



## Пристрої НВЧ (ПО 10) (Microwave Devices)

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

<b>Рівень вищої освіти</b>	<i>Перший (бакалаврський)</i>
<b>Галузь знань</b>	<i>G - Інженерія, виробництво та будівництво</i>
<b>Спеціальність</b>	<i>G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка</i>
<b>Освітня програма</b>	<i>Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія</i>
<b>Статус дисципліни</b>	<i>Обов'язкова професійної підготовки</i>
<b>Форма навчання</b>	<i>Очна (денна) і очна прискорена (денна)</i>
<b>Рік підготовки, семестр</b>	<i>3 курс, весняний семестр</i>
<b>Обсяг дисципліни</b>	<i>Загальна кількість: 5 кредити ЄKTC/ 150 год. Лекційних занять: 44 год. Практичних занять: 16 год. Лабораторних занять: 16 год. Самостійна робота студентів: 74 год.</i>
<b>Семестровий контроль/ контрольні заходи</b>	<i>Семестровий контроль: екзамен Поточний контроль: модульна контрольна робота, захист лабораторних робіт, РГР</i>
<b>Розклад занять</b>	<i>Лекції (зазвичай, не менше ніж один раз на тиждень починаючи з 1-го тижня), лабораторні роботи і практичні заняття відповідно до <a href="https://schedule.kpi.ua/">https://schedule.kpi.ua/</a></i>
<b>Мова викладання</b>	<i>Українська</i>
<b>Інформація про керівника курсу / викладачів</b>	<i>Лектор: к.т.н., доц. кафедри радіоінженерії <b>Василенко Дмитро Олексійович</b> (dmytro.vasylenko@111.kpi.ua ), Лабораторні роботи: к.т.н., доц. кафедри радіоінженерії <b>Василенко Дмитро Олексійович</b> Практичні заняття: к.т.н., доц. кафедри радіоінженерії <b>Василенко Дмитро Олексійович</b></i>
<b>Розміщення курсу</b>	<i>Курс розміщено на платформі дистанційного навчання "Сікорський": <a href="https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=764">https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=764</a></i>

# Програма навчальної дисципліни

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

Сучасні системи (автомобілі, безпілотні апарати, літаки, ...) мають в своєму складі до 10-20 різноманітних антен із відповідними трактами передачі. Кожен тракт передачі вимагає вибору лінії передачі, побудови необхідних компонентів на основі обраної лінії передачі. Кожна антена вимагає пристроїв узгодження.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

### 1) Знання:

- принципів побудови, конструкцій, принципів дії пристроїв надвисоких частот (НВЧ) і антен та фізичних процесів, що в них відбуваються;
- основних властивостей пристроїв НВЧ та антен;
- методів розрахунків параметрів пристроїв НВЧ та антен;
- методики експериментального дослідження характеристик функціональних елементів антенно-фідерного тракту.

### 2) Уміння:

- розраховувати параметри пристроїв НВЧ;
- вибрати найбільш ефективні пристрої НВЧ для радіотехнічних систем, які працюють в різних частотних діапазонах;
- провести інженерні розрахунки основних характеристик пристроїв НВЧ;
- провести експериментальне дослідження характеристик і параметрів пристроїв НВЧ.

### 3) Досвід:

- виконання розрахунків вузькосмугових та широкосмугових узгоджуючи пристроїв коаксіального, мікросмужкового виконання;
- експериментального дослідження характеристик пристроїв НВЧ;
- роботи з апаратурою НВЧ діапазону.

Відповідно до освітньо-професійних програм (ОПП) першого «бакалаврського» рівня вищої освіти, після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають набути наступних програмних **компетентностей**:

### Загальні компетентності (ЗК)

ЗК 02 - Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

### Фахові компетентності (ФК)

ФК 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 творених методів, прийомів і програмних засобів автоматизації проектування.

ФК 16 - Здатність розраховувати основні параметри різних типів антен та пристроїв НВЧ, обирати найбільш ефективні антени та пристроїв НВЧ для радіотехнічних систем із заданими режимами роботи і заданими функціональними характеристиками, експериментально досліджувати характеристики та пристроїв НВЧ антен різних конструкцій і діапазонів частот.

ФК 17 - Здатність застосовувати сучасні САПР для проектування, конструктивного синтезу та високоефективної багатопараметричної оптимізації антен, активних та пасивних пристроїв НВЧ.

### **Програмні результати навчання (ПРН)**

Згідно ОПП першого «бакалаврського» рівня вищої освіти в результаті засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати наступні **програмні результати навчання**:

ПРН01 - Аналізувати, аргументувати, приймати рішення при розв'язанні спеціалізованих задач та практичних проблем телекомунікацій та радіотехніки, які характеризуються комплексністю та неповною визначеністю умов.

ПРН18 - Знаходити, оцінювати і використовувати інформацію з різних джерел, необхідну для розв'язання професійних завдань, включаючи відтворення інформації через електронний пошук.

ПРН29 - Вимірювати базові параметри антен, мікрохвильових пристроїв та активних приймальних систем НВЧ.

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

В структурно-логічній схемі освітньо-професійної програми підготовки фахівця першого (бакалаврського) рівня вищої освіти навчальна дисципліна «Пристрої НВЧ» входить до переліку нормативних дисциплін, спрямованих на формування професійних компетентностей фахівця.

