

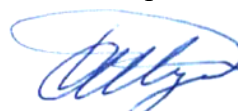
Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра квантової радіофізики

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету радіофізики,
біомедичної електроніки та
комп'ютерних систем



Сергій ШУЛЬГА

“ 24 ” червня 2024 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

«ГРАНИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ У РАДІОЕЛЕКТРОНІЦІ»

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень вищої освіти

галузь знань 10 природничі науки

(шифр і назва)

спеціальність 105 прикладна фізика та наноматеріали

(шифр і назва)

освітня програма радіофізика та електроніка

(шифр і назва)

спеціалізація _____

(шифр і назва)

вид дисципліни за вибором

(обов'язкова / за вибором)

факультет радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

2024 / 2025 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

Протокол № 6 від “ 24 ” червня 2024 року

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: доцент кафедри квантової радіофізики, к.ф.-м.н., доцент Андрій ДЕГТЯРЬОВ.

Програму схвалено на засіданні кафедри квантової радіофізики

Протокол від “ 20 ” червня 2024 року № 11

Завідувач кафедри квантової радіофізики



(підпис)

Вячеслав МАСЛОВ

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої (професійної/наукової) програми (керівником проектної групи) Радіофізика та електроніка
(назва освітньої програми)

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми
(керівник проектної групи) проф. Вячеслав МАСЛОВ



(підпис)

Вячеслав МАСЛОВ

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією
факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

Протокол від “ 24 ” червня 2024 року № 6

Голова методичної комісії факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем



(підпис)

Олександр БУТРИМ

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Граничні вимірювання у радіоелектроніці” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки
магістр
 (назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності 105 – прикладна фізика та наноматеріали
 освітня програма Радіофізика та електроніка
 спеціалізації _____

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни полягає в вивченні студентами впливу шумів на точність вимірювань струмів, напруг, зарядів та інтенсивності випромінювання; фізичної природи та характеристик шумів і методів їх аналізу.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є надання студентам необхідних знань в галузі радіовимірювань, розрахунків, побудови, принципів дії та застосування радіовимірювальних приладів та систем у процесі експлуатації радіоелектронних систем та комплексів.

Компетентності, що забезпечуються дисципліною:

- K01. Здатність до абстрактного та системного мислення, аналізу та синтезу.
- K02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- K03. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
- K04. Здатність бути критичним і самокритичним.
- K05. Здатність приймати обґрунтовані рішення.
- K06. Навички міжособистісної взаємодії.
- K07. Навички здійснення безпечної діяльності.
- K08. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.
- K09. Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків.
- K10. Прагнення до збереження навколишнього середовища.
- K11. Здатність діяти соціально відповідально та свідомо. Готовність діяти в нестандартних ситуаціях.
- K12. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.
- K13. Здатність спілкуватися іноземною мовою.
- K14. Здатність реалізувати свої права і обов'язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського (вільного демократичного) суспільства та необхідність його сталого розвитку, верховенства права, прав і свобод людини і громадянина в Україні.
- K15. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, їх місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.
- K16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної теоретичної та прикладної фізики.
- K17. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики при вивченні та дослідженні фізичних явищ і процесів.
- K18. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень.
- K19. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати числові

- методи для розв'язування фізичних задач і моделювання фізичних систем.
- K20. Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи, та керувати колективом у сфері своєї професійної діяльності.
- K21. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.
- K22. Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю.
- K23. Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних досліджень.
- K24. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів і теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики та інших природничих наук.
- K25. Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту.

1.3. Кількість кредитів – 6

1.4. Загальна кількість годин – 180

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
Обов'язкова / за вибором
Денна форма навчання Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки
1-й
Семестр
2-й
Лекції
32
Практичні, семінарські заняття
8
Лабораторні заняття
8
Самостійна робота
132 год.
Індивідуальні завдання
–
Контрольні роботи – 2

1.6. Заплановані результати навчання – студенти повинні знати: стаціонарні випадкові функції, шуми простих вимірювань, процеси випадкових функцій, спектральний аналіз флюктуючих величин, шуми приладів та підсилювачів, вимірювання граничних струмів та напруг; вміти: здійснювати вибір, розрахунки параметрів і характеристик електронних приладів з мінімальним відношенням сигнал/шум.

Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною:

- ПР01. Здатність продемонструвати знання і розуміння наукових і математичних принципів, необхідних для розв'язування інженерних задач та виконання досліджень в галузі теоретичної та прикладної фізики, ядерної та термоядерної енергетики, тощо.
- ПР02. Здатність продемонструвати знання сучасного стану справ, тенденції розвитку,

найбільш важливі розробки та новітні технології в галузі теоретичної та прикладної фізики, радіофізики та електроніки, ядерної та термоядерної енергетики, космічних досліджень, тощо.

- ПР03. Здатність продемонструвати поглиблені знання у вибраній спеціалізації.
- ПР04. Здатність продемонструвати розуміння впливу технічних рішень в суспільному, економічному, соціальному і екологічному контексті.
- ПР05. Вміти вибирати методи і моделювати явища та процеси в динамічних лінійних і нелінійних системах, а також аналізувати отримані результати.
- ПР06. Вміти самостійно планувати та виконувати експерименти, оцінювати отримані результати.
- ПР07. Вміти застосовувати інформаційно- комунікаційні технології та навички програмування для розв'язання типових наукових і інженерних завдань.
- ПР08. Вміти застосовувати отримані знання й практичні навички, адаптувати результати наукових досліджень під час створення нового та експлуатації існуючого радіотехнічного, електронного, електротехнічного устаткування та його складових.
- ПР09. Вміти застосовувати знання і розуміння для розв'язування задач аналізу та синтезу елементів та систем, характерних обраній спеціалізації.
- ПР10. Вміти здійснювати пошук, аналізувати та критично оцінювати інформацію з різних джерел.
- ПР11. Вміти ефективно працювати як індивідуально, так і у складі команди.
- ПР12. Вміти поєднувати теорію та практику, а також приймати рішення та виробляти стратегію діяльності для вирішення завдань спеціалізації з урахуванням загальнолюдських цінностей, суспільних, державних та виробничих інтересів.
- ПР13. Вміти самостійно виконувати експериментальні дослідження та застосовувати дослідницькі навички за професійною тематикою.
- ПР14. Вміти критично проаналізувати основні показники функціонування системи та оцінити використані технічні рішення та обладнання.
- ПР15. Вміти застосовувати системний підхід, інтегруючи знання з інших дисциплін та враховуючи нетехнічні аспекти, під час розв'язання інженерних задач обраної спеціалізації та проведення досліджень.
- ПР16. Вміти аргументувати вибір методів розв'язування спеціалізованої задачі, критично оцінювати отримані результати та захищати прийняті рішення.
- ПР17. Вміти ефективно спілкуватись на професійному та соціальному рівнях, включаючи усну та письмову комунікацію іноземною мовою.
- ПР18. Вміти представляти та обговорювати отримані результати та здійснювати трансфер набутих знань.
- ПР19. Здатність адаптуватись до нових умов та самостійно приймати рішення.
- ПР20. Здатність усвідомлювати необхідність навчання впродовж усього життя з метою поглиблення набутих та здобуття нових фахових знань.
- ПР21. Здатність відповідально ставитись до виконуваної роботи та досягати поставленої мети з дотриманням вимог професійної етики.
- ПР22. Здатність демонструвати розуміння засад охорони праці, електробезпеки та їх застосування

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Математичні методи та типові процеси випадкових функцій.

Тема 1. Вступ.

Коротка характеристика основних типів шумів у радіоелектроніці: тепловий, дробовий, температурний, генераційно-рекомбінаційний та флікер-шум. Мета та завдання курсу лекцій.

Тема 2. Стаціонарні випадкові функції.

Математичне очікування, дисперсія та кореляційна функція. Властивості кореляційної функції.

Тема 3. Шуми простих вимірювань.

Формула Ейнштейна броунівського руху. Шум електричних ланцюгів. Шум гальванометрів. Вимірювання за допомогою лічильної техніки. Вимірювання постійного струму та випромінювання за допомогою лічильної техніки.

Тема 4. Типові процеси випадкових функцій.

Біноміальний, пуасонівський та нормальний процеси. Наближені формули Лапласа біноміального та пуасонівського законів розподілів. Теорема про дисперсію. Шум пентодів та транзисторів. Шум процесів множення електронів.

Розділ 2. Спектральний аналіз флуктуючих величин та шуми в лінійних системах.

Тема 1. Спектральний аналіз флуктуючих величин.

Теорема Вінера–Хінчина. Спектральна щільність стаціонарної випадкової функції. Властивості спектральної щільності.

