослідження кореляційного приймача і узгодженого фільтру.

Розділ 3. Лабораторна робота 4. Дослідження характеристик оптимального пристрою виявлення.

Розділ 3. Лабораторна робота 5. Дослідження характеристик оптимальних розрізнявачів сигналів.

6. Самостійна робота студента/аспіранта

	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Тема 3. Гаусівський та марківські випадкові процеси. Багатовимірний гаусівський випадковий процес та його властивості. Марківські випадкові процеси та їх класифікація. Марківська послідовність та її властивості. Щільність ймовірності переходу і математична модель гаусівської марківської послідовності. Ланцюги Маркова та їх властивості.	3
2	Тема 4. Вплив випадкових процесів на лінійні системи. Перетворення математичного очікування і кореляційної функції випадкового процесу. Перетворення спектральної щільності лінійним ланцюгом в стаціонарному режимі. Вплив білого шуму на низькочастотний і смуговий фільтри. Вплив білого шуму на полосовий вузькосмуговий фільтр. Диференціювання і інтегрування випадкових процесів.	3
3	Тема 5. Квазігармонійний випадковий процес. Розкладання процесу на ортогональні складові. Розподіли огинаючої і фази квазігармонійного процесу. Закон Релея. Сума гармонійного сигналу і квазігармонійного шуму. Розподіли огинаючої і фази суми гармонійного сигналу і квазігармонійного шуму. Закон Райса.	3
4	Тема 6. Статистичні характеристики сигналів з амплітудною модуляцією. Сигнали з аналоговою модуляцією. Кореляційна функція сигналів з амплітудною модуляцією. Спектральна щільність потужності сигналів з амплітудною модуляцією. Особливості сигналів з кутовою модуляцією	3
5	Тема 7. Статистичні характеристики сигналів з амплітудною, частотною і фазовою маніпуляцією. Сигнали з дискретною модуляцією. Кореляційна функція і спектральна щільність потужності сигналів з амплітудною маніпуляцією. Кореляційна функція і спектральна щільність потужності сигналів з частотною маніпуляцією. Кореляційна функція і спектральна щільність потужності сигналів з фазовою маніпуляцією.	3
6	Лабораторна робота 1. Експериментальне дослідження статистичних характеристик сигналів з дискретною модуляцією.	4
7	Лабораторна робота 2. Аналіз марковських моделей гаусівських випадкових процесів.	4
8	Тема 9. Кореляційний прийом сигналів. Кореляційний інтеграл. Структурна схема кореляційного приймача. Сигнальна і шумова функції та їх властивості. Відношення сигнал/завада.	3

	Сигнальні функції прямокутних імпульсів з внутрішньоімпульсною модуляцією.	
9	Тема 10. Узгоджена фільтрація сигналів. Імпульсна характеристика узгодженого фільтру. Сигнальна функція узгодженого фільтру. Передаточна характеристика узгодженого фільтру. Відношення сигнал/завада на виході узгодженого фільтру. Імпульсні характеристики і структурні схеми фільтрів, узгоджених з прямокутними імпульсами з внутрішньоімпульсною модуляцією.	3
10	Тема 15. Оптимальне оцінювання неенергетичних параметрів сигналів. Оптимальний багатоканальний пристрій оцінки неенергетичних параметрів сигналів. Потенційна точність оцінки неенергетичних параметрів сигналів. Потенційна точність оцінки невідомої частоти радіосигналу. Оптимальний пристрій оцінювання невідомої початкової фази радіоімпульсу. Потенційна точність оцінки невідомої початкової фази радіоімпульсу	3
11	Лабораторна робота 6. Дослідження характеристик оптимального вимірювача параметрів сигналу.	5
12	Тема 16. Марківські моделі повідомлень. Постановка задачі оптимальної фільтрації сигналів. Марківська модель повідомлень в неперервному часі. Марківська модель повідомлень в дискретному часі. Критерії оптимальної фільтрації сигналів.	3
13	Тема 17. Оптимальна фільтрація скалярного повідомлення в дискретному часі. Синтез алгоритму обчислення апостеріорної щільності ймовірності повідомлення в дискретному часі. Лінійна фільтрація скалярного процесу в дискретному часі. Скалярний дискретний фільтр Калмана. Скалярний фільтр Калмана в неперервному часі..	3
14	Тема 18. Оптимальна лінійна фільтрація векторного повідомлення в дискретному часі. Багатовимірний фільтр Калмана в дискретному часі. Властивості фільтра Калмана. Використання фільтру Калмана для оцінювання параметрів руху цілей. Оптимальне комплексування вимірювачів. Багатовимірний фільтр Калмана в неперервному часі.	3
15	Лабораторна робота 7. Дослідження характеристик фільтру Калмана в дискретному часі.	5
16	Підготовка до модульної контрольної роботи	4
17	Підготовка до екзамену	30
	Всього	85

