

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
“УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ”  
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ



**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Декан інженерно-технічного  
факультету

доц. Йолана ГОЛИК  
2025р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**Електроніка НВЧ (кп)**

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	G Інженерія, виробництво та будівництво
Спеціальність	G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка
Освітня програма	Електронні системи
Статус дисципліни	обов'язкова
Мова навчання	українська

Робоча програма з навчальної дисципліни «Електроніка НВЧ (кп)» для студентів 2-го курсу кафедри електронних систем освітнього ступеня бакалавр за напрямом підготовки освітньої програми «Електронні системи» галузі знань 6 Інженерія, виробництво та будівництво за спеціальністю G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка.


“ 22 ” \_05\_ 2025 року – 14 с.

Розробники: к.ф.-м.н., доцент кафедри електронних систем Тарас ЗАЯЦЬ

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри електронних систем

Протокол від „22” \_ 2025 року № “10”

Завідувач кафедри електронних систем

 доц.Тарас ЗАЯЦЬ

Схвалено науково-методичною комісією інженерно-технічного факультету

Протокол від „ 27 ” 06 2025 року № “06”

Голова науково-методичної комісії  доц.Володимир ЦИГИКА

## 1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Розподіл годин за навчальним планом	
	Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Кількість кредитів – 4	Рік підготовки	
Загальна кількість годин – 120	3	-
Кількість модулів – 2	Семестр:	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 самостійної роботи студента – 4,0	2	-
	Лекції (год.)	
	34	
	Лабораторні (год.)	
Вид підсумкового контролю: залік	Самостійна робота (год.)	
	12	
Форма підсумкового контролю: усна	74	

## 2. МЕТА І ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**Мета дисципліни** – ознайомити студентів, майбутніх фахівців з основами НВЧ електронної техніки напівпровідникових та вакуумних приладів і пристроїв виконаних на їхній базі, а саме: підсилювачів та перетворювачів частоти, генераторів і детекторів, модуляторів і переключачів. Формування у студентів наукового світогляду і глибоких знань з теорії та практики НВЧ електронної техніки.

**Завдання дисципліни** – сформувати у майбутнього інженера наукові представлення про фізичні принципи роботи приладів і пристроїв НВЧ електронної техніки, навчити майбутнього інженера, прийомів, вмінь і навичок конкретної роботи з розрахунку вузлів пристроїв НВЧ техніки, сприяти оволодінню студентами засобами системного розв'язання проблем з проектування та реалізації технічних рішень в галузі НВЧ техніки, а також надати гнучкого пристосування до швидких змін елементної бази електронної техніки, особливо в галузі НВЧ електроніки.

Поглибити знання студентів в галузі електроніки, виробити у студентів вміння проектувати компоненти та електронні схеми діапазону НВЧ, виконувати вимірювання параметрів НВЧ пристроїв, користуватися сучасними програмним забезпеченням проектування електронних схем НВЧ.

У результаті вивчення дисципліни студенти повинні **знати**:

- 1) фізичні явища, що лежать в основі роботи НВЧ пристроїв, математичні моделі компонент;
- 2) класифікацію НВЧ пристроїв принципи їх дії, характеристики;
- 3) функціональне призначення компонент НВЧ приладів;
- 4) методи розрахунку НВЧ схем,
- 5) методи вимірювань НВЧ сигналів і параметрів НВЧ компонент;
- 6) галузі застосування НВЧ пристроїв;

У результаті вивчення дисципліни студенти повинні **уміти**:

- 1) використовувати набуті знання при розробці нових НВЧ приладів;
- 2) проектувати НВЧ блоки, що мають вдосконалені параметри для використання у складі різних радіофізичних приладів;
- 3) виявляти та усувати причини виходу з ладу НВЧ приладів;
- 4) вибирати новітню елементну базу для конструювання НВЧ пристроїв;
- 5) забезпечувати роботу приладів НВЧ, дотримання метрологічних параметрів і характеристики НВЧ обладнання;

б) використовувати стандартні приладами для НВЧ вимірювань, складати схему вимірювання, вимірювати характеристики середовищ, параметрів НВЧ сигналів, представляти принципи НВЧ схеми згідно з діючими нормативними документами.

Відповідно до освітньої програми, вивчення дисципліни сприяє формування у здобувачів вищої освіти таких компетентностей:

Інтегральна компетентність	Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми, що характеризуються комплексністю та невизначеністю умов, під час професійної діяльності у галузі електроніки, або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів електроніки.
Загальні компетентності	ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
Спеціальні (фахові, предметні) компетентності	СК1. Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування приладів, пристроїв та систем електроніки. СК2. Здатність виконувати аналіз предметної області та нормативної документації, необхідної для проектування та застосування приладів, пристроїв та систем електроніки. СК3. Здатність інтегрувати знання фундаментальних розділів фізики та хімії для розуміння процесів твердотільної, функціональної та енергетичної електроніки, електротехніки. СК5. Здатність застосовувати відповідні математичні, наукові й технічні методи, сучасні інформаційні технології і комп'ютерне програмне забезпечення, навички роботи з комп'ютерними мережами, базами даних та Інтернет-ресурсами для вирішення інженерних задач в галузі електроніки.

