

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра квантової радіофізики

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Проректор з науково-  
педагогічної роботи

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 р.

Програма навчальної дисципліни

**«ГРАНИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ У РАДІОЕЛЕКТРОНІЦІ»**

(назва навчальної дисципліни)

спеціальність 105 Прикладна фізики та наноматеріали  
(шифр, назва спеціальності)

спеціалізація \_\_\_\_\_ квантова радіофізика та фотоніка  
(шифр, назва спеціалізації)

факультет радіофізики, біомедичної електроніки  
та комп'ютерних систем

2017 / 2018 навчальний рік

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

Протокол від “ 21 ” червня 2017 року № 6

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

Програму схвалено на засіданні кафедри квантової радіофізики

Протокол від “ 21 ” червня 2017 року № 10

Завідувач кафедри квантової радіофізики

\_\_\_\_\_ проф. Маслов В.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Протокол від “ 16 ” червня 2017 року № 6

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

\_\_\_\_\_ (проф. Черногор Л. Ф.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Граничні вимірювання у радіоелектроніці” складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки

магістр  
(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності 105 – прикладна фізика та наноматеріали

спеціалізації квантова радіофізика та фотоніка

### 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.

1.3. Кількість кредитів – 8

1.4. Загальна кількість годин – 240

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
Нормативна / <u>за вибором</u>
<u>Денна</u> форма навчання Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки
1-й
Семестр
1-й
Лекції
44 год.
Практичні, семінарські заняття
28 год.
Лабораторні заняття
24 год.
Самостійна робота
144 год.
Індивідуальні завдання
год.

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

## 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 Шоткі. 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.

### *Розділ 3. Детектори випромінювання.*

#### *Тема 1. Теплові детектори випромінювання.*

Чутливість, еквівалентна шумова потужність та виявна здатність. Шум флуктуацій температури. Ідеальний тепловий приймач.

**Тема 2. Термопарний та болометричний детектори випромінювання.**

Основні рівняння, які описують систему. Чутливість, повний опір та еквівалентна шумова потужність.

**Тема 3. Фотоелектричні детектори.**

Чутливість та еквівалентна шумова потужність фотодіодів та фотоелементів. Методи помноження у транзисторах та лавинних діодах.

**Тема 4. Точково-контактні детектори.**

Діоди з бар'єром Шотки. Максимальна частота роботи детектора.

**Тема 5. Фотозмішання.**

Еквівалентна шумова потужність гетеродинного приймача. Коефіцієнт підсилення. Фотозмішувачі на фотодіоді та фотопомножувачі..

### 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
<b>Розділ 1. Математичні методи та типові процеси випадкових функцій.</b>												
Тема 1. Вступ	4	2				2						
Тема 2. Стаціонарні випадкові функції	27	4	3	8		12						
Тема 3. Шуми простих вимірювань	19	4	3			12						
Тема 4. Типові процеси випадкових функцій	16	2	2			12						
Разом за розділом 1	66	12	8	8		38						
<b>Розділ 2. Спектральний аналіз флуктуючих величин та шуми в лінійних системах.</b>												
Тема 1. Спектральний аналіз флуктуючих величин	16	4				12						
Тема 2. Розрахунок спектральної щільності флуктуючих величин	19	4	3			12						
Тема 3. Опис шумів приладів та підсилювачів	22	4		8		10						
Тема 4. Фліккер-шум та генераційно-рекомбінаційний шум	14	2				12						
Тема 5. Вимірювання граничних струмів та напруг	16	2	4			10						
Разом за розділом 2	87	16	7	8		56						

<b>Розділ 3. Детектори випромінювання.</b>											
Тема 1. Теплові детектори випромінювання	16	2	4			10					
Тема 2. Термопарний та болометричний детектори випромінювання	17	4	3			10					
Тема 3. Фотоелектричні детектори	22	4		8		10					
Тема 4. Точково-контактні детектори	16	3	3			10					
Тема 5. Фотозмішання	16	3	3			10					
Разом за розділом 3	87	16	13	8		50					
<b>Усього годин</b>	<b>240</b>	<b>44</b>	<b>28</b>	<b>24</b>		<b>144</b>					

