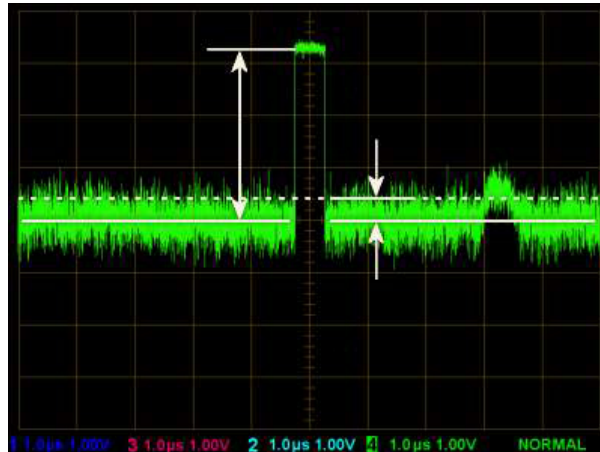




## [RE-14] СТАТИСТИЧНА РАДІОТЕХНІКА



### 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	172Б РОС - Радіозв'язок і оброблення сигналів (ЄДЕБО id: 6364)172Б PCI - Радіосистемна інженерія (ЄДЕБО id: 7350)172Б ІКР - Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія (ЄДЕБО id: 49228)172Б ІКР+ - Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія (ЄДЕБО id: 57910)
Статус дисципліни	Нормативна
Форма здобуття вищої освіти	Очна
Рік підготовки, семестр	3 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кред. (Лекц. 18 год, Практик. 18 год, Лаб. 18 год, СРС. 66 год )
Семестровий контроль/контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	<a href="https://rozklad.kpi.ua">https://rozklad.kpi.ua</a>
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лекц.: <a href="#">Літвінцев С. М.</a> , Практ.: <a href="#">Літвінцев С. М.</a> , Лаб.: <a href="#">Літвінцев С. М.</a> , СРС.: <a href="#">Літвінцев С. М.</a>
Розміщення курсу	<a href="https://do.ipu.kpi.ua/course/view.php?id=2529">https://do.ipu.kpi.ua/course/view.php?id=2529</a>

#### Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна "Статистична радіотехніка" є однією з базових дисциплін, які необхідно знати будь-якому радіоінженеру. Цей предмет є базою, на якій будуються усі наступні знання і вміння, необхідні при роботі з випадковими сигналами та результатами будь-яких вимірювань.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

1) *Знання*: випадкова подія, випадкова величина, інтегральна функція розподілу, щільність імовірності, моменти, математичне сподівання, дисперсія, випадковий процес, моментні функції, характеристична функція, коваріаційна та кореляційна функції, спектральна густина потужності, білий шум, гаусовський нормальний процес, внутрішні шуми, оптимальна фільтрація.

2) *Уміння*: виконувати статистичну обробку результатів вимірювань, визначати параметри випадкового процесу, проводити кореляційний аналіз сигналів і спектральний аналіз випадкових сигналів, враховувати дію різних внутрішніх шумів на корисний сигнал, вміти визначати випадковий сигнал на виході лінійних та нелінійних кіл, а також створювати оптимальний фільтр при наявності шуму різного характеру.

3) *Досвід*: вільно використовувати статистичний апарат для обробки результатів вимірювання та теорію статистичної обробки при обрахуванні випадкових сигналів на фоні різноманітних шумів.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі програмні компетентності та результати навчання за освітньою програмою (див. на сайті <https://osvita.kpi.ua/op>):

### **Загальні компетентності**

ЗК-2 – Здатність застосовувати знання у випадку обробки результатів або випадкових сигналів.

ЗК-4 – Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

### **Спеціальні (фахові, предметні) компетентності**

ПК-3 – Здатність використовувати базові методи, способи та засоби отримання, передавання, обробки та зберігання інформації у випадку, коли використовуються випадкові сигнали.

ПК-4 – Здатність здійснювати комп'ютерне моделювання пристроїв, систем і процесів з використанням універсальних пакетів прикладних програм.