### 3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Передумовами вивчення навчальної дисципліни «Електроніка НВЧ» є опанування навчальних дисциплін (НД) освітньої програми (ОП) першого ступеня (бакалавр) за спеціальністю 171 Електроніка.

Шифр НД за ОП	Назва навчальної дисципліни
ОК6	Вища математика
ОК8	Фізика
ОК25	Вакуумна і плазмова електроніка

### 4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньої програми дисципліни «Електроніка НВЧ», вивчення дисципліни повинно забезпечити досягнення здобувачем вищої освіти таких програмних результатів навчання (ПРН):

Програмні результати навчання	Шифр ПРН
Описувати принцип дії за допомогою наукових концепцій, теорій та методів та перевіряти результати при проектуванні та застосуванні приладів, пристроїв та систем електроніки.	<b>ПРН1</b>
Знаходити рішення практичних задач електроніки шляхом застосування відповідних моделей та теорій електродинаміки, аналітичної механіки,	<b>ПРН3</b>

електромагнетизму, статистичної фізики, фізики твердого тіла.	
Оцінювати характеристики та параметри матеріалів електронної техніки, розуміти основи твердотільної електроніки, електротехніки, аналогової та цифрової схемотехніки, перетворювальної та мікропроцесорної техніки.	<b>ПРН4</b>
Використовувати інформаційні та комунікаційні технології, прикладні та спеціалізовані програмні продукти для вирішення задач проектування та налагодження електронних систем, демонструвати навички програмування, аналізу та відображення результатів вимірювання та контролю.	<b>ПРН5</b>
Застосовувати експериментальні навички (знання експериментальних методів та порядку проведення експериментів) для перевірки гіпотез та дослідження явищ електроніки, вміти використовувати стандартне обладнання, планувати, складати схеми; аналізувати, моделювати та критично оцінювати отримані результати.	<b>ПРН6</b>
Аналізувати складні цифрові та аналогові інформаційно-вимірювальні системи з розширеною архітектурою комп'ютерних та телекомунікаційних мереж з урахуванням специфікації вибраних технічних засобів електроніки та відповідної технічної документації.	<b>ПРН7</b>
Визначати та ідентифікувати математичні моделі технологічних об'єктів при розробці у комп'ютерному середовищі нових складних електронних систем та виборі оптимального рішення.	<b>ПРН8</b>
Розробляти технічні засоби для побудови та діагностування технічного стану електронних пристроїв та систем, організовувати та проводити плановий та позаплановий ремонт, налагодження та переналагодження електронного устаткування у відповідності до поточних вимог виробництва.	<b>ПРН10</b>
Використовувати документацію, пов'язану з професійною діяльністю, із застосуванням сучасних технологій та засобів офісного устаткування; використовувати англійську мову, включаючи спеціальну термінологію, для спілкування з фахівцями, проведення літературного пошуку та читання текстів з технічної та фахової тематики.	<b>ПРН12</b>
Вміти засвоювати нові знання, прогресивні технології та інновації, знаходити нові нешаблонні рішення і засоби їх здійснення; відповідати вимогам гнучкості в подоланні перешкод та досягненні мети, раціонального використання та нормування часу, дисциплінованості, відповідальності за свої рішення та діяльність.	<b>ПРН13</b>
Виявляти навички самостійної та колективної роботи, лідерські якості, організовувати роботу за умов обмеженого часу з наголосом на професійну сумлінність.	<b>ПРН15</b>
Застосовувати розуміння теорії стохастичних процесів, методи статистичної обробки та аналізу даних при розв'язанні професійних завдань.	<b>ПРН16</b>
Демонструвати навички проведення експериментальних досліджень, пов'язаних з професійною діяльністю; вдосконалювати методики	<b>ПРН17</b>
Застосовувати методи математичного моделювання і оптимізації електронних систем для розробки автоматизованих та роботизованих виробничих комплексів.	<b>ПРН18</b>

## **5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ**

### **Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання**

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є:

- усне опитування під час лекцій та допуску до виконання лабораторних робіт;

- письмове опитування (проміжкові контрольні роботи по модулям);
- підсумковий контроль засвоєння модулів здійснюється по рейтинговій оцінці за стобальною шкалою з урахуванням оцінок по окремим модулям;
- проведення заліку.

### Форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання

#### Форми поточного контролю:

- здійснюється опитуванням;
- контролем самопідготовки до практичних занять;
- контролем за ходом виконання індивідуальних завдань;
- контролем самостійної роботи.

#### Форма модульного контролю:

- контроль знань здійснюється за двома модулями;
- кожний модуль оцінюється максимально в 100 балів.

#### Форма підсумкового семестрового контролю:

- в кінці вивчення дисципліни виводиться рейтинговий бал;
- враховується якість виконання індивідуальних завдань;
- проводиться залік.

Контроль знань здійснюється за двома модулями. Для контролю знань розроблений перелік теоретичних питань, завдання для самостійної роботи, зі змістом яких студенти знайомляться на початку семестру. Кожний модуль оцінюється максимально в 100 балів. В кінці вивчення дисципліни виводиться рейтинговий бал, який визначається як середньоарифметичне балів з 2 модулів.

Розподіл балів, які отримують студенти за модуль наведені в таблицях:

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 1)

Поточне оцінювання та самостійна робота			Письмова контрольна робота	Сума
Змістовний модуль 1				
Тема 1-5	Тема 6-10	Тема 11-14		
20	20	20	40	100

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 2)

Поточне оцінювання та самостійна робота			Письмова контрольна робота	Сума
Змістовний модуль 2				
Тема 15-19	Тема 20-23	Тема 24-27		
20	20	20	40	100

Вид діяльності Здобувача вищої освіти	Модуль 1		Модуль 2	
	кількість	максимальна кількість балів (сумарна)	кількість	максимальна кількість балів (сумарна)

Презентація	3	5	3	5
Реферат	3	5	3	5
Практичні заняття (виконання та захист)	5	10	4	10
Модульна контрольна робота	1	20	1	30
Разом		100		100

### Критерій оцінювання модульної контрольної роботи

При оцінюванні модульної контрольної роботи враховується обсяг і правильність виконаних завдань:

- оцінка «відмінно» ставиться за правильне виконання всіх завдань;
  - оцінка «добре» ставиться за виконання 75% усіх завдань;
  - оцінка «задовільно» ставиться, якщо правильно виконано більше 50% запропонованих завдань;
  - оцінка «незадовільно» ставиться, якщо пзавдань виконано менше від 50%.
- Неявка на модульну контрольну роботу - 0 балів.

### Ці оцінки трансформуються у рейтингові бали у такий спосіб:

- “5” – 40 балів;
  - “4” – 30 балів;
  - “3” – 20 балів;
  - “2” – 10 балів;
- Неявка на МКР - 0 балів.

### Критерій оцінювання підсумкового семестрового контролю

До складання заліку допускаються лише студенти, які мають рейтинговий бал не менше 35 і виконали індивідуальні завдання(презентації). Залік з навчальної дисципліни студент може не скласти, якщо він склав усі модулі та його влаштовує рейтингова оцінка. Студенти, які мають рейтинговий бал від 35 до 59 залік складають обов'язково. Студент може підвищити на заліку оцінку, при цьому рейтингова оцінка не може бути зменшена.

За результатами виконання студентом навчальної програми впродовж семестру рекомендується виставляти заліки без додаткового опитування за такою шкалою:

### Шкала оцінювання: вузу (ECTS та національна)

Сумарні бали	Оцінка ECTS	Залік	Вимоги до якості знань
90 – 100	A	Зараховано	Вищий рівень: студент глибоко і в повному обсязі засвоїв програмний матеріал,грамотно, вичерпно та логічно викладає його в усній або письмовій формі; при цьому знає рекомендовану літературу, виявляє творчий підхід і правильно обгрунтовує прийняті рішення, добре володіє різноманітними уміньми та навичками при виконанні практичних задач, відмінно виконує текстові та графічні матеріали.
82 – 89	B		Середній рівень: студент знає програмний матеріал, грамотно,викладає його в усній або письмовій формі; припускаючи неточність у доказах, трактовці понять та категорій, при цьому володіє необхідними уміньми та навичками при виконанні практичних задач, добре виконує текстові та графічні матеріали.
74 – 81	C		Достатній рівень:

64 – 73	D		студент знає тільки основний програмний матеріал, припускає неточності, недостатньо чіткі формулювання, непослідовність у викладанні відповідей у усній або письмовій формі, при цьому невпевнено володіє уміннями та навичками виконання практичних задач, задовільно виконує текстові та графічні матеріали.
60 – 63	E		
35 – 59	FX	Незараховано з можливістю повторного складання	Недостатній рівень: студент не володіє основним програмним матеріалом, допускає грубі помилки, які свідчать про нерозуміння матеріалу, у розрахунках отримані невірні результати, на запитання дає неправильні відповіді, припускає принципові помилки у доказах, трактовці понять та категорій; не володіє основними уміннями та навичками при виконанні практичних задач, потрібна додаткова навчальна робота з дисципліни.
1 – 34	F	Незараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	Незадовільний рівень: студент не розуміє і не орієнтується у матеріалі, володіє основним програмним матеріалом, розрахунки не проводить до кінця; не дає відповіді на запитання; потрібний повторний курс вивчення дисципліни.

