



Мікрохвильова техніка

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	15 Автоматизація та приладобудування
Спеціальність	153 «Мікро- та наносистемна техніка»
Освітня програма	Електронні мікро- і наносистеми та технології, Мікро- та наноелектроніка
Статус дисципліни	вибіркова
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	4 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити, лекції 36 год., лабораторні заняття – 18 год., самостійна робота 66 год.
Семестровий контроль/ контрольні заходи	залік
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: зав. каф. Електронної інженерії, д.т.н., проф. Тимофєєв Володимир Іванович v.timofeyev@kpi.ua timof-ee@kpi.ua Лабораторні заняття: зав. каф. Електронної інженерії, д.т.н., проф. Тимофєєв Володимир Іванович v.timofeyev@kpi.ua , доцент кафедри Електронної інженерії, к.т.н. доц. Семеновська Олена Володимирівна helensem-ee@lil.kpi.ua
Розміщення курсу	Google classroom -

Програма навчальної дисципліни

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

Кредитний модуль «Мікрохвильова техніка 2 (Електронні кола НВЧ)» входить до навчальної дисципліни «Мікрохвильова техніка», що належить до циклу професійної та практичної підготовки.

Кредитний модуль «Мікрохвильова техніка-2» (Електронні кола НВЧ) є базовим у формуванні знань і умінь щодо фізичних процесів у компонентах і електронних колах НВЧ, методів схмотехнічного проектування електронних кіл НВЧ, а також набуття знань, умінь, навичок і досвіду використання зазначених методів у практичній діяльності.

Метою кредитного модуля є формування у студентів здатностей застосування знань і уявлень про фізичні процеси у компонентах і електронних колах НВЧ, схемні моделі компонентів і інтегральних схем НВЧ і КВЧ, оволодіння методами схмотехнічного проектування електронних кіл НВЧ, включаючи кола з розподіленими параметрами.

Дисципліна формує **загальні компетентності та фахові компетентності** ОПП «Електронні мікро- і наносистеми та технології»:

- ