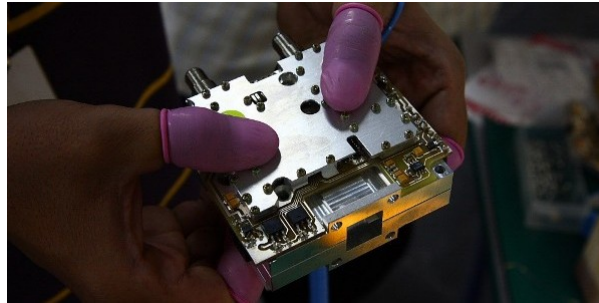




# [RE-186] ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ НВЧ



## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	17 - Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність	172 - Електронні комунікації та радіотехніка
Освітня програма	Всі ОП
Статус дисципліни	Вибіркова (Ф-каталог)
Форма здобуття вищої освіти	Очна
Рік підготовки, семестр	Доступно для вибору починаючи з 1-го курсу, весняний семестр
Обсяг дисципліни	5 кред. (Лекц. 18 год, Практ. год, Лаб. 36 год, СРС. 96 год )
Семестровий контроль/контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	<a href="https://rozklad.kpi.ua">https://rozklad.kpi.ua</a>
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лекц.: <a href="#">Омелянченко М. Ю.</a> , Лаб.: <a href="#">Турєєва О. В.</a> , СРС.: <a href="#">Турєєва О. В.</a>
Розміщення курсу	<a href="https://do.ipk.kpi.ua/">https://do.ipk.kpi.ua/</a>

### Програма навчальної дисципліни

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

**Проектування інтегральних пристроїв надвисокочастотного діапазону** – це дисципліна, що вивчає основні методи електродинамічного аналізу та інженерних розрахунків надвисокочастотних вузлів сучасних інтегральних НВЧ пристроїв, розроблених у вигляді гібридних та монолітних інтегральних схем - ГІС та МІС.

Чому питання щодо особливих ліній передачі для побудови гібридних та монолітних інтегральних схем ми з вами виділяємо в окремий курс вивчення інтегральних пристроїв НВЧ?

Ще зовсім нещодавно приблизно 10÷15 років тому це було не дуже очікувано, оскільки у якості активних приладів використовувалися електронно-вакуумні прилади, для яких внутрішньо притаманне *об'ємне виконання*. Причому найбільш зручним для виготовлення всіх функціональних вузлів систем було використання хвилеводної техніки. Системи ці, до речі, як правило мали військове призначення. Розвиток зв'язку, космічних технологій, медицини, транспорту, нових виробництв призвело до широкого освоєння НВЧ діапазону – частот від 2 до 150 ГГц. Сьогодні обладнання на ці частоти випускається серійно, у великих кількостях, причому в умовах жорсткої конкуренції. Останнє зумовило необхідність радикально змінити всю технологічно-конструкторську базу НВЧ діапазону. Перш за все, це стосувалось заміни активних приладів на твердотільні і, як наслідок, зміни хвилеведучих систем – заміну об'ємних (хвилеводів, коаксіалів) ліній передачі на планарні, які можуть бути виготовлені методами інтегральної технології. Така заміна була зумовлена також необхідністю сконцентрувати енергію в об'ємах, співставних із розмірами нових твердотільних активних елементів, які складали сотні мікрометрів, що у декілька тисяч разів менше за розміри електронно-вакуумних приладів. Таким чином, хвилеведучі системи, які становлять електродинамічну основу ГІС і МІС, є тим середовищем, на базі якого побудовані сучасні НВЧ пристрої.

Проектування високоякісних технологічних **інтегральних вузлів НВЧ діапазону, зокрема** наднизько-шумлячих генераторів та підсилювачів, змішувачів та помножувачів частоти, електронно-керованих амплітудних та фазових модуляторів, гібридно-інтегральних фільтрів, тощо є основою для створення радіотехнічних інформаційних систем в перспективному мікрохвильовому діапазоні.