*Пререквізити* – навчальна дисципліна має спеціалізований характер та викладається в 5-му семестрі 3-го курсу навчання. Для оволодіння цією дисципліною необхідні знання з наступних дисциплін: «Вища математика», «Загальна фізика», «Основи метрології», "Електродинаміка та поширення радіохвиль", "Схемотехніка", "Основи теорії кіл".

*Постреквізити* – знання, отримані за цією дисципліною, забезпечать оволодіння наступними дисциплінами: "Автоматизоване проектування антен та пристроїв НВЧ", "Антени", "Електромагнітна сумісність".

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### *ЛЕКЦІЙНІ ЗАНЯТТЯ*

#### **Розділ 1. Вступна частина.**

Тема 1.1. Пристрої надвисоких частот: основні визначення, класифікація, характеристики та параметри, області застосування. Основні інженерні підходи до проектування пристроїв НВЧ. Коротка характеристика програм для чисельного розрахунку елементів антенно-фідерного тракту (АФТ).

#### **Розділ 2. Лінії передачі в радіосистемах і пристроях НВЧ.**

Тема 2.1 Основні характеристики та параметри ліній передачі при проектуванні пристроїв НВЧ.

Тема 2.2. Основні типи ліній передачі та їх характеристики: двопровідні, багатопровідні, коаксіальні, хвилевідні, смужкові та мікросмужкові, діелектричні, волоконно-оптичні.

Тема 2.3. Математична модель регулярної лінії передачі. Вплив режиму хвиль в лінії передачі на коефіцієнт корисної дії та потужність передачі. Трансформація опорів в лініях передачі.

### **Розділ 3. Елементи антено-фідерних трактів (АФТ).**

Тема 3.1. Елементи АФТ: функціональне призначення, принципи роботи, характеристики.

Тема 3.2. Неоднорідності в лініях передачі та їх еквівалентні схеми.

### **Розділ 4. Багатополіусники НВЧ та їх характеристики**

Тема 4.1. Хвильові матриці розсіювання та передачі, матриці опорів та провідностей. Фізичний зміст їх елементів.

Тема 4.2. Взаємні, недисипативні, реактивні, симетричні багатополіусники, їх властивості.

Тема 4.3. Робочі параметри неузгодженого чотиріполіусника.

Тема 4.4. Метод синфазного та протифазного збудження та його застосування при визначенні елементів матриць розсіювання симетричних восьмиполіусників.

### **Розділ 5. Широкопосмугове узгодження.**

Тема 5.1. Синтез ступінчастих переходів з Чебишевською та максимально плоскою характеристиками робочого загасання.

### **Розділ 6. Направлені відгалужувачі і подільники.**

Тема 6.1. Направлені відгалужувачі (НВ): принципи дії, загальні характеристики.

Тема 6.2. Хвилевідні НВ зі зв'язком через отвори в широкій та вузькій стінках хвилеводу прямокутного поперечного перерізу.

Тема 6.3 Хвилевідно-щільний міст.

Тема 6.4. Смужкові НВ: подільник Вілкінсона; кільцевий направлений відгалужувач довжиною  $3/2 \lambda$ ; направлені відгалужувачі на зв'язаних лініях; НВ-Ланге. Їх топології і характеристики.

Тема 6.5. Шестиполіусний, узгоджений подільник на два (резистивний) – топологія, характеристики.

### **Розділ 7. Фільтри НВЧ.**

Тема 7.1. Класифікація фільтрів та приклади виконання. Апроксимація характеристик фільтрів. Фільтр-прототип.

Тема 7.2. Синтез фільтрів НВЧ. Синтез ФНЧ на мікросмужковій лінії із ступінчатою зміною опору.

Тема 7.3. Синтез фільтрів НВЧ на основі зв'язаних мікросмужкових резонаторів.

### **Розділ 8. Управляючі пристрої НВЧ діапазону.**

Тема 8.1. Класифікація, визначення, принципи побудови, характеристики. Р-і-п діод, як керуючий елемент пристроїв НВЧ та його характеристики.

Тема 8.2. Напівпровідникові фазозсувачі відбивного, прохідного типів та на лініях, що перемикаються.

Тема 8.3. Напівпровідникові атенюатори.

Тема 8.4. Анізотропні середовища

Тема 8.5. Керовані пристрої на ефекті Фарадея

Тема 8.6. Керовані пристрої з поперечним підмагніченням

Тема 8.7. Феритові та напівпровідникова фазозсувачі

### **ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ**

Метою практичних занять є оволодіння методами розв'язання основних завдань узгодження елементів антенно-фідерних трактів між собою. Практичні заняття передбачаються за такими темами:

- характеристики та параметри ліній передачі, трансформація опорів в лініях передачі;

- кругова діаграма повних опорів та її застосування для розв'язання задач узгодження та знаходження невідомого опору навантаження в лінії.
- вузькосмугове узгодження за допомогою дискретних елементів і за допомогою відрізків лінії передачі;
- широкосмугове узгодження коаксіальних, мікросмужкових, хвилеводних ліній передачі з різним характеристичним опором

### *ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ*

Основною метою лабораторних робіт є набуття студентами досвіду та навиків практичної роботи з апаратурою СВЧ діапазону, вміння провести експериментальні дослідження характеристик та параметрів антен і пристроїв НВЧ. Провести оброблення результатів досліджень та зробити висновки. Крім того, лабораторні роботи дозволяють викладачу здійснити контроль самостійної роботи студентів впродовж семестру.

