



# ТРАНСІВЕРИ СУЧАСНИХ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

|   |  |
|---|--|
| Рівень вищої освіти                               | бакалаврський  |
| Галузь знань                                      | 17 Електроніка та телекомунікації  |
| Спеціальність                                     | 172 "Телекомунікації та Радіотехніка"  |
| Освітня програма                                  | Радіотехнічні комп'ютеризовані системи   |
| Статус дисципліни                                 | Нормативна. Цикл професійної підготовки  |
| Форма навчання                                    | денна  |
| Рік підготовки, семестр                           | 3 курс, (V) осінній семестр  |
| Обсяг дисципліни                                  | 5/150  |
| Семестровий контроль/<br>контрольні заходи        | Екзамен/ Модульна контрольна робота  |
| Розклад занять                                    |  |
| Мова викладання                                   | Українська   |
| Інформація про<br>керівника курсу /<br>викладачів | Лектор: Омеляненко Михайло Юрійович <a href="mailto:omikle@ukr.net">omikle@ukr.net</a><br>Практичні : Омеляненко Михайло Юрійович <a href="mailto:omikle@ukr.net">omikle@ukr.net</a> ,<br>Лабораторні: Романенко Тарас Володимирович <a href="mailto:hohner_@ukr.net">hohner_@ukr.net</a> ,<br>Турєєва Ольга Василівна <a href="mailto:oltur@meta.ua">oltur@meta.ua</a> , <a href="mailto:@OlgaTurieieva">@OlgaTurieieva</a> |
| Розміщення курсу                                  | <a href="https://ecampus.kpi.ua">https://ecampus.kpi.ua</a> <a href="https://do.ipk.kpi.ua/user/index.php?id=6412">https://do.ipk.kpi.ua/user/index.php?id=6412</a>  |

### Програма навчальної дисципліни

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

Розвиток систем телекомунікацій, в тому числі супутникових систем зв'язку і систем спеціального призначення вимагає створення сучасних трансіверів для прийому-передачі сигналів. Приймально-передавальні пристрої різних призначень, діапазонів довжин хвиль та потужностей є найважливішою складовою технології обміну інформацією в радіотехнічних системах. Теорія та техніка проектування трансіверів, особливості їх роботи з частотною, фазовою та цифровою модуляцією, методи вимірювання параметрів та їх налаштування є предметом вивчення дисципліни. Реалізація генераторної та підсилювальної функції в діапазоні частот від 1 до 300 ГГц потужністю від одиниць Вт і вище із застосуванням електронно-вакуумних приладів. Найбільш перспективним напрямком проектування приймально-передавального обладнання є розробки в діапазоні надвисоких частот – від 2 до 150 ГГц. Сьогодні обладнання на ці частоти випускається серійно, у великих кількостях, причому в умовах жорсткої конкуренції. Це визначає необхідність радикально змінити всю технологічно-конструкторську базу НВЧ діапазону і підготувати спеціалістів, здатних проектувати сучасні приймально-передавальні пристрої у відповідності до загальних вимог як по електричним параметрам, так і по технологічності і ефективності виробництва. Перш за все, це стосується вміння адекватного застосування активних приладів, як твердотільних, так і електронно-вакуумних, а також, заміни традиційних хвилеведучих систем – об'ємних хвилеводів, коаксіалів на планарні лінії передачі, які

виготовляються методами інтегральної технології, а також необхідністю сконцентрувати енергію в об'ємах, співставних із розмірами сучасних твердотільних активних елементів (сотні мікрометрів).

Згідно з освітньо-професійною програмою дисципліна забезпечує

**Загальні компетентності (ЗК):**

- ЗК 04 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

Згідно з освітньо-професійною програмою дисципліна забезпечує

**Фахові компетентності (ФК):**

- ФК 06 Здатність проводити інструментальні вимірювання в інформаційно-телекомунікаційних мережах, телекомунікаційних та радіотехнічних системах.
- ФК 20 Здатність розробляти радіопристрої, вузли і підсистеми з заданими параметрами передачі прийому і обробки радіосигналів для функціонування у складі радіотехнічних комп'ютеризованих систем.
- ФК 21 Здатність здійснювати розробку сучасних радіотехнічних комп'ютеризованих систем, визначати їх технічні характеристики і параметри та застосовувати сучасні технології добування, передачі, прийому та відображення інформації.

Згідно з освітньо-професійною програмою студенти після засвоєння даної навчальної дисципліни мають продемонструвати

**Програмні результати навчання (ПРН):**

- ПРН 14. Застосування розуміння основних властивостей компонентної бази для забезпечення якості та надійності функціонування телекомунікаційних, радіотехнічних систем і пристроїв.
- ПРН 16. Застосування розуміння основ метрології та стандартизації у галузі телекомунікацій та радіотехніки у професійній діяльності.
- ПРН 19. Здійснювати стандартні випробування інформаційно-комунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем на відповідність вимогам вітчизняних та міжнародних нормативних документів.
- ПРН 24. Використовувати методи та способи розробки аналогових та цифрових радіопристроїв, систем і вузлів з урахуванням вимог до якості, надійності, характеристик і параметрів функціонування.
- ПРН 27. Визначати основні параметри, особливості та розробляти основні вузли і підсистеми трансиверів і антен для сучасних радіолокаційних і радіонавігаційних систем добування інформації.

**Предмет** вивчання дисципліни «**Трансивери сучасних радіотехнічних систем**»

є принципи побудови, методика розрахунків, схемо-технічні та конструкторсько-технологічні рішення проектування трансиверів радіотехнічних систем з заданими параметрами передачі прийому і обробки радіосигналів.

**знання:**

- основ проектування, виробництва та випробування телекомунікаційних та радіотехнічних пристроїв і систем, засобів їх автоматизованого проектування
- фізичних основ роботи електронних та квантових приладів НВЧ;
- принципів інженерно-конструкторської реалізації твердотільних та електронно-вакуумних приладів для роботи в НВЧ діапазоні;
- основних методів електродинамічного аналізу сучасних НВЧ пристроїв;

- методів інженерних розрахунків НВЧ вузлів, розроблених у вигляді гібридних та монолітних інтегральних схем, які базуються на застосуванні матриці розсіювання і передачі, що найбільше пристосовано до алгоритмізації й використанню ЕОМ;
- принципів інженерно-конструкторської реалізації сучасних трансіверів НВЧ діапазону у гібридно-інтегральному виконанні.

#### **уміння:**

- застосовувати основні властивості компонентної бази для забезпечення якості та надійності функціонування трансіверів у складі телекомунікаційних радіотехнічних систем.
- визначати основні параметри, особливості реалізації та розробляти основні вузли трансіверів для сучасних радіолокаційних і радіонавігаційних систем добування інформації.
- враховувати особливості роботи електронних приладів НВЧ діапазону з урахуванням сучасних тенденції розвитку радіотехнічних систем;
- виконати інженерний розрахунок сучасного інтегрального планарного і хвилеводно-планарного НВЧ пристрою (фільтру, вузлів узгодження, змішувача, модулятора, атенюатора та інше);
- аналізувати та вимірювати основні характеристики електронних приладів як основи надпотужних трансіверів НВЧ діапазону та вимірювати основні характеристики трансіверів радіотехнічних систем на сучасному вимірювальному та стендовому обладнанні.

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

Міждисциплінарні зв'язки: дисципліна базується на знаннях матеріалу курсів «Загальна фізика», «Вища математика», «Основи теорії кіл», «Електродинаміка та поширення радіохвиль», «Основи теорії телекомунікацій і радіотехніки. Частина 2. Сигнали та процеси в радіотехніці», «Схемотехніка .Частина 2. Аналогова схемотехніка»

Одержані знання та навички після вивчення цієї дисципліни використовуються подалі в дисциплінах «Передавання інформації в радіотехнічних системах», «Радіолокаційні системи», «Розробка та виготовлення радіотехнічних комп'ютеризованих систем», при виконанні курсових робіт та дипломних проєктів.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Навчальна дисципліна містить кредитні модулі:

- 1) Трансівери сучасних радіотехнічних систем
- 2) Курсова робота.

Кредитний модуль 1.

**Розділ 1.** Загальна схема побудови трансіверів НВЧ діапазону довжин хвиль. Різновиди. Особливості побудови гібридних і монолітних інтегральних схем трансіверів. Потужні трансівери супутникових систем.

**Розділ 2.** Приймальні тракти трансіверів. Параметри якості: шумова температура, чутливість, динамічний діапазон.

**Розділ 3.** Огляд електродинамічних систем як основи для побудови гібридних і монолітних схем приймачів трактів трансіверів НВЧ діапазону.

**Розділ 4.** Структурні елементи приймальних трактів трансіверів НВЧ діапазону.

Тема 4.1 Фільтри (ФНЧ, ФВЧ, смугові). Розрахунок, реалізація, параметри.

Тема 4.2. Малошумні транзисторні підсилювачі. Розрахунок, реалізація, параметри.