При вивченні зазначеної дисципліни розглядаються конструкції зазначених пристроїв НВЧ в більшості застосованих сьогодні електродинамічних систем, причому основна увага приділяється проектуванню у гібридно-інтегральному виконанні. Відносно кожного пристрою розглядаються сучасні методи його розрахунку, які базуються на застосуванні матриці розсіювання і передачі, що найбільше пристосовано до алгоритмізації й використанню ЕОМ. Розглядаються також сучасні методи конструювання багатофункціональних пристроїв: приймачів, передавачів, прийомопередавачів (трансиверів) у гібридно-інтегральному виконанні на єдиній підкладинці.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

#### **знання:**

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

#### **уміння:**

- виконати інженерний розрахунок сучасного інтегрального планарного і хвилеводно-планарного НВЧ пристрою (фільтру, вузлів узгодження, змішувача, модулятора, атенюатора та інш.);
- проаналізувати роботу та розрахувати основні характеристики багатофункціонального пристрою НВЧ діапазону (транзисторного підсилювача, приймача, передавача, трансивера);
- застосувати кругову діаграму для розрахунку складних НВЧ вузлів;
- застосувати матриці розсіювання та передачі для аналізу пристроїв НВЧ;
- вимірювати основні характеристики інтегральних НВЧ систем на сучасному виміральному 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», «Схемотехніка. Електронна компонентна база».

Одержані знання та навички після вивчення цієї дисципліни використовуються подалі в дисциплінах «Антенні системи», «Супутникові інформаційні системи», «Системи радіопротидії», «Радіонавігаційні системи», «НВЧ радіоінженерія», при виконанні магістерських дисертацій.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Розділ 1. Електродинамічні властивості сучасних ліній передачі діапазону НВЧ.

Тема 1.1. Плоскі хвилі в циліндричних хвилеведучих системах. Фазова стала, фазова швидкість, довжина хвилі.

Тема 1.2. Рівняння Гельмгольца для циліндричних хвилеведучих систем. Граничні умови. Зв'язок між поздовжніми і поперечними компонентами електромагнітних хвиль в циліндричних хвилеведучих системах.

- Тема 1.3. Хвилі типу Т і квазі-Т, закони дисперсії для них. Хвилі типу Е,Н. Закони дисперсії для них.

Тема 1.4. Огляд реальних ліній передачі діапазону НВЧ. Мікросмужкова лінія (МСЛ). Н-хвилевод. Характеристики хвилеводно-планарних ліній передачі. Хвилеводно-щілинна (ХЩЛ), хвилеводно-копланарна (ХКЛ), діелектричний дзеркальний хвилевод (ДЗХ).

Розділ 2. Застосування теорії довгих ліній для аналізу і розрахунків інтегральних вузлів НВЧ діапазону

Тема 2.1. Коефіцієнт відбиття, вхідний коефіцієнт відбиття, вхідний опір. Повне і спряжене узгодження. Узгодження за допомогою реактивних шлейфів. Одношлейфова схема. Дво-трьохшлейфові схеми, реалізація у різних електродинамічних системах. Діаграма повних опорів. Топологія шлейфогового узгодження у інтегральних лініях передачі

Тема 2.2. Узгодження активних опорів. Чвертьхвильовий трансформатор. Багатосекційні чвертьхвильові трансформатори. Плавні переходи. Конструкції у різних інтегральних лініях передачі.

Тема 2.3. Шляхи реалізації реактивностей у діапазоні НВЧ. Неоднорідності у хвилеведучих системах. Конструкції у різних електродинамічних системах.

Розділ 3. Конструкції пасивних інтегральних вузлів НВЧ пристроїв.

Тема 3.1. Збудження інтегральних ліній передачі в гібридних і монолітних інтегральних схемах НВЧ діапазону.

Тема 3.2. Конструкції стандартних вузлів НВЧ (шлейфів, короткозамикачів, атенюаторів, узгоджених навантажень, фазообертачів) у гібридних і монолітних схемах НВЧ. Спрямовані розгалужувачі, реалізація в інтегральних вузлах НВЧ.

Тема 3.3. Фільтри діапазону НВЧ у інтегральному виконанні. Фільтр низької частоти (ФНЧ), смуговий фільтр (СФ), загороджувальний фільтр (ЗФ) діапазону НВЧ.

