



РАДІОЛОКАЦІЙНІ СИСТЕМИ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус RE-14882)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Галузь знань	17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність	172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітня програма	Радіотехнічні комп'ютеризовані системи
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Заочна
Рік підготовки, семестр	4 курс, осінній семестри
Обсяг дисципліни	4/120 (4 годин – лекції, 4 годин – лабораторні зняття, 122 годин – СРС)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен/модульна контрольна робота, розрахунково -графічна робота
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доц. Чмельов Вчеслав Орійович, viacheslavchmelov@gmail.com , Лабораторні роботи: : к.т.н., доц. Чмельов Вчеслав Орійович, : к.т.н., доц. Катін Паво Юрійович.
Розміщення курсу	https:// Курс: Радіолокаційні системи (kpi.ua)

Програма навчальної дисципліни

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

Опис навчальної дисципліни. Опанування навчального матеріалу дисципліни дає студенту можливість вивчити теоретичні основи роботи радіолокаційних систем (РЛС), принципи їх побудови та особливості їх застосування, у відповідності до різноманітних задач, щодо моніторингу повітряного, космічного, надводного простору. Досліджуються підходи до виявлення та супроводження рухомих об'єктів з різними параметрами та динамікою їх руху в складних умовах, коли активно діють пасивні та активні завади для ефективної роботи РЛС. Вивчаються різні науково-технічні рішення щодо підвищення ефективності РЛС, проводиться її порівняльний аналіз, та визначається їх переваги і недоліки в залежності від вибраної конфігурації РЛС.

Мета навчальної дисципліни. Навчити студентів, за заданими тактико-технічними характеристиками, визначати основні параметри сучасних і ефективні РЛС, розробляти її структурну схему, та алгоритми оброблення радіолокаційних сигналів .

Предмет вивчення: основи теорії роботи РЛС, принципи побудови РЛС, її структуру: методи боротьби з активними та пасивними завадами, оцінка ефективності прийнятих технічних рішень.

Компетентності, які будуть набуті:

(ЗК 4). Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності

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

(ФК 15). Здатність проводити розрахунки у процесі проектування споруд і засобів інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем, відповідно до технічного завдання з використанням як стандартних, так і самостійно створених методів, прийомів і програмних засобів автоматизації проектування

(ФК 21). Здатність здійснювати розробку сучасних радіотехнічних комп'ютеризованих систем, визначати їх технічні характеристики і параметри та застосовувати сучасні технології добування, передачі, прийому та відображення інформації.

Програмні результати навчання, що будуть отримані:

ПРН 04. Пояснювати результати, отримані в результаті проведення вимірювань, в термінах їх значущості та пов'язувати їх з відповідною теорією.

ПРН 17. Розуміння та дотримання вітчизняних і міжнародних нормативних документів з питань розроблення, впровадження та технічної експлуатації інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних і радіотехнічних систем.

ПРН 26. 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 27. Визначати основні параметри, особливості та розробляти основні вузли і підсистеми трансиверів і антен для сучасних радіолокаційних і радіонавігаційних систем добування інформації.

ПРН 28. Розробляти сучасні радіолокаційні і радіонавігаційні системи та системи передачі даних і цифрових телевізійних сигналів.

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

Пререквізити: навчальна дисципліна базується на знаннях з таких дисциплін:

Технології оптимального оброблення сигналів, Конструкції антенн радіолокаційних і радіонавігаційних систем, Трансивери сучасних радіотехнічних систем.

Постреквізити: Дисципліна є основою для: Розробки та виготовлення радіотехнічних комп'ютеризованих систем, Обробка цифрових сигналів на ПЛІС в радіотехнічних системах, Виконання дипломного проекту, та атестації здобувача вищої освіти.

3. Зміст навчальної дисципліни

Навчальний модуль № 1. Основи теорії радіолокаційних систем.

Тема 1. . Загальна засади теорії побудови РЛС. Класифікація. Діапазони частот. Дальність дії РЛС.