Навчальні дослідження передбачаються за такими темами:

1. Дослідження фазозсувачів надвисоких частот.
2. Узгодження ліній передачі.
3. Дослідження смугопр пропускаючого фільтра на основі прохідного резонатора в хвилевідному виконанні.
4. Дослідження багатоотвірного хвилевідного направленої відгалужувача.
5. Дослідження невзаємних феритових пристроїв.
6. Дослідження подвійного хвилевідного трійника.
7. Дослідження хвилевідно-щілинного направленої відгалужувача.
8. Дослідження мікросмужкового подільника потужності.

### **Модульна контрольна робота**

#### **Екзамен**

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

Для підготовки до лекційних, лабораторних занять, модульної контрольної роботи, самостійної роботи тощо використовується базова та додаткова література (надалі – література). Література, яку треба використовувати для опанування дисципліни, опрацьовується студентами самостійно із застосуванням інтернет-ресурсів, на дистанційній платформі «Сікорський» із застосуванням платформи Moodle. За умов дистанційного навчання можна користуватися літературою, яка розміщена у електронному вигляді на університетських та зовнішніх носіях.

### **Базова література**

1. Василенко, Д. О. Пристрої надвисоких частот. Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія» за спеціальністю 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / Д. О. Василенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 5,67 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 182 с. – Назва з екрана. – Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57059>
2. Василенко, Д. О. Пристрої надвисоких частот. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія» за спеціальністю 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / Д. О. Василенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні

(1 файл: 1,37 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 51 с. – Назва з екрана. – Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57060>

3. Пристрої надвисоких частот. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. С. Вунтесмері, О. М. Купрій, А. Ф. Левіна, С. Є. Мартинюк, Ф. М. Репа. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,03 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 88 с. – Назва з екрана. – Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/52763>
4. Василенко, Д. О. Пристрої надвисоких частот: Курсова робота (Частина 1. Вузкосмугове узгодження комплексних навантажень) [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / Д. О. Василенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,76 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 79 с. – Назва з екрана. – Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45719>
5. Василенко, Д. О. Пристрої надвисоких частот. Курсова робота (Частина 2. Широкопсмугове узгодження навантажень) [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / Д. О. Василенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,18 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 63 с. – Назва з екрана. – Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50549>
6. Сучасні методи аналізу, синтезу і оптимізації пристроїв надвисоких частот та антен: методичні рекомендації для студентів напряму підготовки 6.050901 «Радіотехніка» [Електронний ресурс] / Д. О. Василенко. – К.: НТУУ «КПІ», РТФ, 2015. – 58 с. формату А4. - Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/16419>

#### Додаткова література

1. David M. Pozar. Microwave Engineering / David M. Pozar. – USA: John Wiley & Sons, 2005. – 700 p.

#### Інформаційні ресурси

1. <https://www.youtube.com/@AWRCorporation> – навчальні відео по користуванню програмою AWR Design Environment .

### Навчальний контент

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

Для вивчення навчальної дисципліни заплановано проведення 22 лекційних, 8 практичних занять та 6 лабораторних занять, під час яких студенти мають виконати модульну контрольну роботу і захист лабораторних робіт після їх виконання.

#### Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	Лекція 1.

	<p>Тема 1.1. Пристрої надвисоких частот: основні визначення, класифікація, характеристики та параметри, області застосування. Основні інженерні підходи до проектування пристроїв НВЧ. Коротка характеристика програм для чисельного розрахунку елементів антенно-фідерного тракту (АФТ).</p>
2	<p>Лекція 2. Тема 2.1. Найбільш суттєві характеристики та параметри ліній передачі при проектуванні пристроїв НВЧ. Тема 2.2. Основні типи ліній передачі та їх характеристики: двопровідні, багатопровідні, коаксіальні. Завдання на СРС: Розрахувати параметри кабелю РК75-4-11.</p>
3	<p>Лекція 3. Тема 2.2. Основні типи ліній передачі та їх характеристики: хвилевідні, смужкові та мікросмужкові, щілинні. Завдання на СРС: Розрахувати параметри мікросмужкової лінії при <math>\epsilon_{ps}=9.8</math>, <math>h=0.5</math>, <math>Z=50</math> Ом, <math>f=2.5</math> ГГц. Розрахувати параметри прямокутного хвилеводу при <math>a \times b=23 \times 10</math> мм, <math>f=10</math> ГГц, тип хвилі Н10. Розрахувати параметри круглого хвилеводу для <math>2a=20</math> мм, тип хвилі Н11, <math>f=10</math> ГГц.</p>
4	<p>Лекція 4. Тема 2.2. Основні типи ліній передачі та їх характеристики: діелектричні, волоконно-оптичні. Тема 2.3. Математична модель регулярної лінії передачі. Вплив режиму хвиль в лінії передачі на коефіцієнт корисної дії та потужність передачі. Трансформація опорів в лініях передачі.</p>
5	<p>Лекція 5. Тема 2.4. Вузкосмугове узгодження в лініях передачі. Кругова діаграма повних опорів і її застосування для розв'язання задач узгодження та знаходження невідомого опору навантаження в лінії. Тема 3.1. Елементи АФТ: функціональне призначення, принципи роботи, характеристики. Узгоджені навантаження, реактивні навантаження.</p>
6	<p>Лекція 6. Тема 3.1. Елементи АФТ: ізолятори, роз'єми, обертальні з'єднання, переходи між лініями передачі, перетворення типів хвиль, повороти ліній передачі. Тема 3.2. Неоднорідності в лініях передачі та їх еквівалентні схеми.</p>
7	<p>Лекція 7. Тема 3.2. Неоднорідності в лініях передачі та їх еквівалентні схеми Тема 4.1. Хвильові матриці розсіювання та передачі, матриці опорів та провідностей. Фізичний зміст їх елементів.</p>
8	<p>Лекція 8. Тема 4.2. Взаємні, недисипативні, реактивні, симетричні багатополіусники, їх властивості. Завдання на СРС: Записати матрицю розсіювання для відрізка лінії передачі, опору, ввімкненого послідовно і паралельно в лінію. Вивести формулу переходу від матриці <math>Z</math> і <math>Y</math> до матриці <math>S</math>.</p>
9	<p>Лекція 9. Тема 4.3. Робочі параметри неузгодженого чотиріполіусника.</p>
10	<p>Лекція 10. Тема 4.4. Метод синфазного та протифазного збудження та його застосування при визначенні елементів матриць розсіювання симетричних восьмиполіусників. Завдання на СРС: Записати <math>S</math>-параметри і вивчити роботу подвійного хвилевідного трійника.</p>

11	Лекція 11. Тема 5.1. Синтез ступінчастих переходів з Чебишевською характеристикою робочого загасання.
12	Лекція 12. Тема 5.1. Синтез ступінчастих переходів з максимально плоскою характеристикою робочого загасання.
13	Лекція 13. Тема 6.1. Направлені відгалужувачі (НВ): принципи дії, загальні характеристики. Тема 6.2. Хвилевідні НВ зі зв'язком через отвори в широкій та вузькій стінках хвилеводу прямокутного поперечного перерізу. Тема 6.3. Хвилевідно-щілинний міст.
14	Лекція 14. Тема 6.4. Смушкові НВ: подільник Вілкінсона; кільцевий направлений відгалужувач довжиною $3/2\lambda$ ; направлені відгалужувачі на зв'язаних лініях; НВ-Ланге. Їх топології і характеристики. Тема 6.5. Шестиполосний узгоджений подільник на два (резистивний) – топологія, характеристики.
15	Лекція 15. Тема 7.1. Класифікація фільтрів та приклади виконання. Апроксимація характеристик фільтрів. Фільтр-прототип.
16	Лекція 16. Тема 7.2. Синтез фільтрів НВЧ. Синтез ФНЧ на мікросмушковій лінії із ступінчатою зміною опору.
17	Лекція 17. Тема 7.3. Синтез фільтрів НВЧ на основі зв'язаних мікросмушкових резонаторів.
18	Лекція 18. Тема 8.1. Класифікація, визначення, принципи побудови, характеристики. Р-і-п діод, як керуючий елемент пристроїв НВЧ та його характеристики. Тема 8.2. Напівпровідникові фазозсувачі відбивного, прохідного типів та на лініях, що перемикаються.
19	Лекція 19. Тема 8.2. Напівпровідникові фазозсувачі відбивного, прохідного типів та на лініях, що перемикаються. Тема 8.3. Напівпровідникові атенюатори.
20	Лекція 20. Тема 8.4. Анізотропні середовища
21	Лекція 21. Тема 8.4. Анізотропні середовища Тема 8.5. Керовані пристрої на ефекті Фарадея
22	Лекція 22. Тема 8.6. Керовані пристрої з поперечним підмагніченням Тема 8.7. Феритові та напівпровідникова фазозсувачі Підведення підсумків

Лекційні заняття методично забезпечені методичними вказівками [1].

## Практичні заняття

Метою практичних занять є оволодіння методами розв'язання основних завдань узгодження елементів антенно-фідерних трактів між собою.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	Математична модель ліній передачі, характеристики і параметри ліній передачі та їх розрахунків, трансформація опорів в лініях передачі
2	Кругова діаграма повних опорів та її застосування для розв'язання задач узгодження та знаходження невідомого опору навантаження в лінії.
3	Вузькосмугове узгодження за допомогою дискретних елементів. Видача завдання на виконання 1 розділу розрахунково-графічної роботи
4	Вузькосмугове узгодження за допомогою за допомогою відрізків лінії передачі. Узгодження за допомогою шлейфа.
5	Вузькосмугове узгодження за допомогою за допомогою відрізків лінії передачі. Узгодження за допомогою чвертьхвильового трансформатора.
6	Широкосмугове узгодження коаксіальних, мікросмужкових, хвилеводних ліній передачі з різним характеристичним опором. Видача завдання на виконання 2 розділу розрахунково-графічної роботи. Класичний метод.
7	Широкосмугове узгодження коаксіальних, мікросмужкових, хвилеводних ліній передачі з різним характеристичним опором. Видача завдання на виконання 2 розділу розрахунково-графічної роботи. Класичний метод.
8	Широкосмугове узгодження коаксіальних, мікросмужкових, хвилеводних ліній передачі з різним характеристичним опором. Видача завдання на виконання 2 розділу розрахунково-графічної роботи. Теорія малого коефіцієнта відбиття.