## 6. Програма навчальної дисципліни

### 6.1. Зміст навчальної дисципліни.

#### Модуль 1. „НВЧ електроніка”

##### Тема 1. Вступ до предмету. Загальні відомості із теорії електромагнітного поля.

Основні положення. Лінії передач НВЧ. Рівняння Максвелла. Система одиниць. Граничні умови. Енергія електромагнітного поля. Поширення електромагнітних хвиль в атмосфері. Іоносфера. Особливості поширення хвиль НВЧ діапазону.

##### Тема 2. Лінії передачі НВЧ.

Коаксіальна лінія передачі. Двопровідна лінія передачі. Вита пара. Прямокутний хвилевід. Хвилі Н-типу. Хвилі Е-типу. Круглий хвилевід. Магнітні моди. Електричні моди. Хвилеводні моди в коаксіальній лінії. Хвилеводи з перерізом складної форми і квазістатичні хвилеводи. Енергетичні співвідношення для хвилеводів. Фазова та групова швидкості. Хвилі Бріллюена. Затухання в хвилеводах..

##### Тема 3. Основи теорії довгих ліній.

Поперечні хвилі в лінії передачі. Напруга, струм і потужність в ТЕМ-лінії. Коефіцієнт відбивання. Телеграфні рівняння. Інтерференція падаючої та відбитої хвилі в навантаженій лінії. Вхідний опір лінії передачі з навантаженням. Основні режими роботи лінії передачі. Трансформація опорів і провідностей. Короткозамкнута лінія. Розімкнута лінія. Лінія замкнута на активний опір. Лінія замкнута на реактивний опір. Трансформація опорів відрізками лінії. Півхвильовий відрізок. Четвертьхвильовий відрізок. Зображення відрізка лінії Т-подібним чотириполюсником. Номограма повних опорів. Багатопровідні лінії ТЕМ. Лінії з малими втратами.

##### Тема 4. Класифікація НВЧ пристроїв ( за типом поведінки пристрою; за структурою).

Поведінка НВЧ-пристроїв. Основні принципи розробки пристроїв НВЧ техніки. Матричні методи описання НВЧ пристроїв . Матриці розсіювання багатополісників. Хвилеводні матриці передачі багатополісників. Двополюсники. Перетворювачі НВЧ потужності. Чотириполюсники. Роз'єми і з'єднання. Переходи між лініями різних типів. Нерегулярності в хвилеводі. Згини і скрутки хвилеводів. Атенюатори. Фазообертачі. Узгоджуючі трансформатори.

##### Тема 5. Резонатори і фільтри НВЧ.

Основні типи резонаторів. Об'ємні резонатори. Відкриті резонатори. Діелектричні резонатори. Прокідні резонатори. Частотні фільтри.

Шестиполіусники. Y—трійники, E і H-трійники. Шестиполіусні подільники потужності.

#### **Тема 6. Восьмиполіусники и дванадцятиполіусники.**

Напрявлені відгалужувачі. Мостові пристрої. Хрестоподібні з'єднання. Резонатор біжучої хвилі. Лампи біжучої хвилі. Лампи оберненої хвилі. Прилади тиму «О» та «М». Дванадцяти поліусники.

#### **Тема 7. Ферритові НВЧ пристрої.**

Основні властивості ферритів на НВЧ. Ферритові пристрої на ефекті Фарадея. Вентилі з поперечнопідмагніченим ферритом. Фазові циркулятори.

#### **Тема 8. Фізичні основи работ напівпровідникових приладів НВЧ діапазону.**

Енергетичні зони напівпровідників. Процеси переносу заряду в напівпровідниках.  $p$ - $n$  — переходи. Структура пристроїв НВЧ техніки. Контактні явища. Бар'єр Шотткі. Пробій, пов'язаний із зміною напруги. Тунелювання. Ефекти часу прольоту. Біполярні НВЧ-транзистори. Польові транзистори. Точкові контактні діоди. Транзисторні методи для створення НВЧ-діодів.

#### **Тема 9. Варистори.**

Модуляція або перетворення частоти. Підсилення з малими завадами (шумами). Генерація і формування імпульсів. Діоди з керованим імпедансом ( $p$ - $i$ - $n$  діоди). НВЧ-переключачелі, НВЧ-запобіжники, модулятори НВЧ-потужності. Змінні атенюатори для управління амплітудою сигналу.

#### **Тема 10. Варакторні діоди.**

Електричні параметри напівпровідникової пластини варакторного діода. Статистичні коефіцієнти якості параметричних діодів. Характеристики варакторного діода (повна еквівалентна схема діода, НВЧ-вимірювання: вимірювання  $R_s$ ; вимірювання динамічної добротності; вимірювання критичної частоти. Електричні параметри діодної пластини.

#### **Тема 11. Принципи розрахунку параметрів варакторів.**

Епітаксіальні кремнієві варакторні діоди. Математична модель. Дифузійна ємність та діоди з швидким відновленням. Варактори для міліметрових хвиль. Скін-ефект. Діоди з контрольованою площею. Діоди з точковим контактом. Основні частотні обмеження. (100 Гц).