Тема 2. Розрахунок спектральної щільності флуктуючих величин.

Розрахунок за допомогою автокореляційної функції. Розрахунок спектральної щільності через дисперсію на нульовій частоті. Теорема Шотки. Шум у термоелектронному та напівпровідниковому діодах. Розрахунок на основі статистичних закономірностей. Теорема Найквіста. Розрахунок спектральної щільності методом розкладання у ряд Фур'є. Генераційно-рекомбінаційний шум у напівпровідниках.

Тема 3. Опис шумів приладів та підсилювачів.

Шуми двополісників. Шуми чотириполісників. Коефіцієнт шуму. Визначення шумових параметрів однокаскадного підсилювача на польовому та біполярному транзисторах. Шум двокаскадного підсилювача.

Тема 4. Флікер-шум та генераційно-рекомбінаційний шум.

Вивід формули Флікер-шуму із формули спектру генераційно-рекомбінаційного шуму. Флікер-шум у транзисторах. Флуктуації опору та кількості носіїв електрики і їх рухливості.

Тема 5. Вимірювання граничних струмів та напруг.

Вимірювання малих постійних струмів з використанням польових транзисторів. Вимірювання граничних напруг методом модуляції-демодуляції. Фазовий детектор.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Математичні методи та типові процеси випадкових функцій.												
Тема 1. Вступ	14	2				12						
Тема 2. Стаціонарні випадкові функції	25	4		4		17						
Тема 3. Шуми простих вимірювань	21	4				17						
Тема 4. Типові процеси випадкових функцій	22	4	2			16						
Разом за розділом 1	82	14	2	4		62						
Розділ 2. Спектральний аналіз флуктуючих величин та шуми в лінійних системах.												
Тема 1. Спектральний аналіз флуктуючих величин	18	4				14						
Тема 2. Розрахунок спектральної щільності флуктуючих величин	20	4	2			14						
Тема 3. Опис шумів приладів та підсилювачів	24	4	2	4		14						
Тема 4. Флікер-шум та генераційно-рекомбінаційний шум	18	4				14						
Тема 5. Вимірювання граничних струмів та напруг	18	2	2			14						
Разом за розділом 2	98	18	6	4		70						
Усього годин	180	32	8	8		132						

4. Темі практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Розв'язання задач на теорему про дисперсію випадкових величин.	2
2	Розв'язання задач на властивості спектральної щільності.	2
3	Семінар "Шумові параметри підсилювачів".	2
4	Семінар "Методи вимірювання коефіцієнта шуму".	2
Усього годин		8

5. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вивчення параметрів стаціонарної випадкової функції	4
2	Вивчення шумових параметрів височастотного підсилювача	4
Усього годин		8

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи: робота з літературою, підготовка до виконання практичних і лабораторних занять	Кількість годин
1	Розділ 1. Тема 1. Основні типи шумів.	12
2	Розділ 1. Тема 2. Кореляційна функція та її властивості.	17
3	Розділ 1. Тема 3. Прості вимірювання за допомогою лічильної техніки.	17
4	Розділ 1. Тема 4. Наближені формули Лапласа біноміального та пуасонівського законів розподілу.	16
5	Розділ 2. Тема 1. Властивості спектральної щільності.	14
6	Розділ 2. Тема 2. Теорема Шотки та Найквіста.	14
7	Розділ 2. Тема 3. Коефіцієнт шуму. Шуми чотири-полюсників.	14
8	Розділ 2. Тема 4. Генераційно-рекомбінаційний шум.	14
9	Розділ 2. Тема 5. Вимірювання напруг методом модуляції-демодуляції.	14
	Разом	132

6. Індивідуальні завдання

Індивідуальних завдань не заплановано.

7. Методи навчання

Курс побудовано на лекційних заняттях, що знайомлять студентів з теоретичним матеріалом, та з лабораторних і практичних занять, що складаються з трьох частин: 1) усне опитування по теоретичному матеріалу; 2) перевірка домашнього завдання; 3) розв'язання типових задач за темою, що вивчається. На самостійну роботу виведено низку питань, що стосуються змісту курсу, що вивчається, але не входять до лекцій та практичної роботи.

8. Методи контролю

Поточний контроль включає роботу на практичних заняттях, самостійну роботу і виконання домашніх завдань (20 балів).

Після вивчення 1 і 2-го розділів курсу проводиться письмова контрольна робота, яка оцінюється у 20 балів кожна.

