

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

(найменування центрального органу виконавчої влади у сфері освіти і науки)

**Національний університет «Запорізька політехніка»**

(повне найменування закладу вищої освіти)

**Кафедра «Радіотехніка та телекомунікації»**

(найменування кафедри, яка відповідає за дисципліну)

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Перший проректор

Гугнін Е.А.

2020 року



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**ППВ 02 Електронні та квантові пристрої НВЧ**

(код і назва навчальної дисципліни)

спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»  
(код і найменування спеціальності)

освітня програма (спеціалізація) Радіотехніка  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

інститут Інформатики та радіоелектроніки  
(найменування інституту)

факультет Радіоелектроніки та телекомунікацій  
(найменування факультету)

мова навчання Українська

2020 рік

Робоча програма з дисципліни «Електронні та квантові пристрої НВЧ» для студентів

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»,

освітня програма (спеціалізація) «Радіотехніка»  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

«    »                     , 20   року –      с.

Розробники: **Логачова Людмила Михайлівна**, старший викладач кафедри Радіотехніки та телекомунікацій.

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри Радіотехніки та телекомунікацій

Протокол від «23» червня 2020 року № 12

Завідувач кафедри Радіотехніки та телекомунікацій  
(найменування кафедри)

«23» червня 2020 року  (Моршавка С.В.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Схвалено науково-методичною комісією факультету РЕТ за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Протокол від «27» серпня 2020 року № 1

«27» серпня 2020 року Голова  (Кабак В.С.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ 2020 рік

## 1 Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітній ступінь	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 3,5	Галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації	нормативна	
Модулів – 2	Спеціальність, освітня програма 172 Телекомунікації та радіотехніка ОП «Радіотехніка»	<b>Рік підготовки:</b>	
Змістових модулів – 2		3-й	3-й
Індивідуальне науково-дослідне завдання _____ <small>(назва)</small>		<b>Семестр</b>	
Загальна кількість годин – 105		5-й	5-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 самостійної роботи студента – 4	Освітньо-кваліфікаційний рівень: Перший (бакалаврський)	<b>Лекції</b>	
		30 год.	6 год.
		<b>Практичні, семінарські</b>	
		год.	год.
		<b>Лабораторні</b>	
		15 год.	4 год.
		<b>Самостійна робота</b>	
		60 год.	95 год.
		<b>Індивідуальні завдання:</b> год.	
		Вид контролю: залік	

### Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної та індивідуальної роботи становить:

- для денної форми навчання – 45/60;
- для заочної форми навчання – 10/95.

## 2 Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета.** Ознайомлення з фізичними основами роботи та принципами устрою різноманітних електронних приладів НВЧ, у тому числі з новими методами генерації та підсилення високочастотної потужності, а також вивчення основних характеристик, та найважливіших властивостей визначаючих їх застосування у тих чи інших дослідженнях. Квантові прилади НВЧ, та прилади оптичного діапазону.

**Завдання.** Теоретичне вивчення класичних методів модуляції електронного пучка і особливості просторового та фазового групування електронів. Збудження резонаторів і хвилеводів потоками заряджених частинок. Розгляд принципу дії, особливостей, та основних параметрів приладів О типу, М типу, гіроприладів. Ознайомлення з фізичними і особливостями приладів нового типу, таких як лазери на вільних електронах, гірокон та магнікон.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен отримати:

### **загальні компетентності:**

- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК-1);
- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК-2);
- здатність спілкуватися державною мовою як усно так і письмово(ЗК-5);
- здатність працювати у команді (ЗК-6);
- здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями (ЗК-7).

### **Фахові (професійні) компетентності:**

– здатність розуміти сутність і значення інформації у розвитку сучасного суспільства (ПК-1);

– здатність вирішувати стандартні завдання професійної діяльності на основі інформаційної та бібліографічної культури зі застосуванням інформаційно-комунікаційних технологій із урахуванням основних вимог інформаційної безпеки (ПК-2);

– здатність використовувати нормативну та правову документацію, що стосується інформаційно-комунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем (закони України, технічні регламенти, міжнародні та національні стандарти, рекомендації Міжнародного союзу електрозв'язку і т.п.) (ПК-5);

– здатність здійснювати приймання та освоєння нового обладнання відповідно до чинних нормативів (ПК-9).