#### **Тема 12. Застосування варакторів.**

Співвідношення потужності Менлі-Роу. Параметричні пісилювачі (циркулярний тип; мостовий тип). Підсилювачі з екстремально низькими шумами. Генератори гармонік. Помножувачі. Потроювач з 4 на 12 Гц. Перетворювачі вверх (ПВ), випадок слабого сигналу і сильного сигналу.

#### **Тема 13. $p$ - $i$ - $n$ діоди.**

Опис і структура діода. Еквівалентна сх-ма. Поведінка при прямій напрузі зміщення. Поведінка при (оберненій) напрузі зміщення. Переключення із одного положення зміщення в інше. Розрахунок імпеданса діода. Обмеження за потужністю при використанні  $p$ - $i$ - $n$  діодів.

#### **Тема 14. Діодні НВЧ-перемикачі.**

Еквівалентна схема при від'ємному зміщенні, при прямому зміщенні. Змінні атенюатори. НВЧ-фазообертачі. Пасивні варакторні обмежувачі. Фізичні властивості бар'єру Шотткі. Напівпровідникові прилади з бар'єром Шотткі. (діоди, ВАХ діодів з бар'єром Шотткі). Конструкція і характеристики варисторів та вар акторів з бар'єром Шотткі. МОП-варактори.

### **Модуль 2. „НВЧ електроніка”.**

#### **Тема 15. Детекторні і змішувальні діоди та їх застосування.**

Характеристики детекторних і змішувальних діодів. Детектори слабих сигналів. Принципи побудови змішувачів. Коефіцієнт шуму (завади). Тунельні діоди. ВАХ тунельного діода. Трикутний бар'єр. Прямий тунельний струм. Збиткові і дифузійні струми. Конструкція тунельного діода. Еквівалентна схема.

#### **Тема 16. НВЧ-кола з тунельними діодами.**

Коефіцієнт підсилення і полоса пропускання підсилювача на тунельному діоді. Шумові характеристики тунельних діодів. Ефекти великих сигналів. Генератори на тунельному діоді. Генератор з одним стійким станом. Частотні перетворювачі на тунельних діодах. Детектори і змішувачі на тунельних діодах.

#### **Тема 17. Напівпровідникові аналоги вакуумних приладів.**

Лавинно-пролітні НВЧ-діоди. Динамічна від'ємна провідність. Лавинне множення носіїв заряду. Повна провідність лавинно-пролітних структур при малих сигналах. Теорія малих сигналів Ріда. Робота лавинно-пролітних пристроїв при великих амплітудах. Шумові властивості ЛПД. Основні режими роботи ЛПД. Генератор на лавинно-пролітному діоді. Технічний рівень промислово виготовлених ЛПД.

#### **Тема 18. Напівпровідникові прилади з об'ємною нестійкістю.**

Ефект Ганна і критерій Кремера. Міждолинний перенос електронів в арсеніді галію. Механізм міждолинного переносу. Особливості зонної структури GaAs. Динаміка ганновських доменів. Діод Ганна. Від'ємна диференціальна провідність діода. Генератор на діоді Ганна. Класифікація режимів роботи генераторів Ганна. Граничні параметри генераторів Ганна. Способи підвищення ефективності і верхньої частотної межі генератора Ганна.

#### **Тема 19. Конструкції діодних НВЧ генераторів.**

Основи напівпровідникової технології. Способи переналаштування частоти. Підвищення потужності напівпровідникових генераторів і освоєння міліметрового діапазону хвиль.

#### **Тема 20. Об'ємні прилади на арсеніді галію (GaAs).**

Об'ємні властивості *n-GaAs*. Лінійна „малосигнальна” теорія. Нелінійна теорія великих сигналів. Підсилювачі на *GaAs*. Генератори незатухаючих коливань НВЧ. Імпульсні генератори великої потужності.

#### **Тема 21. Основні принципи побудови НВЧ-суматорів.**

Конструкція суматорів потужності. Освоєння міліметрового і субміліметрового діапазону. НВЧ-транзистори. *p-n-p* – перехід. Конструкція напівпровідникової пластини. Обмеження частоти. Коефіцієнт підсилення струму при низьких частотах. Концентрація домішок у базовій області. Напрямок пробією колектора. Деякі технологічні питання. Матеріали для колектора. Дифузія в кремній. Дифузія в германій. Коефіцієнт підсилення потужності складного транзистора. Коефіцієнт шуму. Швидкість переключення. НВЧ підсилювачі. Однокаскадний транзисторний підсилювач. Транзисторний підсилювач на 4 ГГц. Принцип дії балансового підсилювача. Класифікація підсилювачів НВЧ.

#### **Тема 22. Перетворювачі частоти.**

Змішувачі. Перетворення частоти в змішувачі. Основні параметри змішувачів. Небалансні змішувачі. Балансні змішувачі. Подвійні балансні змішувачі. Кільцеві балансні змішувачі. Транзисторні змішувачі.