ПК-6 – Здатність проводити інструментальні вимірювання в інформаційно-телекомунікаційних мережах, телекомунікаційних та радіотехнічних системах.

ПК-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.

### **Результати навчання**

- аналізувати, аргументувати, приймати рішення при розв'язанні спеціалізованих задач та практичних проблем статистичної радіотехніки, які характеризуються комплексністю та неповною визначеністю умов;
- пояснювати результати, отримані в результаті проведення радіотехнічних вимірювань, в термінах їх значущості, та пов'язувати їх зі статистичною теорією;

- грамотно застосовувати термінологію галузі статистичної радіотехніки;
- описувати принципи та процедури, що використовуються в телекомунікаційних системах, інформаційно-телекомунікаційних мережах та радіотехніці;
- аналізувати та виконувати оцінку ефективності методів проектування інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем, враховуючи випадковість процесів;
- застосування фундаментальних і прикладних наук для аналізу та розробки випадкових процесів, що відбуваються в телекомунікаційних та радіотехнічних системах;
- застосування розуміння засобів автоматизації проектування і технічної експлуатації систем телекомунікацій та радіотехніки у професійній діяльності;
- застосування розуміння основ метрології та стандартизації у галузі телекомунікацій та радіотехніки у професійній діяльності;
- знаходити, оцінювати і використовувати інформацію з різних джерел, необхідну для розв'язання професійних завдань, включаючи відтворення інформації через електронний пошук;
- пояснювати принципи побудови й функціонування апаратно-програмних комплексів систем керування та технічного обслуговування для розробки, аналізу і експлуатації інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем.

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

Для оволодіння цією дисципліною необхідні знання з наступних дисциплін: вища математика, основи теорії кіл, основи теорії комунікацій та радіотехніки, процеси в лінійних електронних колах, методи теорії ймовірностей в радіотехніці.

Знання, отримані за цією дисципліною, забезпечать оволодіння наступними дисциплінами: цифрове оброблення сигналів, радіоприймальні пристрої, основи теорії радіолокаційних систем, електромагнітна сумісність радіоелектронних систем, основи технічної діагностики.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Розділ 1.** Випадкові подія та величина

Тема 1.1. PCO

Тема 1.2. Випадкова подія

Тема 1.3. Термінологія

Тема 1.4. Чотири теореми імовірності

Тема 1.5. Випадкова величина

Тема 1.6. Інтегральна функція розподілу

Тема 1.7. Щільність імовірності

Тема 1.8. Моменти, математичне сподівання та дисперсія

### **Розділ 2.** Випадковий процес та його параметри

Тема 2.1. Випадковий процес

Тема 2.2. Функція розподілу одновимірна

Тема 2.3. Щільність імовірності одновимірна

Тема 2.4. Моментні функції та їх властивості

Тема 2.5. Характеристична функція та її властивості

### **Розділ 3.** Багатовимірність, кореляція, ергодичність

Тема 3.1. Щільність імовірності двовимірна та багатовимірна

Тема 3.2. Поняття кореляції

Тема 3.3. Стаціонарність

Тема 3.4. Ергодичність

Тема 3.5. Фізичний сенс моментів ергодичних випадкових процесів

### **Модульна контрольна робота з розділів 1-3**

### **Розділ 4.** Кореляційний аналіз

Тема 4.1. АКФ детермінованого сигналу

Тема 4.2. ВКФ детермінованого сигналу

Тема 4.3. Взаємний енергетичний спектр сигналів

Тема 4.4. Коваріаційна та кореляційна функції

Тема 4.5. ВКФ випадкових процесів

Тема 4.6. Коефіцієнт кореляції

Тема 4.7. Інтервал кореляції

Тема 4.8. Енергетичний спектр

Тема 4.9. Спектральна густина потужності

Тема 4.10. Ефективна ширина спектру

### **Розділ 5.** Спектральний аналіз

Тема 5.1. Формули Вінера-Хінчина

Тема 5.2. Білий шум

Тема 5.3. Експериментальне визначення статистичних характеристик  $m_1$ ,  $m_2$ , дисперсії