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Рекомендовані методи навчання: вивчення основної та допоміжної літератури за тематикою лекцій, виконання лабораторних робіт. Студенту рекомендується вести докладний конспект лекцій. Важливим аспектом якісного засвоєння матеріалу, відпрацювання методів та алгоритмів вирішення основних завдань дисципліни є самостійна робота. Вона містить читання літератури, огляд літератури за темою, підготовку до занять, контрольних заходів, заліку та іспиту. Метою

лабораторних робіт є: поглиблення і закріплення теоретичних знань, набуття навиків моделювання з використанням обчислювальної техніки, набуття навиків оцінки достовірності отриманих результатів та оформлення документів. Програмне забезпечення реалізоване в обчислювальному середовищі для наукових і інженерних розрахунків Matlab.

Правила відвідування занять. Відвідування лекцій, лабораторних занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрових контрольних заходів. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за своєчасність виконання студентами лабораторних робіт, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички.

На лекції заборонено відволікати викладача від викладання матеріалу, усі питання, уточнення та ін. студенти задають в кінці лекції у відведений для цього час.

Призначення заохочувальних та штрафних балів. Заохочувальні бали виставляються за: участь у конкурсах робіт, підготовку та публікацію наукових статей і тезисів доповідей на наукових конференціях, участь в науково-дослідній роботі на тему, що відповідає темам дисципліни. Кількість заохочуваних балів не більше 10;

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>.

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>.

Навчання іноземною мовою Навчальна дисципліна «Технології оптимального оброблення сигналів» передбачає її вивчення на українській мові. У процесі викладання навчальної дисципліни використовуються матеріали та джерела українською та англійською мовами.

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

Види контролю

Поточний контроль: здійснюється шляхом опитування на лабораторних заняттях та при виконанні МКР.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: екзамен.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання.

1. Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується виходячи із 100-бальної шкали, з них 60 балів складає стартова шкала. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:

- виконання і захист лабораторних робіт;
- виконання модульної контрольної роботи (МКР);

2. Критерії нарахування балів.

2.1. Студент не допускається до захисту, якщо звіт не оформлений відповідно до вимог. При захисті за кожну лабораторну роботу нараховуються бали:

- «відмінно» – повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 7 балів;
- «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) або повна відповідь з незначними неточностями – 5 балів;
- «задовільно» – неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 3 бали;
- «незадовільно» – відповідь не відповідає вимогам до «задовільно» – 0 балів.

2.2. Модульна контрольна робота оцінюється із 11 балів:

- «відмінно» – правильно і повністю виконані всі завдання (не менше 90% потрібної інформації) – 10-11 балів;
- «добре» – частково виконані завдання (не менше 75% потрібної інформації) – 7-9 балів;
- «задовільно» – завдання контрольної роботи виконані із помилками (не менше 60% потрібної інформації) – 4-6 балів;
- «незадовільно» – завдання не виконані або містять грубі помилки, МКР не зараховано – 0 балів.

Примітка: При дистанційному навчанні модульний контроль замінюється тестом: 22 – питання, правильна відповідь на кожне питання – 0.5 бала.

3. Календарна проміжна атестація студентів проводиться за значенням поточного рейтингу студента на час атестації. Якщо значення цього рейтингу не менше 50 % від максимально можливого на час атестації, студент вважається атестованим. Умовою позитивної першої атестації є отримання не менше 8 балів. Умовою позитивної другої атестації – отримання не менше 22 балів.

4. Умовою допуску до екзамену є стартовий рейтинг не менше 30 балів.

5. На екзамені студенти письмово відповідають на питання білету. Кожен білет містить чотири запитання (завдання). Кожне запитання (завдання) оцінюється у 10 балів за такими критеріями:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 9-10 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 7-8 балів;
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 6 балів;
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

6. Сума стартових балів та балів на екзамені переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- положення про рейтингову систему оцінки успішності доводиться на першому занятті з дисципліни;
- попередня рейтингова оцінка R з кредитного модуля (дисципліни) доводиться до студентів на останньому занятті;
- календарна атестація студентів з дисципліни проводиться викладачами за значенням поточного рейтингу студента на час атестації t . Якщо значення цього рейтингу не менше 50% від максимально можливого (R_t) на час атестації $RD_t \geq 0,5R$, студент вважається задовільно атестованим. В іншому випадку – в атестаційній відомості виставляється «не зараховано».

Опис матеріально-технічного та інформаційного забезпечення дисципліни

Технічне забезпечення практичних занять передбачає використання персональних ЕОМ з операційною системою „Windows”. Програмне забезпечення реалізоване в обчислювальному середовищі для наукових і інженерних розрахунків Matlab.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено завідувач кафедри РТС, д.т.н., проф. Жук Сергій Якович

Ухвалено кафедрою РТС (протокол № 06/25 від 26.06.2025 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 06/2025 від 26.06.2025 р.)