#### **Тема 23. Гарячі носії заряду.**

Фотопровідність другого роду ( $\mu$ -ефект). НВЧ-детектори з гарячими носіями заряду. Ефекти, які обумовлюють не лінійність та асиметрію вольт амперних характеристик детекторів з гарячими носіями заряду. ВАХ та ВВХ детекторів з ГНЗ.

#### **Тема 24. НВЧ-прилади з електростатичним управлінням електронним потоком. (тріоди тетроди).**

Принцип роботи. Застосування. НВЧ-прилади з динамічним управлінням електронним потоком. Модуляція за швидкістю (прилади типу „О”). Клістроны, лампи біжучої хвилі – О, лампи оберненої хвилі – О. Фізичні явища, що відбуваються в цих пристроях. Принципи роботи, застосування.

#### **Тема 25. НВЧ-прилади з формуванням модульованих електронних потоків із дрейфового руху електронів у перехресних магнітному і електричному полях. (прилади типу „М”).**

Магнетрони, платинотрони, лампи біжучої хвилі – М, лампи оберненої хвилі – М. Фізичні явища, що відбуваються в цих пристроях. Принципи роботи, застосування.

#### **Тема 26. Магнетрони.**

Будова магнетрона і принцип роботи.Клістри. Будова і принцип роботи клістри. Пролітні клістри. Відбивальні клістри. Багато резонаторні клістри. Параметри та характеристики. КПД.

**Тема 27. Тенденції розвитку сучасних НВЧ-пристроїв.**

**6.2. Структура навчальної дисципліни**

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин										
	денна форма						Заочна форма				
	усього	у тому числі					усьог о	у тому числі			
		л	п	ла б	ін д	с.р .		л	п	ла б	інд
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Модуль 1</b>											
<b>Модуль 1. „НВЧ Електроніка”.</b>											
<b>Тема 1.</b> Вступ до предмету. Загальні відомості із теорії електромагнітного поля. Основні положення. Лінії передач НВЧ.	4	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<b>Тема 2.</b> Лінії передач НВЧ. Коаксіальна лінія передачі. Двопровідна лінія передачі. Витяг пара. Прямокутний хвилевід.	4	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<b>Тема 3.</b> Основи теорії довгих ліній. Поперечні хвилі в лінії передачі. Напруга, струм і потужність в ТЕМ-лінії.	6	2	2	-	-	2	-	-	-	-	-
<b>Тема 4.</b> Класифікація НВЧ пристроїв ( за типом поведінки пристрою; за структурою).	4	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<b>Тема 5.</b> Резонатори і фільтри НВЧ	4	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-
<b>Тема 6.</b> Восьмиполюсники и дванадцятиполюсники.	4	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-
<b>Тема 7.</b> Ферритові НВЧ пристрої.	6	2	2	-	-	2	-	-	-	-	-
<b>Тема 8.</b> Фізичні основи работ напівпровідникових приладів НВЧ діапазону.	6	2	2	-	-	2	-	-	-	-	-
<b>Тема 9.</b> Варистори. Модуляція або перетворення частоти.	4	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<b>Тема 10.</b> Варакторні діоди.	4	-	2	-	-	2	-	-	-	-	-
<b>Тема 11.</b> Принципи розрахунку параметрів варакторів.	6	2	2	-	-	2	-	-	-	-	-
<b>Тема 12.</b> Застосування варакторів. Співвідношення потужності Менлі-Роу.	4	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-
<b>Тема 13.</b> p-i-n діоди.							-	-	-	-	-
<b>Тема 14.</b> Діодні НВЧ-перемикачі.							-	-	-	-	-
Разом за змістовим модулем 1	62	16	8	-	-	32	-	-	-	-	-
<b>Модуль 2</b>											
<b>Модуль №2 ”НВЧ Електроніка”.</b>											
<b>Тема 15.</b> Детекторні і змішувальні діоди та їх застосування.	4	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<b>Тема 16.</b> НВЧ-кола з тунельними	4	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-