Практичні заняття методично забезпечені методичними вказівками [2].

## Лабораторні заняття

Основною метою лабораторних робіт є набуття студентами досвіду та навиків практичної роботи з апаратурою НВЧ діапазону, вміння провести експериментальні дослідження характеристик та параметрів пристроїв НВЧ. Провести оброблення результатів досліджень та зробити висновки. Крім того, лабораторні роботи дозволяють викладачу здійснити контроль самостійної роботи студентів впродовж семестру. З метою вдосконалення навичок роботи з вимірювальними приладами НВЧ можливе проведення 6 з 8 лабораторних робіт, із самостійним вивченням студентами теоретичного матеріалу до двох інших.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	Дослідження фазозсувачів надвисоких частот. Ознайомлення з принципами побудови, конструкціями фазозсувачів надвисоких частот та експериментальне дослідження фазових характеристик поляризаційного та феритового фазозсувачів.
2	Узгодження ліній передачі. Ознайомлення з методами вузько- та широкосмугового узгодження пристроїв та ліній передачі. Експериментальне дослідження узгодження різних навантажень лінії передачі за допомогою діелектричного трансформатора.

3	Дослідження характеристик прохідного резонатора на основі двох реактивних неоднорідностей Ознайомлення з принципами побудови, роботи, конструкціями прохідних резонаторів та хвильовими процесами, що проходять в них. Експериментальне дослідження характеристик прохідного резонатора у хвилевідному виконанні.
4	Дослідження багатоотвірного хвилевідного направлено відгалужувача Ознайомлення з принципами роботи та побудови, конструкціями, характеристиками багатоотвірних хвилевідних направлених відгалужувачів (НВ) та методами їх розрахунку. Експериментальне дослідження характеристик та параметрів НВ.
5	Дослідження невзаємних феритових пристроїв. Ознайомлення із застосуванням, конструкціями і принципом дії невзаємних хвилевідних феритових пристроїв НВЧ діапазону. Експериментальне дослідження основних характеристик феритового вентиля і феритового циркулятора.
6	Дослідження подвійного хвилевідного трійника. Вимірювання значення елементів матриці розсіювання подвійного хвилевідного трійника
7	Дослідження хвилевідно-щілинного направлено відгалужувача. Ознайомлення з принципом дії, конструкцією, характеристиками та параметрами хвилевідно-щілинного направлено відгалужувача (ХЩНВ). Вимірювання елементів матриці розсіювання узгодженого направлено відгалужувача (НВ).
8	Дослідження мікросмужкового подільника потужності. Вимірювання частотних характеристик коефіцієнтів передачі та відбиття. мікросмужкового резистивного подільника потужності.

Лабораторні роботи методично забезпечені методичними вказівками [3].

### Платформа дистанційного навчання

Для кращого засвоєння матеріалу навчальної дисципліни в період дистанційної роботи, використовується електронна пошта, платформа дистанційного навчання «Сікорський» із застосуванням платформи Moodle, та платформа для проведення онлайн-зустрічей Google Meets та ZOOM, за допомогою яких:

- спрощується розміщення методичних рекомендацій, навчальних матеріалів, літератури тощо;
- здійснюється зворотній зв'язок зі студентами щодо навчальних завдань та змісту навчальної дисципліни;
- перевіряються і оцінюються виконані завдання;
- ведеться облік виконання студентами плану навчальної дисципліни, дотримання графіку подання навчальних/індивідуальних завдань та їх оцінювання;
- проводиться модульна контрольна робота.

## 6. Самостійна робота студента (СРС)

Самостійна робота передбачає: підготовку до лекцій, практичних та лабораторних занять; виконання РГР; самоконтроль набутих знань; опрацювання рекомендованих джерел та літератури; підготовку до виконання модульної контрольної роботи; виконання завдань для закріплення матеріалу практичних занять, підготовку до екзамену, тощо.

### **Підготовка до лекційних занять**

Для підготовки до лекційних занять студенту необхідно опрацювати заплановану базу та допоміжну літературу, рекомендовані джерела. Перед лекціями необхідно повторити теоретичний матеріал, що був наданий у попередніх лекціях, або заданий наперед. На це студенту виділяється приблизно до 1 години на кожну тему дисципліни.

### **Підготовка до лабораторних занять**

Студент повинен завчасно готуватись до лабораторних занять. Домашні завдання до лабораторних занять наведено в відповідному методичному посібнику. Завдання необхідно виконувати до початку відповідного лабораторного заняття.

### **Модульна контрольна робота (МКР)**

На підготовку до МКР відводиться до 2-х годин.

### **Розрахунково-графічна робота (РГР)**

Індивідуальне завдання на розрахункову роботу надає викладач практичних занять, який також встановлює граничні строки для її здачі.