#### 4.1. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вивчення параметрів стаціонарної випадкової функції	8
2	Вивчення шумових параметрів високочастотного підсилювача	8
3	Вимірювання параметрів фотодіодного детектора випромінювання	8
Усього годин		24

#### 4.2. Теми практичних та семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Розв'язання задач на параметри стаціонарної випадкової функції.	3
2	Розв'язання задач на шуми електричних ланцюгів, гальванометрів та лічильної техніки.	3
3	Розв'язання задач на теорему про дисперсію випадкових величин.	2
4	Розв'язання задач на властивості спектральної щільності.	3
5	Семінар "Шумові параметри чотириполюсників".	4
6	Семінар "Методи вимірювання коефіцієнта шуму".	4
7	Семінар "Шум флуктуацій температури".	3
8	Розв'язання задач по точково-контактним детекторам.	3
9	Семінар "Радіометри надвисоких частот".	3
Усього годин		28

#### 5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Основні типи шумів.	2
2	Кореляційна функція та її властивості.	12
3	Вимірювання за допомогою лічильної техніки.	12
4	Наближені формули Лапласа біноміального та пуассонівського законів розподілу.	12
5	Властивості спектральної щільності.	12

6	Теореми Шотки та Найквіста.	12
7	Коефіцієнт шуму. Шуми чотириполосників.	10
8	Генераційно-рекомбінаційний шум.	12
9	Вимірювання напруг методом модуляції-демодуляції.	10
10	Ідеальний тепловий приймач.	10
11	Термопарний детектор випромінювання.	10
12	Методи помноження у транзисторах та лавинних діодах.	10
13	Чутливість та еквівалентна потужність.	10
14	Фотозмішання на фотодіоді, фотопомножувачі, точково-контактному діоді.	10
	Разом	144

### 6. Індивідуальні завдання

Індивідуальних завдань не заплановано.

### 7. Методи навчання

Засвоєння матеріалу по дисципліні забезпечується циклом лекцій, проведенням практичних, лабораторних та самостійних занять.

### 8. Схема нарахування балів

Поточний контроль та самостійна робота														Екзамен	Сума		
Розділ 1				Розділ 2					Розділ 3					Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Разом		
T1	T2	T3	T4	T1	T3	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5				
2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
<b>10</b>				<b>15</b>					<b>15</b>					<b>20</b>	<b>60</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

### Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка за національною шкалою	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

## 9. Рекомендоване методичне забезпечення

### Основна література

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Высшая школа, – 2002. – 575 с.
2. Слабкий Л.И. Методы и приборы предельных измерений в экспериментальной физике. – М.: Наука, – 1973. – 274 с.
3. А. Ван дер Зил. Шумы при измерениях. – М.: Мир, – 1979. – 292 с.
4. Букингом М.. Шумы в электронных приборах и системах. – М.: Мир, – 1986. – 398 с.
5. Лавренчик В.Н. Постановка физического эксперимента и статистическая обработка его результатов. – М.: Энергоатомиздат, – 1986. – 272 с.

### Допоміжна література

1. Дж. Купер, К. Макгиллем. Вероятностные методы анализа сигналов и систем. – М.: Мир, – 1989. – 376 с.
2. Г. Дженкинс, Д. Ватс. Спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1971. – 318 с.
3. Ишанин Г.Г. Источники и приемники излучения. СПб.: Политехника, 1991. – 240 с.
4. Г.Отт. Методы подавления шумов и помех в электронных системах. – М.: Мир, 1979 – 318с.

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

1. Шуми в підсилювачах  
<http://ruseti.ru/toe/elektro27.html>