діодами.											
<b>Тема 17.</b> Напівпровідникові аналоги вакуумних приладів. Лавинно-пролітні НВЧ-діоди.	4	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<b>Тема 18.</b> Напівпровідникові прилади з об'ємною нестійкістю. Ефект Ганна і критерій Кремера.	8	4	2	-	-	4	-	-	-	-	-
<b>Тема 19.</b> Конструкції діодних НВЧ генераторів.	8	4	2	-	-	4	-	-	-	-	-
<b>Тема 20.</b> Об'ємні прилади на арсеніді галію (GaAs).	4	2		-	-		-	-	-	-	-
<b>Тема 21.</b> Основні принципи побудови НВЧ-суматорів.	8	4	2	-	-	4	-	-	-	-	-
<b>Тема 22.</b> Перетворювачі частоти. Змішувачі.	4	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<b>Тема 23.</b> Гарячі носії заряду. Фотопровідність другого роду ( $\mu$ -ефект).	4	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<b>Тема 24.</b> НВЧ-прилади з електростатичним управлінням електронним потоком.	4	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<b>Тема 25.</b> НВЧ-прилади з формуванням модульованих електронних потоків із дрейфового руху електронів у перехресних магнітному і електричному полях.	4	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<b>Тема 26.</b> Магнетрони. Будова магнетрона і принцип роботи. Клістриони. Будова і принцип роботи клістриона.	4	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<b>Тема 27.</b> Тенденції розвитку сучасних НВЧ-пристроїв.	4	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<b>Разом за змістовим модулем 2</b>	<b>64</b>	<b>32</b>	<b>8</b>			<b>32</b>	-	-	-	-	-
<b>Усього годин</b>	<b>126</b>	<b>48</b>	<b>16</b>	-		<b>62</b>	-	-	-	-	-

### 6.3. Теми лабораторних занять

№ з/п	Тема	Кількість годин
1.	Вивчення ліній передач НВЧ сигналів.	2
2.	Вивчення властивостей оберненого діода.	2
3.	Вивчення тунельного діода. Вольт-амперна характеристика тунельного діода.	2
4.	Генератор на тунельному діоді..	1
5.	Генератор на діоді Ганна.	1
6.	Перетворювачі частоти..	1
7.	Генератор на ЛПД діоді.	1
8	Транзисторний підсилювач на 4 ГГц..	1
9	Вивчення роботи магнетрона.	1
10	Вивчення роботи клістриона.	

### 6.4. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Резонатори і фільтри НВЧ	2
2	Принципи розрахунку параметрів варакторів	4
3.	Детекторні і змішувальні діоди та їх застосування.	4

4.	Об'ємні прилади на арсеніді галію (GaAs).	4
5.	Гарячі носії заряду. Фотопровідність другого роду ( $\mu$ -ефект).	4

## 7. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИКОРИСТАННЯ ЯКИХ ПЕРЕДБАЧАЄ НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА

Комп'ютерний клас.

Програми: Simulink, VisSim, LabSim, MVTU, MATLAB, SimPowerSystems.

## 8. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

### Методичне забезпечення

1. Електронний навчальний курс з дисципліни „НВЧ електроніка” на платформі Moodle вміщує методичне забезпечення включаючи: лекції, презентації до лекцій, методичні вказівки до виконання лабораторних робіт, глосарій термінів тощо.

### Базова.

1. Харвей А.Ф. Техника сверхвысоких частот в 2-х томах., Из-во «Советское радио», М.-1965. – Т.1.- 759 с., Т.2.-754 с.
2. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. Учебное пособие в 2-х томах, Из-во, «Высшая школа», -М.-1970. Т.1- 438 с. Т.2.-375 с.
3. Трубецков Д.И., Храмов А.Е. лекции по СВЧ электронике., в 2-х томах. Физматлит, М.-2003,- Т.1.- 496 с., Т.2. – 648 с.
4. Альтман, Дж. Устройства СВЧ / Дж. Альтман; пер. с англ.; под ред. И. В. Лебедева. - М.: Мир, 1968. – 488 с.
5. Баскаков, С. И. Радиотехнические цепи с распределенными параметрами : учеб. пособие для вузов / С. И. Баскаков. - М.: Высш. шк., 1980. – 152 с.
6. Бова, Н. Т. Антенны и устройства СВЧ / Н. Т. Бова, Г. Б. Резни-ков. – 2-е изд., перераб. и дополн. – К.: Вища шк., 1982. – 278 с.
7. Воскресенский, Д. И. Устройства СВЧ и антенны. 2-е изд., доп. и пере-раб. / Д. И. Воскресенский, В. Л. Гостюхин, В. М. Максимов, Л. И. По-номарев. – М: Радиотехника, 2006. – 376 с.
8. Дробахин О.О., Плаксин С.В., Рябчий В.Д., Салтыков Д.Ю. Техника и полупроводниковая электроника СВЧ. Учебное пособие. Из-во «Вебер», -2013, с.314
9. Тюрнев В.В. Теория цепей СВЧ.-2006., 191 с.
10. Микроэлектронные устройства СВЧ / Н. Т. Бова, Ю. Г. Ефремов, В. В. Конин и др. – К.: Техніка, 1984. – 184 с.
11. Будурис, Ж. Цепи сверхвысоких частот / Ж. Будурис, П. Шеневье; пер. с фр.; под ред. А. Л. Зиновьева. – М.: Сов. радио, 1979. – 288 с.
12. Григорьев, А. Д. Электродинамика и техника СВЧ : учеб. для вузов по спец. «Электронные приборы и устройства» / А. Д. Григорьев. – М.: Высш. шк., 1990. – 335 с.
13. Григорьев, А.Д. Электродинамика и микроволновая техника : учебник / А. Д. Григорьев. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб: Лань, 2007. – 704 с.
14. Интегральные устройства СВЧ телекоммуникационных систем / М.Е.Ильченко, А.А.Липатов, Н.А.Могильченко, Т.Н.Нарытник, А.В.Савельев, Ю.И.Якименко. – К.:Техника, 1998. – 110 с.
15. Конструирование экранов и СВЧ-устройств: Учебник для ву-зов / Под ред. А. М. Чернушенко. – М.: Радио и связь, 1990. – 352 с.
16. Кукарин С.В. Электронные СВЧ приборы /С.В. Кукарин. – М.: Радио и связь, 1981. –272 с.
17. Левинштейн, М.Е. Эффект Ганна / М.Е. Левинштейн, Ю.К. Пожела, М.С. Шур. – М.: Сов. радио, 1975. – 288 с.