Підсумковий контроль – екзамен (40 балів).

9. Схема нарахування балів

Поточний контроль та самостійна робота										Екз.	Сума		
Розділ 1				КР	Розділ 2					КР	Разом		
T1	T2	T3	T4		T1	T2	T3	T4	T5				
2	2	2	4		2	2	2	2	2				
10				20	10					20	60	40	100

T1, T2,... – номер теми.

КР – контрольна робота, передбачена навчальним планом.

Розділ зараховується студентові, якщо він набирає не менш 50 % можливих балів за тему. Студент допускається до екзамену, якщо всі розділи зараховані. Студент не допускається до екзамену, якщо набирає протягом семестру менше 10 балів. Студенти з підсумковим рейтингом < 10 вважаються такими, що не допущені до екзамену з дисципліни. Їм перед сесією надається можливість підвищити оцінку і отримати допуск до екзамену шляхом виправлення нульових оцінок з окремих видів занять і контрольних завдань. Термін і порядок ліквідації заборгованостей устанавлюється викладачами, котрі проводять відповідні заняття і контрольні заходи.

Критерії оцінювання

1. Виконання кожного завдання екзаменаційного білета оцінюється балом за таблицею:

№ з/п	Кільк. балів	При оцінці відповіді на теоретичні питання	При оцінці розв'язання задачі
1	0	Виявлено, що студент виявив академічну недоброчесність	
2	1-8	Наведено лише визначення термінів, які входять до формулювання питання	Записано коротку умову, наведено діаграму або рисунок до задачі, записано основні закони з цієї теми
3	9-19	Наведено лише загальні відомості	Додатково до п.2 вказано метод розв'язання задачі
4	10-24	Наведено нечітку відповідь	Додатково до п.3 при правильному виборі методу розв'язання задачі допущено грубі помилки
5	25-32	Наведено відповідь з незначними помилками	Додатково до п.3 при правильному виборі методу розв'язання задачі не доведено до кінця
6	33-36	Наведено правильну в цілому відповідь з порушеннями логіки викладення матеріалу або без належних ілюстрацій чи оформлення відповіді ускладнює розуміння тексту	Задачу доведено до правильної кінцевої формули і на тому припинено розв'язання
7	37-40	Повна бездоганна відповідь	Здобуто правильну кінцеву формулу та проведено її аналіз, перевірку на розмірність, вірно визначено числове значення

2. Загальна оцінка екзамена за 40-бальною шкалою розраховується за формулою:

$$\text{Оцінка} = (\text{П1} + \text{П2} + \text{П3}) / 3 ,$$

де П1, П2, П3 – бали за відповіді на окремі завдання екзаменаційного білету.

10. Рекомендоване методичне забезпечення

Основна література

1. Медведєв М. Г., Пашенко І.О. Теорія ймовірностей та математична статистика. Підручник. – К.: Вид-во "Ліра-К". 2015. – 536 с.
2. Мінаков А.О., Тирнов О.Ф. Статистична радіофізика. Частина І. Основні поняття ймовірностей. Елементи теорії випадкових функцій. – Харків.: "Веста", 2007. 192 с.
3. Aldert van der Ziel. Noise in Measurements. – John Wiley & Sons, – 1976. – 228 p.
4. Buckingham M.J. Noise in electronic devices and systems. – Halsted Press, – 1983. – 372 p.

Допоміжна література

1. George R. Cooper, Clare D. McGillem. Probabilistic Methods of Signal and System Analysis. – Oxford University Press, – 1998. – 480 p.
2. Gwilym M. Jenkins, Donald G. Watts. Spectral Analysis and Its Applications. – Holden Day, 1968. – 318 p.
3. Beenakker C.W.J., Büttiker M. Suppression of shot noise in metallic diffusive conductors. Physical Review B, - 1992, 46: 1889–1892.
4. Henry W. Ott. Noise Reduction Techniques in Electronic Systems. – Wiley-Interscience, 1988, – 448 p.
5. Ronald Bracewell. The Fourier Transform & Its Applications. – McGraw-Hill Science, 1999. – 640 p.

11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Розв'язання інтегралів онлайн:
<https://ua.onlinemschool.com/math/assistance/integrate/integrate/>
2. Інтерактивний флеш-підручник для перетворення Фур'є:
<http://www.fourier-series.com/f-transform/index.html>