Тема 4.3. Перетворювачі частоти. Змішувачі. Різновиди змішувачів. Розрахунок, реалізація, параметри.

Тема 4.4. Гетеродини перетворювачів частоти. Розрахунок, реалізація, параметри.

Тема 4.5. Монолітні інтегральні схеми синтезаторів частоти. Монолітні інтегральні схеми синтезаторів з ГКН.

Тема 4.6. Підсилювачі проміжної частоти. Монолітні інтегральні схеми підсилювачів проміжної частоти. Параметри.

**Розділ 5.** Особливості конструювання приймальних блоків трансіверів. Приклади реалізації.

**Розділ 6.** Структурні схеми передавальних трактів передавачів НВЧ діапазону: незалежний тракт передачі; робота передавача в якості ретранслятора.

**Розділ 7.** Структурні елементи передавальних трактів трансіверів НВЧ діапазону.

Тема 7.1. Перетворювачі частоти вгору. Розрахунок, реалізація, параметри.

Тема 7.2. Схеми побудови транзисторних підсилювачів малого і середнього рівня потужності. Розрахунок, реалізація, параметри.

Тема 7.3. Схеми побудови транзисторних підсилювачів рівня потужності приблизно до 1кВт. Складання потужностей: схеми побудови, реалізація, параметри.

**Розділ 8.** Схеми побудови передавальних трактів надвисокого рівня потужності потужних трансіверів.

Тема 8.1. Електровакуумні прилади із статичним керуванням електронним потоком. Принцип роботи, область використання, параметри.

Тема 8.2. Принцип динамічного керування електронним потоком. Принцип роботи підсилювального клістрона. Основні рівняння, конструкції і параметри приладів.

Тема 8.3. Принцип динамічного керування електронним потоком у приладах із тривалою взаємодією. Принцип роботи лампи біжучої хвилі (ЛБХ).

Тема 8.4. Основні рівняння для ЛБХ. Конструкції приладів, параметри.

**Розділ 9.** Антенні пристрої трансіверів НВЧ діапазону. Розв'язка приймального і передавального трактів. Пристрої селекції поляризації.

**Розділ 10.** Трансівери НВЧ діапазону як елементи сучасних радіотехнічних комп'ютеризованих систем. Приклади.

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### Основна література

1. Радіопередавальні пристрої : навчальний посібник / В. М. Ткачук, С. М. Цирульник, Т. А. Петренко. – Вінниця : Т. П. Барановська, 2015. – 188 с. ISBN 978-617-7233-03-8
2. Омеляненко М.Ю. Трансівери сучасних радіотехнічних систем. Лабораторний практикум [рукопис навчального посібника для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи»]
3. Омеляненко, М.Ю. Трансівери сучасних радіотехнічних систем. Практикум [рукопис навчального посібника для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи»]
4. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Основи теорії електромагнітного поля.: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. Ч2/В.М Шокало, В.І. Правда, В.А. Усін, В.С. Вунтесмері, Д.В. Грецьких/ Харків, Колегіум. 2011

##### Допоміжна

1. David M. Pozar, Microwave Engineering, John Wiley & Sons, 2011.
2. Електронне навчальне видання: [О.М.Антонець, В.О.Дмитрук, М.Ю.Омеляненко, І.О.Товкач, О.В.Туреева ] «Радіопередавальні пристрої, частина III Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт » К.: НТУУ "КПІ", 2017. – 88 с. Свідоцтво про надання грифа РТФ№ 029/17. Протокол № 09/2017 від 25.09.2017.
3. Omelianenko, M., Pravda, V.I., Turieieva, O. et al. Fully planar subscriber station transceivers of broadband access systems in Ku- and Ka-bands. Radioelectron.Commun.Syst. 55, 49–64 (2012). <https://doi.org/10.3103/S073527271202001X>
4. Thomas H. Lee Planar Microwave Engineering: A Practical Guide to Theory, Measurement, and Circuits. Cambridge University Press. 2004

#### Навчальний контент

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

Планується проведення лабораторних робіт з метою засвоєння лекційного матеріалу та набуття досвіду роботи з сучасною вимірювальною апаратурою шляхом дослідження характеристик реальних вузлів трансіверів та розрахунку систем на їх основі .

Тема 1. Дослідження характеристик смугових хвилеводно-планарних фільтрів.  
Тема 2. Дослідження синтезатора частоти непрямого синтезу на основі МІС.  
Тема 3. Дослідження пасивних характеристик змішувача діапазону 21 ГГц.  
Тема 4. Дослідження роботи змішувача в складі приймальної частини трансівера.  
Тема 5. Дослідження характеристик електронно-керованого атенюатора на р-і-п діодах.  
Тема 6. Дослідження характеристик підсилювача потужного трансівера на лампі біжучої хвилі (ЛБХ).