### **Результати навчання:**

– аналізувати, аргументувати, приймати рішення при розв'язанні спеціалізованих задач та практичних проблем телекомунікацій та радіотехніки, які характеризуються комплексністю та неповною визначеністю умов (РН-1);

– застосовувати результати особистого пошуку та аналізу інформації для розв'язання якісних і кількісних задач подібного характеру в інформаційно-комунікаційних мережах, телекомунікаційних і радіотехнічних системах (РН-2);

– пояснювати результати, отримані в результаті проведення вимірювань, в термінах їх значущості та пов'язувати їх з відповідною теорією (РН-4);

- навички оцінювання, інтерпретації та синтезу інформації і даних (PH-5);
- спілкуватись з професійних питань, включаючи усну та письмову комунікацію державною мовою та однією з поширених європейських мов (англійською, німецькою, італійською, французькою, іспанською) (PH-10);
- застосовувати міжособистісні навички для взаємодії з іншими людьми та залучення їх до командної роботи (PH-11);
- толерантно сприймати та застосовувати етичні норми поведінки відносно інших людей (PH-12);
- застосування фундаментальних і прикладних наук для аналізу та розробки процесів, що відбуваються в телекомунікаційних та радіотехнічних системах (PH-13);
- розуміння та дотримання вітчизняних і міжнародних нормативних документів з питань розроблення, впровадження та технічної експлуатації інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних і радіотехнічних систем (PH-17);
- знаходити, оцінювати і використовувати інформацію з різних джерел, необхідну для розв'язання професійних завдань, включаючи відтворення інформації через електронний пошук (PH-18);
- знати сучасні тенденції розвитку електроніки НВЧ та ВЧ діапазонів;
- вміти аналізувати стан науково-технічних проблем електронних приладів НВЧ та квантових приладів;
- володіти навичками проектування радіосистем з електронними приладами НВЧ і квантовими приладами;
- володіти методами складання звітів та оглядів за результатами досліджень електронних приладів НВЧ та квантових приладів;
- вміти порівнювати можливості різних приладів та правильно обирати найбільш відповідний для конкретного радіотехнічного пристрою вид приладу;
- набувати навичок користування довідковою літературою по таким приладам, а також експериментального дослідження їх характеристик і вимірювання основних параметрів;
- мати уявлення про стан виробництва електронних та квантових приладів НВЧ в Україні та за кордоном, а також про перспективні напрямки їх подальшого розвитку.

### **Зв'язок з іншими дисциплінами**

Вивчення дисципліни повинно спиратися на зміст таких дисциплін:

- "Інформаційні технології";
- "Фізика" (рух заряджених частинок в електричних та магнітних полях, види квантових переходів, формули Планка та ін.);
- "Технічна електродинаміка" (резонатори, хвилеводи, невзаємні елементи, сповільнюючі системи);
- "Сигнали та процеси в радіотехніці" (умови генерації в автоколивальних системах).

### 3 Програма навчальної дисципліни

#### Змістовий модуль 1. Генератори, підсилювачі НВЧ коливань.

**Тема 1. Напівпровідникові прилади НВЧ.** Лавинно-пролітні діоди (ЛПД), тунельні діоди. Фізичні процеси ЛПД. Діоди НВЧ. Діоди Ганна. Діоди Шоттки.

**Тема 2. Відбивний клістрон.** Відбивний клістрон. Призначення, конструкція, принцип дії. Модуляція електронного потоку за швидкістю та густиною. Зони генерації. Зв'язок кута прольоту з напругою на електродах. Конвекційний і наведений струми. Рівняння групування. Умова самозбудження (струм пуску). Електронне перестроювання частоти. Область використання відбивного клістрона.

**Тема 3. Лампи зворотної хвилі О-типу.** Підсилювальна ЛЗХ О-типу. Конструкція та принцип дії. Різниця між ЛВХ та ЛЗХ О-типу. Наявність позитивного зворотного зв'язку (ДЗЗ). Генераторна ЛЗХ О-типу. Конструкція та принцип дії. Баланс фаз в ЛЗХ. Електронна перебудова частоти. Параметри генераторної ЛЗХ О-типу: діапазон електронної перебудови, електронний ККД, вихідна потужність. Галузь використання генераторної ЛЗХ О-типу.

**Тема 4. Лампи рухомої хвилі О-типу.** Визначення лампи рухомої хвилі (ДРХ) О-типу. Недоліки клістронних підсилювачів. Принцип широкосмугового підсилення. Конструкції і параметри сповільнюючих систем. Сповільнення хвиль в спіральній сповільнюючій системі. Поле в сповільнюючій системі. Просторові гармоніки: фазова та групова швидкості. Дисперсійні характеристики. Конструкція лампи рухомої хвилі. Принцип дії. Умова фазового синхронізму. Групування електронів за швидкістю та густиною. Просторово-часова діаграма. Лінійна теорія ЛРХ О-типу. Холодна та гаряча системи. Дисперсійне рівняння. Система парціальних хвиль. Співвідношення для амплітуд і фазових швидкостей парціальних хвиль. Параметри та характеристики ЛРХ О-типу: коефіцієнт підсилення, електронний коефіцієнт корисної дії, вихідна потужність, амплітудна характеристика, амплітудно-частотна характеристика, власні шуми. Область використання ЛРХ О-типу.

#### Змістовий модуль 2. Фізичні принципи побудови приладів НВЧ типа М та фізичної основи квантових приладів.

**Тема 5. Лампи рухомої хвилі М-типу.** Конструкція та принцип дії лампи рухомої хвилі М-типу (ЛРХ М). Призначення інжектуючого пристрою. Процеси в просторі взаємодії. Форма електронного потоку. Система парціальних хвиль. Параметри і характеристики ЛРХ М-типу: коефіцієнт підсилення, амплітудна характеристика, електронний ККД, власні шуми.

**Тема 6. Лампа зворотної хвилі М-типу.** Конструкція і принцип дії лампи зворотної хвилі М-типу (ЛЗХ М). Параметри та характеристики ЛЗХМ. Область використання ЛЗХ М-типу.

**Тема 7. Багаторезонаторний магнетрон.** Конструкція та принцип дії багаторезонаторного магнетрона. Властивості коливальної системи, коливань. Перевага коливань  $\pi$ -виду. Стабілізація робочого виду коливань, метод низок, метод різнорезонаторного анодного блоку. Умова самозбудження. Порогові прямі. Область робочих режимів. Пороговий та критичний потенціали. Електронний ККД, робочі характеристики. Области використання магнетронів. Різновидності приладів М-типу.

**Тема 8. Фізичні основи роботи квантових приладів.** Фізичні основи роботи квантових приладів. Енергетичні зазори. Частота випромінювання і поглинання. Постулат Бора. Врівноважене та не врівноважене положення системи. Закон Больцмана. Спонтанні переходи. Характеристика спонтанного випромінювання. Індуковані переходи. Особливості індукованого випромінювання. Можливість підсилення та генерації. Методи отримання інверсної населеності. Метод енергетичного накачування. Трирівнева система. Співвідношення між частотою сигналу та частотою накачування, які впливають на розширення спектральної лінії.

**Тема 9. Квантовий парамагнітний підсилювач (КПП) НВЧ.** Квантовий парамагнітний підсилювач (КПП). Парамагнетіки. Електронний парамагнетизм. Ефект Зеемана. Енергетична діаграма рубіна. Отримання інверсної населеності в парамагнітній речовині. Резонансний КПП прохідного та відбивного типів, будова та принцип дії. Основи характеристики резонансного КПП коефіцієнт підсилення, смуга пропускання, амплітудна характеристика, власні шуми. Різновиди КПП, області використання. Монохроматичність та когерентність випромінювання. Відкриті резонатори для квантових генераторів оптичного діапазону (ВКГ). Види коливань. Спектр і потужність випромінювання. Газові ВКГ, ВКГ на твердому тілі. Напівпровідникові ВКГ. ВКГ на рідовині. Способи модуляції. Области використання ВКГ.