Тема 5.4. Характеристики гармонійної напруги з випадковою фазою

Тема 5.5. Експериментальне визначення статистичних характеристик  $W$

Тема 5.6. ВКФ сигналів

Тема 5.7. Взаємний енергетичний спектр сигналів та його властивості

Тема 5.8. Кореляційний приймач

Тема 5.9. Когерентний приймач

### **Розділ 6.** Гаусовський процес і внутрішні шуми

Тема 6.1. Гаусовський нормальний процес та його властивості

Тема 6.2. Тепловий шум

Тема 6.3. Теорема Найквіста

Тема 6.4. Узагальнена теорема Найквіста

Тема 6.5. Тепловий шум коливального кола

Тема 6.6. Дробовий шум

Тема 6.7. Фліккер-шум

Тема 6.8. Методи еквівалентного представлення шумів

### **Модульна контрольна робота з розділів 4-6**

#### **Розділ 7.** Випадкові сигнали і лінійні кола

Тема 7.1. Проходження випадкових сигналів через лінійні кола. Ефект нормалізації

Тема 7.2. Властивість стійкості нормального закону

Тема 7.3. Центральна гранична теорема Ляпунова

Тема 7.4. Спектрально-кореляційні характеристики випадкового сигналу на виході лінійного кола

Тема 7.5. Спектральний метод

Тема 7.6. Часовий метод

Тема 7.7. Диференціювання випадкового сигналу

Тема 7.8. Інтегрування випадкового сигналу

#### **Розділ 8.** Випадкові сигнали і нелінійні кола

Тема 8.1. Що таке нелінійний безінерційний перетворювач (НБП)

Тема 8.2. Одновимірний  $W$  на виході НБП

Тема 8.3. Лінійний детектор як приклад

Тема 8.4. Моменти і характеристична функція на виході НБП

Тема 8.5. Двовимірний  $W$  на виході НБП

Тема 8.6. Спектрально-кореляційні характеристики випадкового сигналу на виході НБП

Тема 8.7. Прямий метод визначення АКФ

Тема 8.8. Метод характеристичних функцій (метод Райса)

Тема 8.9. Метод похідних (метод Прайса)

#### **Розділ 9.** Оптимальна фільтрація

Тема 9.1. Амплітудне детектування гаусівського вузькосмугового шуму

Тема 9.2. Лінійний детектор

Тема 9.3. Квадратичний детектор

Тема 9.4. Частотний детектор

Тема 9.5. Оптимальна фільтрація

Тема 9.6. Оптимальний фільтр на фоні білого шуму

Тема 9.7. Оптимальний фільтр на фоні небілого шуму

## РР з модулю

### Залік

## 4. Навчальні матеріали та ресурси

### Базова рекомендована література

1. Васильєв В.М. Теорія ймовірностей в радіотехніці: підручник / В. М. Васильєв, С. Я. Жук. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2022. – 368 с.
2. Бабак В.П. Теорія ймовірностей, випадкові процеси та математична статистика: підруч. / В.П. Бабак, Б.Г. Марченко, М.Є. Фриз. – К.: Техніка, 2004. – 288 с.
3. Жильцов О.Б. Теорія ймовірностей та математична статистика у прикладах і задачах: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / О.Б. Жильцов; за ред. Г.О. Михаліна. — К. : Київ. ун-т ім. Б. Грінченка, 2015. — 336 с.
4. Сигналы и процессы в радиотехнике. Ч. 4. Статистическая радиотехника. Конспект лекций / Сост. А. С. Макаренко, С. Н. Литвинцев. — К. : НТУУ «КПИ», 2012. — 104 с.
5. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Радіотехнічні кола і сигнали" для студентів спеціальності "Радіотехніка". Частина III // Укл. Ф.Д. Любич, Ю.Г. Кулешов, О.С. Макаренко. — К.: КПІ, 1993. — 36 с.