Тема 7. Дослідження характеристик фазового маніпулятора на р-і-п діодах.

Тема 8. Дослідження принципів динамічного керування електронним потоком на прикладі роботи відбивного кліструну.

Планується проведення практичних занять з метою засвоєння лекційного матеріалу та формуванню умінь і навичок проектування реальних вузлів трансіверів.

Тема 1. Шлейфова схема узгодження

Тема 2. Синтез фільтра нижніх частот

Тема 3. Синтез багатосекційних трансформаторів

Тема 4. Синтез плавних переходів

Тема 5. Схеми узгодження транзистора в підсилювачі діапазону НВЧ

Тема 6. S,T-матриці. Зв'язок між елементами матриць. Застосування для опису чотирьохполюсників і їх з'єднань.

## 6. Самостійна робота студента/аспіранта

На самостійну роботу студентів відводиться 42 годин. Вона складається з:

- опрацювання матеріалу лекцій – 4 год.;
- підготовки до практичних занять – 6 год.;
- підготовки до лабораторних робіт, проведення необхідних розрахунків та оформлення протоколів лабораторних робіт, підготовка до захисту лабораторних робіт – 6 год.;
- підготовка до модульних контрольних робіт – 8 год.;
- підготовка до екзамену – 18 год.

## Політика та контроль

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

#### **Рекомендовані методи навчання:**

- метод проблемного навчання: проблемний виклад на окремих лекціях, і дослідницький метод при виконанні лабораторних робіт;
- особистісно-орієнтований - у вигляді навчальних дебатів під час проведення практичних занять і виконанні лабораторних робіт;
- розробка і застосування комп'ютерних засобів при виконанні РГР.

**Правила відвідування занять.** Відвідування лекцій, практичних та лабораторних занять є обов'язковою, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрових контрольних заходів. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за своєчасність і якість виконання лабораторних робіт, РГР та участь в практичних заняттях.

**Призначення заохочувальних та штрафних балів.** Заохочувальні бали виставляються за: активну участь на лекціях, лабораторних та практичних заняттях, Кількість заохочуваних балів не більше 10; Штрафні бали можуть виставлятися за: невиконання або невчасне виконання завдань. Кількість штрафних балів не більше 10.

**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>.

**Навчання іноземною мовою** Навчальна дисципліна «Трансівери сучасних радіотехнічних систем» передбачає її вивчення українською мовою. У процесі викладання навчальної дисципліни використовуються матеріали та джерела українською та англійською мовою.

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

Рейтингова оцінка з дисципліни RD (тобто екзаменаційна оцінка за семестр) формується як сума балів поточної успішності навчання та екзаменаційних балів. RD розраховується за 100-бальною шкалою. Рейтинг студента складається з балів, які він отримує за:

- експрес-контроль з лабораторних занять. Контроль проводиться у вигляді індивідуального опитування за темою лабораторного заняття;
- виконання та захист лабораторних робіт;
- експрес-контроль з практичних занять. Контроль проводиться у вигляді перевірки завдання по темі практичного заняття;
- модульну контрольну роботу;
- відповідь на екзамені;

### Штрафні та заохочувальні бали:

- активна участь у лабораторних заняттях      плюс 2 бали

### Система рейтингових балів та критерії оцінювання в семестрі

1. В семестрі виконується 8 ЛР. За кожен ЛР нараховуються бали:

1а. Експрес-контроль з лабораторних занять

- повна відповідь      1 бали
- повна відповідь з неістотними помилками      0,5 балів
- неправильна відповідь      0 балів

Максимальна сума балів за експрес-контроль      **8 балів**

1б. Захист лабораторних робіт (ЛР)

- повна відповідь при захисті ЛР      2 бали
- неповна відповідь при захисті ЛР      1 бал
- незадовільна відповідь при захисті ЛР      0 балів

Максимальна сума балів за ЛР      **8+16=24 бали**

2. Експрес-контроль з практичних занять

- повна відповідь      3 бали
- повна відповідь з неістотними помилками      2 бали
- неправильна відповідь      0 балів

Максимальна сума балів за експрес-контроль      **18 балів**

3. Модульний контроль МКР :

- повна відповідь      18 балів
- відповідь має неістотні неточності      15 балів
- відповідь неповна, є істотні помилки      10 балів
- незадовільна відповідь, немає відповіді      0 балів

Максимальна сума балів за МКР      **18 балів**

### Розрахунок шкали рейтингу

Сума максимально можливих балів контрольних заходів (поз.1-3) протягом семестру складає:

$$R_{\text{сем}} = 24 + 18 + 18 = 60 \text{ балів}$$

Екзаменаційна оцінка шкали RD дорівнює 40% і становить 40 балів:

$$RD = R_{\text{сем}} + R_{\text{екз}} = 60 + 40 = 100 \text{ балів}$$

Умовою допуску до екзамену є сума балів не менше  $0,5 * R_{\text{сем}}$  тобто  $> 30$  балів та відсутність заборгованостей з лабораторних робіт.

Студентам, які мають  $R_{\text{сем}}$  менше 30 балів, протягом останнього тижня семестру надається можливість підвищити  $R_{\text{сем}}$  та отримати допуск до семестрового екзамену.

Без додаткового опитування (автоматом) студент може отримати тільки оцінки «дуже добре» та «добре». При цьому, стартовий рейтинг студента повинен бути не менше ніж  $0,9 \cdot R_{\text{сем}}$  тобто  $> 54$  бали. Рейтингові оцінки з дисципліни для виставлення їх до екзаменаційної відомості та залікової книжки трансформуються до таблиці 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)

### Перелік питань які виносяться на семестровий контроль.

- Загальна схема побудови трансіверів НВЧ діапазону довжин хвиль.
- Особливості побудови гібридних і монолітних інтегральних схем трансіверів.
- Потужні трансівери супутникових систем.
- Приймальні тракти трансіверів. Структурна схема.
- Характеристики приймальної частини трансівера: шумова температура, чутливість, динамічний діапазон.
- Електродинамічні системи для побудови гібридних схем приймачів трансіверів НВЧ діапазону.
- Принципи побудови цифрових керованих атенуаторів НВЧ у вигляді МІС.
- Діоди НВЧ діапазону із бар'єром Шоткі. ВАХ, еквівалентна схема, параметри.
- Діодні змішувачі НВЧ. Однодіодні змішувачі. Недоліки, реалізація, параметри.
- Балансні змішувачі. Переваги, реалізація, параметри.
- Субгармонійні змішувачі НВЧ.
- Перетворювачі частоти. Змішувачі. Різновиди змішувачів. Розрахунок, реалізація, параметри.
- Транзистори НВЧ діапазону.
- Транзисторні підсилювачі потужності. Стійкість транзисторів. МСЛ реалізація, параметри.
- Сумування потужностей. Потужні транзисторні підсилювачі. Шляхи побудови.
- Малошумлячі транзисторні підсилювачі НВЧ діапазону. Шумова температура. Шумове узгодження, оптимальний коефіцієнт відбиття.
- Транзисторні генератори НВЧ діапазону. ГІС простого транзисторного генератора.
- Транзисторний ГКН (VCO). ГІС ГКН.
- Стабілізація частоти транзисторного генератора. ГІС стабілізованого генератора на ДР.
- Спектральна щільність генератора і її важливість, як характеристики генератора.
- Синтезатори частоти, принцип роботи, параметри.
- Гетеродини перетворювачів частоти. Розрахунок, реалізація, параметр.
- Монолітні інтегральні схеми синтезаторів частоти. Монолітні інтегральні схеми синтезаторів з ГКН.
- Фільтри (ФНЧ, ФВЧ, смугові). Розрахунок, реалізація, параметри.
- Підсилювачі проміжної частоти. Монолітні інтегральні схеми підсилювачів проміжної частоти. Параметри.
- Структурна схема передавального тракту трансівера.
- Робота передавача в якості ретранслятора.
- Перетворювачі частоти вгору. Розрахунок, реалізація, параметри.
- Схеми побудови транзисторних підсилювачів малого і середнього рівня потужності. Розрахунок, реалізація, параметри.
- Складання потужностей: схеми побудови, реалізація, параметри.
- Побудови передавальних трактів потужних трансіверів.

- Принцип роботи підсилювального клістрона. Основні рівняння, конструкції і параметри приладів.
- Принцип роботи лампи біжучої хвилі (ЛБХ).
- Пристрої селекції поляризації. Призначення, конструкція, параметри.

**Робочу програму навчальної дисципліни (Силабус):**

**Складено** старший викладач Омеляненко Михайло Юрійович.

**Ухвалено** кафедрою РТС (протокол №06/22 від 14.06.2022)

**Погоджено** методичною комісією факультету (протокол № 06-2022 від 29.06.2022)