Зміст завдання до РГР наведено нижче.

Частина 1. Узгодити комплексне навантаження  $Z_n$  з мікросмужковою лінією з характеристичним опором  $Z_0$  на частоті  $f_0$ . Для підкладинки мікросмужкової лінії задані відносна діелектрична проникність  $\epsilon$  і висота.

Узгодження виконати трьома способами:

- із застосуванням дискретних ємностей та індуктивностей;
- із застосуванням відрізків ліній передачі і паралельних шлейфів з характеристичним опором  $Z_0$ ;
- із застосуванням чвертьхвильового трансформатора (як компенсувати реактивний опір навантаження студент обирає самостійно).

Для способу 1 необхідно визначити, яка схема узгодження буде використовуватись і чому, зобразити на діаграмі Вольперта-Сміта всі необхідні перетворення, розрахувати номінали ємностей та індуктивностей на частоті  $f_0$  і нанести їх на схему узгодження. Для способів 2 і 3 необхідно зобразити на діаграмі Вольперта-Сміта всі необхідні перетворення (перехід уздовж лінії та/або визначення довжини шлейфа), розрахувати значення довжини і ширини всіх мікросмужкових ліній, намалювати схему узгодження (ширину і довжину ліній малювати у масштабі).

Для всіх способів узгодження необхідно розрахувати частотну залежність коефіцієнта відбиття отриманої схеми узгодження в діапазоні частот  $0.1f_0 - 2f_0$ . У висновках до необхідно порівняти отримані частотні залежності коефіцієнта відбиття для всіх способів узгодження.

Всі 3 типи узгодження необхідно реалізувати у САПР AWR Design Environment за допомогою ідеальних дискретних елементів та аналітичних моделей мікросмужкових елементів. Порівняти ширину робочої смуги частот і резонансну частоту узгодження, що отримані в результаті розрахунку та при моделюванні у САПР AWR Design Environment. Для узгодження за допомогою дискретних елементів необхідно замістити ідеальні компоненти їх S-параметрами з бази САПР AWR Design Environment і оцінити вплив реальних компонентів на якість вузькосмугового узгодження. Для узгодження за допомогою шлейфа зробити аналіз узгодження за допомогою EM симулятора АХІЕМ. Оцінити відмінності в якості вузькосмугового узгодження при моделюванні аналітичними блоками і при симуляції за допомогою EM симулятора.

Частина 2. Синтезувати ступінчастий перехід з характеристикою Чебишева від лінії з характеристичним опором  $R_n$  до лінії з характеристичним опором  $Z_0$  для смуги частот  $f_1$ - $f_2$ . Максимальний коефіцієнт відбиття в смузі частот складає  $\Gamma_0$ .

Синтез виконати методом невизначених коефіцієнтів. Розрахувати розміри вхідної і вихідної ліній передачі та ступінчастого переходу для мікросмушкової лінії на матеріалі з діелектричною проникністю 2.2 і висотою підкладки 1.524 мм для. Зробити рисунок ступінчастого переходу і проставити на них розміри ліній передачі.

### **Екзамен**

Екзамен проводиться згідно з розкладом екзаменаційної сесії. На підготовку до екзамену відводиться не менше 2 днів. Перелік питань для підготовки до екзамену знаходиться у інформаційному пакеті, що надається студентам на початку семестру. В період дистанційного навчання екзамен може бути проведений згідно графіку за допомогою Moodle та платформи для проведення онлайн-зустрічей Google Meets та ZOOM.

## **Політика та контроль**

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

#### **Відвідування занять**

Відвідування лекційних та лабораторних занять — згідно Положенню про організацію освітнього процесу КПІ ім. Ігоря Сікорського. Мінімум раз на два тижні 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 опановувати їх самостійно.

У будь-якому випадку студентам рекомендується відвідувати усі види занять, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання курсової роботи, лабораторних робіт та модульної контрольної роботи.

#### **Правила виконання завдань**

Опрацьовуючи навчальний матеріал навчальної дисципліни «Пристрої НВЧ», студенти:

- 1) на лекціях:
  - виконують невеликі завдання для самостійного опрацювання, які допомагають краще опрацювати тематику лекції;
  - виконують модульну контрольну роботу із застосуванням платформи «Сікорський»;
- 2) на лабораторних заняттях:
  - готують домашні завдання за власним завданням на основі вивчення джерел та літератури;
  - виконують завдання, поставлені до обов'язкового виконання відповідно до методичного посібника;
  - зберігають отримані результати для подальшого оформлення звітів по результатам виконання лабораторних робіт.

Завдання формуються викладачем на основі навчального матеріалу та подаються на платформі «Сікорський» (Moodle, Google Classroom) або в іншій формі.

## Правила захисту РГР

На захист РГР виносяться питання пов'язані із вузькосмуговим узгодженням. Зокрема, розглядаються такі питання:

1. Яка математична основа побудови діаграми Вольперта-Сміта?
2. Для заданого значення  $Z_H$  на діаграмі Вольперта-Сміта визначити:
  - значення провідності  $Y_H$ ;
  - модуль і фазу коефіцієнта відбиття;
  - коефіцієнт стоячої хвилі по напрузі (КСХН);
  - на якій відстані від навантаження буде знаходитись перший мінімум і перший максимум напруги в режимі змішаних хвиль.
3. Записати формулу обчислення вхідного опору лінії передачі довжиною  $l$ , яка навантажена на  $Z_H$ .
4. Розрахувати необхідну довжину паралельного шлейфа (з холостим ходом або коротким замиканням в кінці лінії) для заданого значення вхідного опору шлейфа.
5. Пояснити, чому існує діапазон опорів навантаження, які не можна узгодити за допомогою двохелементної схеми узгодження, що складається з паралельної і послідовної реактивності. Вміти намалювати заборонену зону для всіх двохелементних схем узгодження.
6. Як виконується узгодження комплексного навантаження з лінією передачі за допомогою паралельного реактивного шлейфа. В якому місці в лінію вмикається шлейф? Як визначити довжину шлейфа? Який характеристичний опір лінії шлейфа?
7. Як виконується узгодження комплексного навантаження з лінією передачі за допомогою чвертьхвильового трансформатора. Які є способи компенсації реактивної частини навантаження перед використанням чвертьхвильового трансформатора? Як визначити характеристичний опір лінії трансформатора?

Додатково можуть бути задані уточнюючі питання по варіанту РГР, який виконував студент.

## Правила поведінки на заняттях

Опрацьовуючи матеріал навчальної дисципліни «Пристрої НВЧ» студенти на лекціях уважно слухають лектора та за потреби записують важливу інформацію. Допускається діалог між студентами і викладачем у формі питань і відповідей.

На лабораторних заняттях студенти виконують завдання, поставлені до обов'язкового виконання. Робота студента передбачає участь у інтерактивних формах організації навчального заняття (надання відповідей на запитання, які були поставлені викладачем або студентами). Очікується, що кожен студент має бути готовим по всім питанням лабораторного заняття, доповнюватиме доповіді інших студентів та висловлюватиме власну думку під час обговорень питань, що виникли під час виконання завдань. Студентам дозволяється користуватися власними письмовим нотатками й конспектами. Допускається використання ноутбуків, планшетів, телефонів для реалізації навчальних цілей. При цьому варто намагатися висловлювати думку самостійно, а не зачитувати чужі тексти. Викладач критично аналізує виголошені доповіді, коментує допущені помилки, модерує дискусії між студентами.

Тематика лекцій і лабораторних занять висвітлена у робочій програмі дисципліни (силабусі), яка розміщена в Електронному кампусі, на вебсайті кафедри радіоінженерії, платформі «Сікорський» (Moodle, Google Classroom).

## 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 (відпрацювати лабораторну роботу) в присутності викладача. Якщо пропуск стався без поважної причини, то питання її відпрацювання вирішується з викладачем при погодженні з керівництвом кафедри. Пропущений екзамен не зараховується незалежно від причин пропуску; у такому випадку студент отримує запис у відомості «не з'явився», якщо має право допуску до екзамену, то повинен скласти екзамен на додатковій сесії.

### **Оголошення результатів контрольних заходів**

Результати виконання МКР оголошуються кожному студенту у його присутності або в дистанційній формі спілкування. При спілкуванні наживо, за бажанням студента, він може отримати пояснення, в яких можна побачити свою оцінку за певними критеріями оцінювання.

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>.

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

Система рейтингової оцінки успішності доводиться до відома студентів на першій лекції семестру. Хід одержання рейтингових балів повідомляється студенту викладачем, що виконує рейтингову оцінку успішності.

### **Поточний контроль**

Поточний контроль здійснюється під час навчальних занять і має на меті перевірити рівень підготовки студентів до навчальних занять. Під час лабораторних занять проводиться опитування здобувачів освіти по питаннях теми. Модульна контрольна робота проводиться у вигляді 4 тестів тривалістю по 20-25 хв як контроль залишкових знань з найважливіших розділів навчальної дисципліни.

### **Календарний контроль**

Календарний контроль проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Є два можливих результати календарного контролю: атестований (а) та неатестований (н/а). Результат залежить від кількості набраних балів на момент проведення календарного контролю відповідно до вимог КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Для отримання «зараховано» з першої проміжної атестації (8 тиждень) студент має одержати не менше ніж 60% відсотків балів за контрольні заходи, що відбулись до часу атестації.

Для отримання «зараховано» з другої проміжної атестації (16 тиждень) студент має одержати не менше ніж 60% відсотків балів за контрольні заходи, що відбулись до часу атестації.

## Семестровий контроль

Семестровим контролем вважається екзамен.

### Оцінювання та контрольні заходи

Рейтинг студента з дисципліни (РД) формується як сума балів поточної успішності навчання - стартового рейтингу (РС) та екзаменаційних балів (РЕ):

$$РД = РС + РЕ.$$

Розмір стартової шкали РС = 60 балів.

Розмір екзаменаційної шкали РЕ = 40 балів.

Розмір шкали рейтингу з дисципліни РД = 100 балів.

Стартовий рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що отримуються за:

- 1) роботу на 6 лабораторних заняттях;
- 2) модульну контрольну роботу у вигляді 4 тестів;
- 3) РГР.