Тема 2. Аналіз факторів, що впливають на ефективність роботи РЛС

Тема 3. Основи теорії виявлення сигналів. Статистичні критерії виявлення сигналів.

Тема 4. Принцип невизначеності в радіолокації.

Тема 5. Розділення сигналів. Складні сигнали. Сумісне розділення сигналів за часом запізнення та частотою.

Тема 6. ЛЧМ та складні сигнали з бінарною фазовою маніпуляцією

Тема 7. Оптимальна фільтрація. Кореляційний прийом. Характеристики виявлення.

Тема 8. Основи теорії вимірювання параметрів сигналів

Навчальний модуль № 2. Радіолокаційні системи.

Тема 9. Методи огляду простору, мінімальний та відносний період огляду.

Тема 10. Методи вимірювання кутових координат.

Тема 11. . Фазовий, амплітудний, амплітудно-фазовий методи вимірювання кутових координат.

Тема 12. Методи вимірювання дальності

Тема 13. Автомобільний радар з ЛЧМ-сигналом

Тема 14. . Вимірювання швидкості цілі

Тема 15. Пасивна радіолокація. Дальність дії радіометрів. Модуляційна, кореляційна та компенсаційна схеми радіометрів

Тема 16. Боротьба з активними завадами роботі РЛС.

Тема 17. Системи селекції рухомих цілей та боротьби з пасивними перешкодами.

Тема 18. Підходи та шляхи розвитку радіолокаційних систем.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Література базова:

1. Теорія радіолокаційних систем (видання друге): підручник/ Б.Ф. Бондаренко, В.В. Вишнівський, В.П. Долгушин та іню; за заг.ред. С.В. Ленкова. – К. Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2011.- 383с.

2. Методи безпечної обробки інформації у багатопозиційних системах радіолокації монографія / Ігор Пархомей, Валерій Козловський, Сергій Гнатюк, Мирослав Рябий ; Національний авіаційний університет., Київ : Центр учбової літератури, 2018. - 230 с.

3. Теорія радіолокаційних та радіонавігаційних систем : навч. посіб. для студ. внз за напрямком "Радіотехніка" / Я. І. Лепіх ; Одеська нац. морська акад. Одеса : Екологія, 2008. -224 с.

4. Оптимізація проектування радіотехнічних систем [Текст]: метод. вказівки до лаборатор. робіт з дисципліни «Оптимізація проектування радіотехнічних систем»

для студ. радіотехнічного ф-ту / Уклад.: С.Я. Жук, С.В. Вишневий - К.: НТУУ "КПІ", 2012. – 62с.

Література додаткова:

5. Реутська, Ю. Ю. Моделювання радіолокаційного сигналу на основі аналізу роботи імпульсно-доплерівського радару в заводській обстановці / Реутська Ю. Ю. // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи»: матеріали конференції, 10-16 березня 2014 р., м. Київ / НТУУ «КПІ», РТФ. – Київ: НТУУ «КПІ», 2014. – С. 177-179.

6. Чесановський І. І. Підвищення заводостійкості обробки сигналів в некогерентних радіолокаційних системах / Чесановський І. І., Іванов А. В., Гурман І. В. // Вісник НТУУ «КПІ». Радіотехніка, радіоапаратобудування: збірник наукових праць. – 2013. – № 54. – С. 68–74. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/7174>

7. Прокопенко І.Г. Статистична обробка сигналів: навч. посіб. МОНУ/ І.Г. Прокопенко. — К.: НАУ, 2011. — 220 с

8. Методи та засоби обробки сигналів. Навчальний посібник./ Г. Д. Братченко, Б. В. Перелигін, О. В. Банзак, Н. Ф. Казакова, Д. В. Григор'єв — Одеса: Типографія-видавництво «Плутон», 2014. — 452 с

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

Навчальний модуль № 1. Основи теорії радіолокаційних систем.

Тема 1. Лекція. Предмет і зміст дисципліни. Загальна засади теорії побудови РЛС. Класифікація. Діапазони частот. Дальність дії РЛС.

Література: [1,2,]

Завдання для СРС. Загальна характеристика РЛС.. Стандарт діапазонів частот.

Тема 7. Оптимальна фільтрація. Кореляційний прийом. Характеристики виявлення. Типи оптимальних фільтрів. Переваги та недоліки кореляційного прийому.

Література: [2,4,7]

Завдання для СРС. Розділення сигналів. Складні сигнали. Сумісне розділення сигналів за часом запізнення та частотою.

Навчальний модуль № 2. Радіолокаційні системи.

Тема 10. Методи вимірювання кутових координат. Теоретичні підходи. Завдання і параметри вимірювання кутових координат.

Література: [1,5]

Завдання для СРС. Потенційна точність вимірювання.

Тема 13. Автомобільний радар з ЧМНПВ-сигналом. Принцип побудови. Особливості роботи. Характеристики і параметри.

Література: [6,7,]

Завдання для СРС. Частотний метод вимірювання по дальності.

Лабораторні заняття

Лабораторна робота 5. Дослідження амплітудних методів пеленгації джерел електромагнітного випромінювання.

Лабораторна робота 7. Вивчення роботи пасивних радіолокаційних систем на моделі радіометра радіотеплового випромінювання.

6. Самостійна робота студента

№	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
	Загальна характеристика РЛС. Класифікація. Діапазони частот.	2
	Основні показники якості РЛС.	2
	Тема 2. Аналіз факторів, що впливають на ефективність роботи РЛС. Втрати в енергії сигналу в середовищі. Вплив поверхні та кривизни Землі. Явище рифракції.	3
	Лабораторна робота 1. Вивчення принципів роботи радіолокаційних систем в середовищі Матлаб	1
	Характеристики цілей. Ефективна площа розсіювання цілей. Дальність дії РЛС.	2
	Тема 3. Основи теорії виявлення сигналів. Статистичні критерії виявлення сигналів. Статистичні характеристики сигналу. Формула Байеса. Багатовимірні випадкові величини.	2
	Моделі сигналів і завад.	4
	Статистичні критерії виявлення сигналів. Алгоритм виявлення.	2
	Оптимальна фільтрація. Кореляційний прийом. Характеристики виявлення.	4
	Тема 4. Принцип невизначеності в радіолокації. Одночасне вимірювання відстані та швидкості. Функція невизначеності. Перетин функції невизначеності.	2
	Тема 5. Розділення сигналів. Складні сигнали. Сумісне	2

	розділення сигналів за часом запізнення та частотою.	
	Тема 6. ЛЧМ та складні сигнали з бінарною фазовою маніпуляцією. Різновиди ЛЧМ сигналу. Принципи ФМ. Особливості автокореляційної функції складних сигналів.	2
	Тема 8.. Основи теорії вимірювання параметрів сигналів. Критерії оптимальності вимірювання. Залежність точності вимірювання від параметрів РЛС.	1
	Лабораторна робота 3. Моделювання роботи оптимального фільтру для обробки ЛЧМ радіолокаційного сигналу в середовищі МАТЛАБ	1
	Лабораторна робота 4. Моделювання роботи оптимального фільтру для обробки КФМ радіолокаційного сигналу в середовищі МАТЛАБ	1
	Тема 12. Методи вимірювання дальності. Принцип вимірювання дальності. Різновиди методів.	1
	Розділення сигналів. Складні сигнали. Сумісне розділення сигналів за часом запізнення та частотою.	4
	Тема 14. . Вимірювання швидкості цілі. Ефект Доплера. Структура вимірювача швидкості.	2
	Принцип невизначеності в радіолокації. ЛЧМ та фазоманіпульовані сигнали.	2
	Тема 9. Методи огляду простору. Параметри ефективності огляду простору. Вплив антенної системи на ефективність огляду простору.	4
	Основи теорії вимірювання параметрів сигналів РЛС.	2
	Тема 11. . Фазовий, амплітудний, амплітудно-фазовий методи вимірювання кутових координат. Порівняльний аналіз методів. Точності характеристики кожного методу.	2
	Лабораторна робота 6. Дослідження фазових методів пеленгації активними радіолокаційними системами в середовищі Матлаб.	1
	Потенційна точність вимірювання.	1
	Тема 15. Пасивна радіолокація. Дальність дії радіометрів. Модуляційна, кореляційна та компенсаційна схеми радіометрів. Закони випромінювання нагрітого тіла. Призначення радіометрів.	2
	Імпульсний метод вимірювання дальності	1
	Тема 16. Боротьба з активними завадами роботі РЛС. Види завад. Методи боротьби. Принципи побудови систем боротьби с завадами.	1
	Фазовий метод вимірювання дальності.	1
	Частотний метод вимірювання по дальності.	2
	Тема 17. Системи селекції рухомих цілей та боротьби з пасивними	2

	перешкодами. Види пасивних завад. Фільтр відбілювання. Різновиди системи СРЦ	
	Методи огляду простору, мінімальний та відносний період огляду.	2
	Тема 18. Підходи та шляхи розвитку радіолокаційних систем. РЛС виявлення БПЛА. Підходи до побудови РЛС надвисоких частот. Цифрові РЛС.	2
	Методи вимірювання кутових координат.	2
	Фазовий, амплітудний, амплітудно-фазовий методи вимірювання кутових координат.	2
	Лабораторна робота 8. Аналіз роботи автомобільної радіолокаційної системи з ЧМНВ-сигналом в середовищі Матлаб	1
	Вимірювання швидкості цілі.	1
	Пасивна радіолокація. Дальність дії радіометрів. Модуляційна, кореляційна та компенсаційна схеми радіометрів.	1
	Лабораторна робота 9. Дослідження роботи радіо-вимірювача швидкості рухомих об'єктів. Допплерівська радіолокаційна система. В середовищі Матлаб.	1
	Підготовка звіту з лабораторної роботи	9
	Виконання Розрахунково-графічної роботи	6
	Підготовка до модульної контрольної роботи	3
	Підготовка до екзамену	30
	Всього	122

Індивідуальне завдання

В дисципліні передбачено виконання **розрахунково-графічної роботи** «Розрахунок характеристик радіолокаційної системи».

Метою РГР є набуття практичних навичок з розробки РЛС на основі набутих знань студента.

Завданням РГР є розробка основних параметрів РЛС на основі тактико-технічного завдання.

Розрахункова робота складається з трьох пунктів:

1. Розрахувати основні параметри РЛС та побудувати структурну схему.
2. Розрахувати та побудувати оптимального фільтра (залежність ймовірності правильного виявлення $P_{ПВ}$ від співвідношення $2E/N_0$ при ймовірності хибної тривоги $P_{ХТ} = \text{const}$).
3. Розрахувати рівень потрібної потужності імпульсної РЛС, якщо задані всі складові основного рівняння радіолокації.

Варіанти завдання РГР та конкретне значення складових задається викладачем.

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, Mathcad.

Правила відвідування занять. Відвідування лекцій, лабораторних занять оцінюється. 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. задають в кінці лекції у відведений для цього час.

Призначення заохочувальних та штрафних балів. Заохочувальні бали виставляються за: активну участь на лекціях та лабораторних заняттях, 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;**

Штрафні бали можуть виставлятися за: невиконання або невчасне виконання завдань. **Кількість штрафних 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 передбачає її вивчення на українській мові. У процесі викладання навчальної дисципліни використовуються матеріали та джерела англійською мовою.

Студенти мають можливість отримати знання з окремих тем та розділів навчальної дисципліни на навчальних курсах платформи Coursera (<https://www.coursera.org>), Prometheus (<https://prometheus.org.ua>) та ін., у якості **змішаного чи додаткового навчання** згідно Положення про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, **набутих у неформальній/інформальній освіті** (<https://osvita.kpi.ua/node/179>).

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.

8.1. 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.

8.2 Рейтингова система оцінювання результатів навчання.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Стовідсоткове відвідування 18 лекцій – **$18 \times 0.5 = 9$ балів**
2. Виконання РГР – **10 балів**
3. В семестрі виконуються 9 лабораторних робіт. Сума балів за виконання та захист звіту з лабораторної роботи – **5 балів**.
Виконання та захист лабораторних робіт – **$9 \times 5 = 45$ балів**.
4. Модульний контроль МКР – **3 бали**. Сума балів за два МКР – **$2 \times 3 = 6$ балів**
5. Складання екзамену – **30 балів**.

Модульний контроль (МКР) має 2 питання.

За кожне питання окремо вираховуються бали.

В результаті оцінка за МКР:

- повна відповідь - **3 бали**
- повна відповідь з неістотними помилками - **2,5 бала**
- повна відповідь з істотними помилками - **2,0 бали**

- неповна відповідь - 1 бал,
- зміст відповідь не відноситься до суті питання, або відсутня відповідь на питання МКР - 0 балів,

Звіт з виконання лабораторної роботи.

Студент не допускається до захисту, якщо звіт не оформлений відповідно до вимог.

В результаті захисту звіту:

- повна відповідь - **5 балів**
- повна відповідь з неістотними помилками - 4 бала
- повна відповідь з істотними помилками - 3,0 бали
- неповна відповідь - 2 бал,
- зміст відповідь не відноситься до суті лабораторної роботи, або результати дослідження, під час виконання лабораторної роботи, не отримані - 0 балів.

Звіт з виконання Розрахунково-графічної роботи.

Студент не допускається до захисту, якщо звіт не оформлений відповідно до вимог.

В результаті захисту звіту:

- повністю виконана робота - **9-10 балів**
- повністю виконана робота з неістотними помилками - 7-8 бала
- повністю виконана робота з істотними помилками - 5-6 бали
- неповністю виконана робота - 3-4 бал,
- зміст роботи не відноситься до поставленого завдання, або результати розрахунків не відповідають теорії - 0 балів.

Відповідь на екзамені (R_E).

На екзамені студенти дають відповіді запитання білета.

Система оцінювання відповіді на питання:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 25-30 балів;
- «дуже добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 20- 25 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 15-20 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 10-15 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь – 0-10 бали, **екзамен вважається не зданий.**

Сума максимально можливих балів контрольних заходів (позиції 1-4) протягом семестру (R_C) складає:

$$R_C = 9 + 10 + 45 + 6 = 70 \text{ балів}$$

Умовою допуску до екзамену є сума не менша 50 балів.

1. Студентам, які мають R_C менше 50 балів, до складання іспиту не допускаються.
2. В період після сесії в терміни, які визначені деканатом, студентам надається можливість підвищити рейтинг та скласти екзамен.
3. Студенти, які набрали 65-70 балів, за згодою студента, не складають екзамен і можуть отримати оцінки «Дуже добре» і «Добре».
4. Студенти, які за рейтинговим оцінюванням набрали менше 65 балів (та студенти, які мають 65-70 балів, і за власним бажанням) складають екзамен, і можуть отримати на екзамені від 0 до 30 балів, та відповідні оцінки.

Рейтингова оцінка з дисципліни R_D формується як сума балів поточної успішності навчання (тобто оцінка за семестр) та екзаменаційних балів. R_D розраховується за 100 бальною шкалою, як $R_D = R_C + R_E$.

Сума балів (R_D) переводиться до оцінки згідно з таблицею:

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
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)

- положення про рейтингову систему оцінки успішності доводиться на першому занятті з дисципліни;
- попередня рейтингова оцінка $R_D = R_C$ з дисципліни доводиться до студентів на останньому занятті;
- Дистанційний курс навчальної дисципліни - [Курс: Радіолокаційні системи \(kri.ua\)](http://kri.ua)

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри РТС к.т.н., доцентом Чмельовим Вячеславом Орійовичем

Ухвалено кафедрою РТС (протокол № 06/22 від 14.06.2022 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету¹ (протокол № 06/2022 від 29.06.2022 р.)

¹ Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.