### Допоміжна рекомендована література

1. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы / И. С. Гоноровский. — М. : Сов. радио, 1977, 1986.— 512 с.
2. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы / С. И. Баскаков. — М. : Высшая школа, 1983. — 536 с.
3. Филипский Ю. К. Случайные сигналы в радиотехнике / Ю. К. Филипский. — К. : Вища школа, 1986. — 126 с.
4. Горяинов В. Т. Статистическая радиотехника: Примеры и задачи / В. Т. Горяинов, А. Г. Журавлев, В. И. Тихонов ; под ред. В. И. Тихонова. — М. : Сов. радио, 1980. — 544 с.
5. Тихонов В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем / В. И. Тихонов, В. Н. Харисов. — М. : Радио и связь, 1991. — 608с.
6. Заездный А.М. Основы расчетов по статистической радиотехнике / А. М. Заездный. — М. : Связь, 1969. — 447 с.

## Навчальний контент

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

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	РСО, випадкова подія, термінологія, чотири теореми ймовірності, випадкова величина, інтегральна функція розподілу, щільність ймовірності
2	Випадковий процес, функція розподілу одновимірна, щільність ймовірності одновимірна, моментні функції та їх властивості, характеристична функція та її властивості

3	Багатовимірність, кореляція, ергодичність, щільність імовірності двовимірна та багатовимірна, поняття кореляції, стаціонарність, ергодичність, фізичний сенс моментів ергодичних випадкових процесів
4	АКФ детермінованого сигналу, ВКФ детермінованого сигналу, взаємний енергетичний спектр сигналів, коваріаційна та кореляційна функції, ВКФ випадкових процесів, коефіцієнт кореляції, інтервал кореляції, енергетичний спектр, спектральна густина потужності, ефективна ширина спектру
5	Формули Вінера-Хінчина, білий шум, експериментальне визначення статистичних характеристик $m_1$ , $m_2$ , дисперсії, характеристики гармонійної напруги з випадковою фазою, експериментальне визначення статистичних характеристик $W$ , ВКФ сигналів, взаємний енергетичний спектр сигналів та його властивості, кореляційний приймач, когерентний приймач
6	Гаусовський нормальний процес та його властивості, тепловий шум, теорема Найквіста, узагальнена теорема Найквіста, тепловий шум коливального кола, дробовий шум, флікер-шум, методи еквівалентного представлення шумів
7	Проходження випадкових сигналів через лінійні кола, ефект нормалізації, властивість стійкості нормального закону, центральна гранична теорема Ляпунова, спектрально-кореляційні характеристики випадкового сигналу на виході лінійного кола, спектральний метод, часовий метод, диференціювання випадкового сигналу, інтегрування випадкового сигналу
8	Що таке нелінійний безінерційний перетворювач (НБП), одновимірна $W$ на виході НБП, лінійний детектор як приклад, моменти і характеристична функція на виході НБП, двовимірна $W$ на виході НБП, спектрально-кореляційні характеристики випадкового сигналу на виході НБП, прямиий метод визначення АКФ, метод характеристичних функцій (метод Райса), метод похідних (метод Прайса)
9	Амплітудне детектування гаусівського вузькосмугового шуму, лінійний детектор, квадратичний детектор, частотний детектор, оптимальна фільтрація, оптимальний фільтр на фоні білого шуму, оптимальний фільтр на фоні небілого шуму

#### Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	Основні поняття та теореми теорії імовірностей
2	Випадковий процес та його статистичні характеристики
3	Кореляційний та спектральний аналіз сигналів
4	МКР-1. Кореляційні функції та енергетичні спектри. Час кореляції. Ефективна ширина спектра
5	Проходження випадкових сигналів через лінійні кола
6	МКР-2. Шуми
7	Проходження випадкових сигналів через безінерційні нелінійні кола
8	Оптимальний фільтр
9	Екзамен/Залік

#### Лабораторні заняття

№	Назва теми заняття та перелік основних питань
31	Дослідження основних характеристик випадкових процесів
32 (за бажанням)	Нормалізація випадкового процесу вузькосмуговим лінійним колом
33	Проходження сигналів і перешкод через лінійні кола
34 (за бажанням)	Проходження випадкових сигналів через нелінійні кола
35	Перешкодостійкість систем зв'язку з амплітудною модуляцією

## **6. Самостійна робота студента**

Студент повинен завчасно готуватись до лекцій та лабораторних занять. Перед лекціями необхідно повторити теоретичний матеріал, що був наданий у попередніх лекціях, або заданий наперед.