Розділ 4. Активні напівпровідникові пристрої НВЧ

Тема 4.1. Діодні керовані пристрої. Р-і-п діоди. Параметри. Конструкції, еквівалентні схеми. Амплітудні маніпулятори, електронно-керовані атенюатори, фазові маніпулятори, двох та багатоканальні перемикачі. Гібридно-інтегральні і монолітні конструкції.

Тема 4.2. Нелінійні і параметричні діодні пристрої НВЧ. Діоди з бар'єром Шоткі і варакторні діоди. Детектори, гармонікові, субгармонійні змішувачі – однодіодні та балансні, подвійні балансні. Режим роботи змішувачів. Інтегральні та монолітні діодні помножувачі частоти.

Тема 4.3. Транзистори і транзисторні пристрої НВЧ діапазону. Транзисторні перемикачі, помножувачі, змішувачі.

Тема 4.4. Застосування S, T – матриць для опису інтегральних вузлів НВЧ діапазону на прикладі розрахунку транзисторних підсилювачів НВЧ. Абсолютна і умовна стійкість підсилювача, способи стабілізації підсилювачів.

Тема 4.5. Малошумлячі підсилювачі. Шумовий опір транзисторів. Підсилювачі середньої і великої потужності. Лінеаризація підсилювачів. Конструкції. Параметри підсилювачів і їх вимірювання. Типові характеристики пристроїв у гібридному і монолітному інтегральному виконанні.

Тема 4.6. Транзисторні генератори діапазону НВЧ. Застосування S-матриць для обчислення стартових умов генерації і обчислення потужності у стаціонарному режимі. Стабілізація частоти генераторів за допомогою МСЛ резонаторів та ДР. Параметри генераторів і їх вимірювання.

Розділ 5. Багатофункціональні пристрої НВЧ діапазону у гібридно-інтегральному і монолітно-інтегральному виконанні:

Тема 5.1. Конвертери сигналів супутникового телебачення. Трансивери систем широкосмугового бездротового зв'язку, приймачі та передавачі радіолокаційних станцій. Конструкції, принципи побудови, розрахунку, проектування

...

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

1. 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.
2. Електронне навчальне видання: [М.Ю. Омеляненко, О.В.Турєєва] «Гібридні та монолітні інтегральні пристрої мікрохвильового діапазону: методичні рекомендації до лабораторних робіт для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка» К.: НТУУ "КПІ", 2017. – 40 с. Свідоцтво про надання грифа РТФ№ 003/17. Протокол № 02/2017 від 27.02.2017р.
3. [David M. Pozar](#), Microwave Engineering, John Wiley & Sons, 2011.

...

### **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 НВЧ пристроїв та розрахунку систем на їх основі .

Тема 1. Амплітудні модулятори та електронно-керовані атенюатори на р-і-п діодах.

Тема 2. Фазові модулятори на р-і-п діодах.

Тема 3. Дослідження балансного змішувача мікрохвильового діапазону на ДБШ.

Тема 4. Дослідження роботи малoshумлячого змішувача як вхідного пристрою приймальної системи НВЧ.

## 6. Самостійна робота студента

Для набуття досвіду проектування реальних НВЧ пристроїв виконується РГР за індивідуальною тематикою.

Приблизна тематика РГР. Розрахунки топологій:

- інтегрального однодіодного модулятора на МСЛ;
- дводіодного амплітудного модулятора на МСЛ;
- хвилеводно-щілинного дводіодного модулятора;
- хвилеводно-щілинного амплітудного модулятора;
- фазового маніпулятора на хвилеводно-щілинній лінії;
- хвилеводно-щілинного детектора;
- хвилеводно-планарного смугового фільтра;
- П-образного амплітудного модулятора на 4-х р-і-п діодах на основі мікросмужкової лінії передач;
- мікросмужкового електронно-керованого атенюатора паралельного типу на р-і-п діодах.