### Допоміжна

1. Левитский, С.М. Вакуумная и твердотельная электроника СВЧ/ С.М. Левитский, С.В. Кошечая.– К.: Вища шк., 1986.– 272 с.
2. Микроэлектроника: учеб. пособие для втузов. В 9 кн. / Под ред. Л.А. Коледова. Кн. 7. Микроэлектроника СВЧ устройств / И.Н. Филатов, О.А.Бакрунов, П.В.Панасенко.–М.: Высш. шк., 1988.–158 с.
3. Микроэлектронные устройства СВЧ: Учеб. Пособие для радиотехн. спец. вузов / Г. И. Веселов, Е. Н. Егоров, Ю. Н. Алехин и др.; Под. ред. Г. И. Веселова. – М.: Высш. шк., 1984. – 280 с.
4. Неганов, В. А. Теория и применение устройств СВЧ : Учебн. пособие для вузов / В. А. Неганов, Г. П. Яровой; Под ред. В. А. Неганова – М.: Радио и связь, 2006. – 720с.
5. Нефедов, Е.И. Устройства СВЧ и антенны : учебное пособие / Е. И. Нефёдов – М.: Академия, 2009. – 384 с.
6. Пасынков, В.В. Полупроводниковые приборы : Учеб. для вузов / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. – М.: Высш. шк., 1987. – 479 с
7. Проектирование радиолокационных приемных устройств: Учеб. пособие для радиотехнич. спец. вузов / А. П. Голубков, А. Д. Далматов, А. П. Лукошкин и др.; Под ред. М.А. Соколова. – М.: Высш. шк., 1984. – 335 с.
8. Проектирование радиоприемных устройств: Уч. пособие для вузов / Клич С. М., Кривенко А. С., Носикова Г. Н. и др.; Под ред. А. П. Сиверса. – М.: Сов. Радио, 1976. – 488 с.
9. Прохоров, Э. Д. Полупроводниковые материалы для приборов с меж-долинным переносом электронов / Э. Д. Прохоров, Н. И. Белец-кий. – Харьков: Висш. шк., Изд-во при Харьк. ун-те, 1982. – 144 с.
10. Прохоров, Э. Д. Квантово-размерные эффекты в твердотельных сверх-высокочастотных приборах /Э.Д. Прохоров. – Х.: Харьковский нац. ун-т им. В. Н. Каразина. – 2005. – 220 с.
11. Сазонов, Д. М. Устройства СВЧ: учеб. пособие / Д. М. Сазонов, А. Н. Гридин, Б. А. Мишустин. - М.: Высш. шк., 1981. - 295 с.
- 12.Твердотельные устройства СВЧ в технике связи / Л. Г. Гассанов, А. А. Липатов, В. В. Марков, Н. А. Могильченко. – М.: Радио и связь, 1988. – 288 с.
13. Фуско, В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование / В. Фуско; пер. с англ.; под ред. В. И. Вольмана. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
14. Царапкин, Д. П. Генераторы СВЧ на диодах Ганна / Д. П. Царапкин. – М.: Радио и связь, 1982. – 112 с.
15. Хелзайн, Дж. Пассивные и активные цепи СВЧ / Дж. Хелзайн; пер. с англ.; под ред. А. С. Галина. - М.: Радио и связь, 1981. - 200 с.

### Интернет-ресурси

1. [http://repository.dnu.dp.ua:1100/?page=inner\\_material&id=7804](http://repository.dnu.dp.ua:1100/?page=inner_material&id=7804)
2. [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/23943/1/Posib.LR\\_OTIK.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/23943/1/Posib.LR_OTIK.pdf)
3. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/814>
4. <https://www.yakaboo.ua/ua/svch-jelektronika-v-sistemah-radiolokacii-i-svjazi-tehnicheskaja-jenciklopedija-v-2-knigah-kniga-1.htm>
5. <https://studfile.net/preview/1906674/>
6. <http://lib.pnu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/6816/1/Lab%20practic%20NVCH.pdf>
7. <http://dSPACE.nbu.gov.ua/handle/123456789/52887/>