Домашні завдання до практичних та лабораторних занять необхідно виконувати до наступного заняття.

На СРС виноситься проробка деяких теоретичних питань, установка на які надається під час лекції.

## **Політика та контроль**

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

#### **Відвідування занять**

Відвідування лекційних, практичних та лабораторних занять — згідно Положенню про організацію освітнього процесу КПІ ім. Ігоря Сікорського. Мінімум раз на тиждень викладач проводить консультації з різних питань кредитного модулю. На консультаціях викладач може надавати допомогу з вивчення матеріалу занять, які були з тих чи інших причин пропущені студентами і мають опанувати їх самостійно.

У будь-якому випадку студентам рекомендується відвідувати усі види занять, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання домашніх завдань, контрольних та розрахункових робіт.

#### **Пропущені контрольні заходи**

Результат для студента, який не з'явився на контрольний захід, є нульовим. При пропуску контрольного заходу з поважної причини студенту надається можливість виконати його (написати МКР, відпрацювати лабораторну роботу) в присутності викладача. Якщо пропуск стався без поважної причини, особливо що стосується лабораторної роботи, то питання її відпрацювання вирішується з викладачем при погодженні з керівництвом кафедри. Пропущений залік не зараховується незалежно від причин пропуску; у такому випадку студент отримує запис у відомості «не з'явився», якщо має право допуску до заліку, то повинен скласти залік на додатковій сесії.

#### **Оголошення результатів контрольних заходів**

Результати виконання МКР оголошуються по результатам перевірки. При спілкуванні наживо, за бажанням студента, він може отримати пояснення, в яких можна побачити свою оцінку за певними критеріями оцінювання.

Захист виконаного розділу РР проходить у формі співбесіди з викладачем. Під час захисту студент зобов'язаний вміти пояснити отримані результати та відповісти на головні теоретичні питання за темами розділів. Результати захисту оголошуються студенту у його присутності або в дистанційній формі спілкування та супроводжуються певними коментарями та зауваженнями стосовно помилок (дистанційна форма спілкування в системі Discord, Zoom, Telegram з відео та звуком).

Результати за виконану лабораторну роботу виставляються по закінченню її виконання та захисту.

#### **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>.

### Процедура оскарження результатів контрольних заходів

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

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

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

PCO ведеться за 100-бальною шкалою, що дозволяє студенту набрати необхідні бали протягом семестру, та отримати автоматичну оцінку за даний курс (більше 60 балів), або здати диференційний залік.

№ з/п	Контрольний захід	Макс бал	Кіл-ть	Всього
1.	Відвідування лекцій	0,5	8	4
2.	Робота на практичних заняттях	1	8	8
3.	Робота на лабораторних заняттях	10	3	30
4.	Модульна контрольна робота	2	8	16
5.	Розрахункова робота	30	1	30
6.	Самостійна робота	12	1	12
7.	Екзамен/Залік (у випадку, коли не набрав 60)	40	1	40
	Всього			100

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)**

Матеріали дисципліни постійно оновлюються у зв'язку з появою нових публікацій та технічних можливостей.

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

Лабораторні роботи виконуються в спеціалізованій лабораторії 322-17. Організовано 7 робочих місць. Кожне місце облаштоване різноманітними генераторами, осцилографом, вольтметрами. Також на робочому місці створено базовий блок, який дозволяє підключати до нього шість різноманітних блоків, за допомогою яких можливо проводити дослідження випадкових сигналів. Підготовлено три шестигодинних лабораторних роботи.

---

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Складено** [Літвінцев С. М.](#);

**Ухвалено** кафедрою PI (протокол № 06/2023 від 23.06.2023 )

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