#### 4 Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	усього	у тому числі					усього го	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>Модуль 1</b>												
<b>Змістовий модуль 1. Генератори, підсилювачі НВЧ коливань</b>												
Тема 1. Напівпровідник. прилади НВЧ	17	5		4		8	13	1				12
Тема 2. Відбивний	17	5		4		8	16	2		2		12

клістрон												
Тема 3. Лампи зворотної хвилі О-типу	10	2	2			6	12					12
Тема 4. Лампи рухомої хвилі О-типу	13	3	2			8	12					12
Разом за змістовим модулем 1	57	15	12			30	53	3		2		48
<b>Модуль 2</b>												
<b>Змістовий модуль 2. Фізичні принципи побудови приладів НВЧ типа М та фізичної основи квантових приладів</b>												
Тема 5. Лампи рухомої хвилі М-типу	8	2				6	9					9
Тема 6. Лампа зворотної хвилі М-типу	7	1				6	9					9
Тема 7. Багаторезонаторний магнетрон	13	4	3			6	14	2		2		10
Тема 8. Фізичні основи роботи квантових приладів	10	4				6	11	1				10
Тема 9. Квантовий парамагнітний підсилювач (КПП) НВЧ	10	4				6	9					9
Разом за змістовим модулем 2	48	15	3			30	52	3		2		47
<b>Усього годин</b>	<b>105</b>	<b>30</b>	<b>15</b>			<b>60</b>	<b>105</b>	<b>6</b>		<b>4</b>		<b>95</b>



### 5 Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Дослідження відбивного клістрона	4
2	Дослідження характеристик ЛРХ типу О	2
3	Дослідження характеристик ЛЗХ типу О	2
4	Дослідження багато резонаторного магнетрону	3
5	Дослідження генератора на діоді Ганна	4
	Разом	15

### 6 Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Виконання розрахункових завдань	30
2	Підготовка до лабораторних занять, лекцій	30
	Разом	60

### 7 Індивідуальні завдання

Непередбачені навчальним планом.

### 8 Методи навчання

Поєднання (різною мірою) пасивного, активного і інтерактивного методів на лекційних і лабораторних заняттях.

### 9 Очікувані результати навчання з дисципліни

В результаті вивчення даної дисципліни очікуються наступні результати навчання:

– аналізувати, аргументувати, приймати рішення при розв'язанні спеціалізованих задач та практичних проблем телекомунікацій та радіотехніки, які характеризуються комплексністю та неповною визначеністю умов (РН-1);

– застосовувати результати особистого пошуку та аналізу інформації для розв'язання якісних і кількісних задач подібного характеру в інформаційно-комунікаційних мережах, телекомунікаційних і радіотехнічних системах (РН-2);

- пояснювати результати, отримані в результаті проведення вимірювань, в термінах їх значущості та пов'язувати їх з відповідною теорією (РН-4);
- навички оцінювання, інтерпретації та синтезу інформації і даних (РН-5);
- спілкуватись з професійних питань, включаючи усну та письмову комунікацію державною мовою та однією з поширених європейських мов (англійською, німецькою, італійською, французькою, іспанською) (РН-10);
- застосовувати міжособистісні навички для взаємодії з іншими людьми та залучення їх до командної роботи (РН-11);
- толерантно сприймати та застосовувати етичні норми поведінки відносно інших людей (РН-12);
- застосування фундаментальних і прикладних наук для аналізу та розробки процесів, що відбуваються в телекомунікаційних та радіотехнічних системах (РН-13);
- розуміння та дотримання вітчизняних і міжнародних нормативних документів з питань розроблення, впровадження та технічної експлуатації інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних і радіотехнічних систем (РН-17);
- знаходити, оцінювати і використовувати інформацію з різних джерел, необхідну для розв'язання професійних завдань, включаючи відтворення інформації через електронний пошук (РН-18);
- знати сучасні тенденції розвитку електроніки НВЧ та ВЧ діапазонів;
- вміти аналізувати стан науково-технічних проблем електронних приладів НВЧ та квантових приладів;
- володіти навичками проектування радіосистем з електронними приладами НВЧ і квантовими приладами;
- володіти методами складання звітів та оглядів за результатами досліджень електронних приладів НВЧ та квантових приладів;
- вміти порівнювати можливості різних приладів та правильно обирати найбільш відповідний для конкретного радіотехнічного пристрою вид приладу;
- набувати навичок користування довідковою літературою по таким приладам, а також експериментального дослідження їх характеристик і вимірювання основних параметрів;
- мати уявлення про стан виробництва електронних та квантових приладів НВЧ в Україні та за кордоном, а також про перспективні напрямки їх подальшого розвитку.

## **10 Засоби оцінювання**

Поточний, рубіжний, семестровий контроль (з урахуванням відвідування, виконання і захистів звітів по лабораторним роботам та індивідуальним домашнім завданням, тестуванні при здачі заліку).

## 11 Критерії оцінювання

Приклад для заліку

Поточне тестування та самостійна робота									Сума
Змістовий модуль №1					Змістовий модуль № 2				
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	100
15	10	10	10	10	10	10	10	15	

T1, T2 ... T9 – теми змістових модулів.

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	<b>A</b>	відмінно	зараховано
85-89	<b>B</b>	добре	
75-84	<b>C</b>		
70-74	<b>D</b>	задовільно	
60-69	<b>E</b>		
35-59	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
1-34	<b>F</b>	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

## 12 Методичне забезпечення

1. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електронні та квантові прилади надвисоких частот». Для студентів фаху 172 «Телекомунікації та радіотехніка» всіх форм навчання [Текст] / Укладачі: Л.М. Логачева, Т.І. Бугрова. – Запоріжжя: НУ «ЗП», 2020. – 36 с.

2. Конспект лекцій з дисципліни «Електронні та квантові прилади надвисоких частот». Відбивний клістрон. Лампа рухомої хвилі O – типу. Частина 1. Для студентів фаху 172 «Телекомунікації та радіотехніка» всіх форм навчання [Текст] / Укладач: Л.М. Логачева. – Запоріжжя: НУ «ЗП», 2020. – 89 с.

3. Конспект лекцій з дисципліни «Електронні та квантові прилади надвисоких частот». Лампа зворотної хвилі O – типу. Прилади M – типу. Частина 2. Для студентів фаху 172 «Телекомунікації та радіотехніка» всіх форм навчання [Текст] / Укладач: Л.М. Логачева. – Запоріжжя: НУ «ЗП», 2020. – 49 с.

4. Методичні вказівки до вивчення та виконання контрольних завдань з дисципліни «Електронні та квантові прилади надвисоких частот». Для студентів фаху 172 «Телекомунікації та радіотехніка» всіх форм навчання [Текст] / Укладачі: Л.М. Логачева, Т.І. Бугрова. – Запоріжжя: НУ «ЗП», 2020. – 18 с.

### 13 Рекомендована література

#### Базова

1. Шматько О.О. Електронні прилади надвисоких частот: теорія та лабораторний радіофізичний практикум: Навчальний посібник / за ред. Шматько О.О. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2006. – 328. С
2. Зеленский А.А. Электронные и квантовые приборы СВЧ. Ч.1 [Текст]: / А.А. Зеленский. – Х.: Аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2011 г. – Ч.1 – 139 С.
3. Зеленский А.А. Электронные и квантовые приборы СВЧ. Ч.2 [Текст]: / А.А. Зеленский. – Х.: Аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2012 г. – Ч.2 – 132 С.
4. Малышев В.А. Основы квантовой электроники и лазерной техники. [Текст]. Учебное пособие./В.А.Малышев. – Москва.:В.ш.,2005. – 544 с.

#### Допоміжна

1. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника [Текст] / Под. ред. проф. Н.Д. Фёдорова. – М.: Радио и связь, 1998. – 560 с.
2. Конспект лекцій з дисципліни «Електронні та квантові прилади надвисоких частот». Відбивний клістрон. Лампа рухомої хвилі О – типу. Частина 1. Для студентів фаху 172 «Телекомунікації та радіотехніка» всіх форм навчання [Текст] / Укладач: Л.М. Логачева. – Запоріжжя: НУ «ЗП», 2020. – 89 с.
3. Конспект лекцій з дисципліни «Електронні та квантові прилади надвисоких частот». Лампа зворотної хвилі О – типу. Прилади М – типу. Частина 2. Для студентів фаху 172 «Телекомунікації та радіотехніка» всіх форм навчання [Текст] / Укладач: Л.М.Логачева. – Запоріжжя: НУ «ЗП», 2020. – 49 с.

### 13. Інформаційні ресурси

1. <https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=1751>
2. [www.zntu.edu.ua](http://www.zntu.edu.ua)
3. [www.rtt.zntu.edu.ua](http://www.rtt.zntu.edu.ua)