## 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, а також виконання курсової роботи.

**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 «Проектування інтегральних пристроїв

НВЧ» передбачає її вивчення українською мовою. У процесі викладання навчальної дисципліни використовуються матеріали та джерела російською 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:

- виконання та захист лабораторних робіт;
- модульну контрольну роботу;
- захист РГР;
- відповідь на екзамені;

### **Система рейтингових балів та критерії оцінювання в семестрі**

#### **1. Захист лабораторних робіт (ЛР)**

В семестрі виконується 4 ЛР

За кожну ЛР нараховуються бали:

- оформлення звіту відповідно до вимог **2 бали**
- повна відповідь при захисті ЛР **8 бали**

Максимальна сума балів за одну ЛР **10 балів**

Максимальна сума балів за всі ЛР **40 балів**

#### **1. Модульний контроль МКР :**

- повна відповідь **5 балів**
- відповідь має неістотні неточності **4 балів**
- відповідь неповна, є істотні помилки **3 балів**
- незадовільна відповідь, немає відповіді **0 балів**

Максимальна сума балів за МКР **5 балів**

#### **1. Захист РГР :**

- Виконання без помилок **10 балів**
- Захист після перевірки з виправленими помилками **5 балів**
- Захист після перевірки з невиправленими помилками **2 бали**

Максимальна сума балів за РГР **10 балів**

### **Розрахунок шкали рейтингу**

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

$$R_{\text{сем}} = 40 + 5 + 10 = 55 \text{ балів}$$

Екзаменаційна оцінка шкали RD дорівнює 45% і становить 45 балів:

$$RD = R_{\text{сем}} + R_{\text{екз}} = 55 + 45 = 100 \text{ балів}$$

Умовою допуску до екзамену є сума балів не менше  $0,5 \cdot R_{\text{сем}}$  тобто  $> 27$  балів та відсутність заборгованостей з лабораторних робіт.

Студентам, які мають  $R_{\text{сем}}$  менше 27 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». При цьому, стартовий рейтинг студента повинен бути не менше ніж  $0,9 \cdot R_{\text{сем}}$  тобто  $> 49$  балів. Рейтингові оцінки з дисципліни для виставлення їх до екзаменаційної відомості та залікової книжки трансформуються до таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

...

**Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою**

<b>Кількість балів</b>	<b>Оцінка</b>
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.**

- Плоскі хвилі в циліндричних хвилеведучих системах. Фазова стала, фазова швидкість, довжина хвилі.
- Рівняння Гельмгольца для циліндричних хвилеведучих систем. Граничні умови.
- Зв'язок між поздовжніми і поперечними компонентами електромагнітних хвиль в циліндричних хвилеведучих системах.
- Хвилі типу Т і квазі-Т, закони дисперсії для них.
- Хвилі типу Е, Н. Закони дисперсії для них.
- МСЛ. Характеристики, застосування.
- ХЩЛ. Характеристики, застосування.
- ХКЛ. Характеристики, застосування.
- Частково-заповнений прямокутний хвилевід. Закон дисперсії. Діелектричний ефект.
- Телеграфні рівняння. Коефіцієнт відбиття, його фізичний зміст, зв'язок із опором навантаження довгої лінії.
- Графічне зображення відбиття в довгій лінії на комплексній площині. Вхідний коефіцієнт відбиття. Вхідний опір і вхідна провідність
- Стандартні навантаження довгої лінії (КЗ, ХХ) і їх реалізація в ГС і МС.
- Еквівалентні схеми каскадно-включених відрізків довгої лінії передачі з відмінними від Z0 опорами.
- Шляхи реалізації реактивностей на НВЧ.
- Реактивні шлейфи і їх реалізація в ГС і МС.
- Передача енергії вздовж довгої лінії до навантаження. Узгодження.
- Одношлейфне узгодження. Аналітичний розрахунок і розрахунок з допомогою діаграми Сміта.