Інформація по перерахованим пунктам, зведена в таблицю

№ з/п	Контрольний захід	Макс бал	Кіл-ть	Всього
1.	Робота на лабораторних заняттях	4	6	24
2.	Тест в межах модульної контрольної роботи	3	4	12
3	РГР	24	1	24
3.	Екзамен	40	1	40
	Всього			100

В таблиці наведені максимальні значення балів за відповідне завдання.

За лабораторні роботи студентом отримується кількість балів, пропорційна оцінці: 100% максимальної кількості балів відповідає оцінці відмінно, 60% максимальної кількості балів відповідає оцінці достатньо. Умовою максимальної оцінки для лабораторної роботи є виконання домашньої роботи до лабораторної роботи, відповідь на всі питання по методиці проведення вимірювань і основам роботи пристрою, що вимірюється, проведення вимірювань, оформлення звіту відповідно до вимог з висновками по отриманим результатам, відповідь на захисті роботи.

Набрані бали за тест в межах МКР масштабується до максимальної оцінки в 3 бали.

Виконання та захист розрахунково-графічної роботи (РГР) надає такі бали:

Вузькосмугове узгодження	
- безпомилкове розв'язання завдання	9
- розв'язання з неістотними помилками	6.5
- розв'язання з помилками	4.5
- незадовільне або несвоєчасне виконання	0
- безпомилкова відповідь при захисті РГР	9
- відповідь при захисті РГР з несуттєвими помилками	6.5
- відповідь при захисті РГР з помилками	4.5
- менше 50% відсотків відповідей на питання	0

Широкопосмугове узгодження	
- безпомилкове розв'язання завдання	6
- розв'язання з неістотними помилками	4.5
- розв'язання з помилками	3
- незадовільне або несвоєчасне виконання	0

Для того, щоб отримати найвищий рейтинг, студенту потрібно брати активну участь в лабораторних заняттях, активно доповнювати відповіді інших студентів, чітко й логічно висловлювати власну позицію з дискусійних питань, своєчасно виконувати МКР. Студенту дається одноразова можливість виконати МКР.

До зниження рейтингу студента призводить: невиконання МКР; неналежна підготовка до лабораторних занять; неточності, неповнота, помилки у відповідях чи ґрунтуваннях на не достовірних джерел.

Викладач оцінює роботу студента на кожному лабораторному занятті та виставляє бали за роботу та результати проведених МКР до модулю «Поточний контроль» Електронного кампусу. Результати першого і другого календарного контролю залежать від поточного рейтингу студента й заносяться викладачем до модулю «Календарний контроль» Електронного кампусу на восьмому й шістнадцятому тижнях навчання відповідно.

Студент може оскаржити оцінку викладача, подавши відповідну скаргу викладачу не пізніше наступного дня після ознайомлення студента з виставленою викладачем оцінкою. Скарга розглядатиметься за процедурами, встановленими університетом.

#### Умови допуску до семестрового контролю

Наявність кількості балів не менше 30 балів, захист всіх лабораторних робіт, зроблена і захищена РГР.

Завдання на екзамен складається з двох питань з переліку, що наданий у інформаційному пакеті для кредитного модуля.

Кожне питання оцінюється максимум у 20 бали.

Відповідь на кожне теоретичне питання надає такі бали:

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації)	20
- достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності)	15
- неповна відповідь (не менше 50% потрібної інформації та деякі помилки)	10
- незадовільна відповідь	0

Максимальний бал за екзамен складає 40 балів.

#### 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)

### Рекомендації студентам

Працюючи на лекції студенту варто записувати основні терміни та поняття, фіксувати головні події запропонованої теми, конспектувати узагальнення та висновки, які робить викладач. Цей матеріал стане в пригоді під час підготовки до лабораторних занять, МКР.

Готуючись до лабораторного заняття студент має обов'язково опрацювати лекційний матеріал певної теми, бажано ознайомитись з додатковими ресурсами в мережі. При виникненні питань, виявленні незрозумілих положень необхідно обговорити їх з викладачем. На лабораторному занятті кожен студент має намагатися власноруч оволодіти тими практичними навичками, якими є можливість оволодіти. Не слід відмовлятися від відповіді на питання викладача. Навіть якщо студент не знає відповіді, доцільно спробувати відповісти, висловити свою думку, виходячи з власних знань, досвіду, логіки запитання тощо. Однак, варто пам'ятати, що незнання матеріалу дисципліни є суттєвим недоліком роботи студента і буде негативно впливати на його загальний рейтинг. Відповідальне ставлення до підготовки на кожне лабораторне заняття дає змогу не лише правильно засвоїти навчальний матеріал, але й зекономити зусилля при проходженні семестрового контролю.

Студентам може бути зарахована тема курсу при наявності сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою.

### Дистанційне навчання

Можливе синхронне та асинхронне дистанційне навчання з використанням платформ для відео-конференцій (Google Meets, Zoom, тощо) та освітньої платформи дистанційного навчання «Сікорський» (Moodle).

### Інклюзивне навчання

Інклюзивне навчання допускається.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Склав:** доцент кафедри РІ, Василенко Дмитро Олексійович

**Ухвалено:** кафедрою радіоенженерії (протокол № 06/2025 від 17.06.2025 р.).

**Погоджено:** Методичною радою РТФ (протокол № 06/2025 від 26.06.2025 р.)