- Реалізація одношлейфного узгодження в ГІС і МІС НВЧ. Двошлейфна схема узгодження.
- Узгодження активних опорів. Чвертьхвильові трансформатори. Реалізація в ГІС і МІС.
- Багатоступінчастий чвертьхвильовий трансформатор. Порядок розрахунку. Реалізація.
- Плавні переходи.
- Збудження ліній передачі, переходи між лініями.
- ФНЧ діапазону НВЧ. Синтез, реалізація.
- Прохідні резонатори НВЧ. Розрахунок, реалізація.
- Смугові фільтри НВЧ. Частотні перетворення.
- Інвертори опорів, як елементи смугопропускаючих фільтрів НВЧ.
- Порядок синтезу смугових фільтрів НВЧ на півхвильових резонаторах.
- Конструкції смугових фільтрів НВЧ на півхвильових резонаторах.
- Спрямовані відгалужувачі, параметри, реалізація в ГІС НВЧ діапазону.
- Фізика роботи р-і-п діодів, їх параметри, р-і-п діодні амплітудні маніпулятори відбиваючого типу. Реалізація, розрахунок, характеристики.
- Р-і-п діодні амплітудні маніпулятори невідбиваючого типу.
- Електронно-керовані р-і-п атенюатори. Особливості розрахунку, реалізація, параметри.
- Принципи побудови цифрових керованих атенюаторів НВЧ у вигляді МІС.
- Р-і-п діодні перемикачі. Реалізація.
- Р-і-п діодні керовані фазові маніпулятори на довільний фазовий зсув.
- Р-і-п діодний фазовий 0-π маніпулятор.
- Монолітні цифрові фазозсувачі.
- Діоди НВЧ діапазону із бар'єром Шоткі. ВАХ, еквівалентна схема, параметри.
- Діодні детектори НВЧ діапазону. Реалізація, параметри.
- Діодні змішувачі НВЧ. Однодіодні змішувачі. Недоліки, реалізація, параметри.
- Балансні змішувачі. Переваги, реалізація, параметри.
- Субгармонійні змішувачі НВЧ.
- Діодні помножувачі частоти. Реалізація, параметри.
- Діодні обмежувачі потужності. 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.
- Кругова діаграма повних опорів і провідностей. Використання кругової діаграми для розрахунку вхідних опорів і вхідних провідностей

...

#### **Опис матеріально-технічного та інформаційного забезпечення дисципліни**

Проведення лабораторних робіт спрямовано на засвоєння лекційного матеріалу шляхом дослідження експериментальних характеристик реальних вузлів НВЧ пристроїв: амплітудних та фазових модуляторів на р-і-п діодах, балансних діодних змішувачів у гібридно-інтегральному виконанні.

ЛР №1 - Балансний змішувач діапазону 19-23 ГГц на ДБШ.

Обладнання: стандартний панорамний вимірювач КСХ і ослаблення (2 блоки: генераторний Р2-66 та індикаторний Я2Р-67), спеціально розроблений і виготовлений в лабораторії каф. РТС зразок хвилеводно-планарного змішувача.



ЛР №2 - Дослідження роботи малощумлячого змішувача як вхідного пристрою приймальної системи НВЧ

Обладнання: стенд містить стандартний генератор коливач гетеродина (частота 18-22 ГГц), стандартний генератор сигналу (частота 18-22 ГГц), ножовий і поляризаційний атенюатори, досліджуваний змішувач (ЛР №1), попередній підсилювач проміжної частоти (розроблено і виготовлено на каф.РТС), смуговий фільтр( розроблено і виготовлено на каф.РТС), детектор амплітудно-модульованих коливач, осцилограф, блок живлення підсилювача проміжної частоти.

ЛР №3 - Амплітудні модулятори та електронно-керовані атенюатори на р-і-п діодах.

стандартний панорамний вимірювач КСХ і ослаблення (2 блоки: генераторний Р2-66 та індикаторний Я2Р-67), Генератор імпульсів. Осцилограф. Спеціально розроблений і виготовлений в лабораторії каф. РТПС зразок хвилеводно-щілинного амплітудного модулятора на 3-х р-і-п діодах. Спеціально розроблений блок керування.

ЛР №4 - Дослідження фазового модулятора на р-і-п діодах.

Обладнання: стандартний панорамний вимірювач КСХ і ослаблення (2 блоки: генераторний Р2-66 та індикаторний Я2Р-67), хвилеводний тракт, що включає в себе спрямований відгалужувач «10 дБ», вентиль, механічно керований фазообертач на основі циркулятора і КЗ-поршня. Спеціально розроблені і виготовлені в лабораторії каф. РТС зразки хвилеводно-щілинного фазового маніпулятора на р-і-п діоді і фазового детектора. Блок керування. Осцилограф.

---

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Складено** [Омеляненко М. Ю.](#); [Турєєва О. В.](#);

**Ухвалено** кафедрою РТС (протокол № № 06/23 від 24.06.2023 )

**Погоджено** методичною комісією факультету/ННІ (протокол № від 29.06.2023 )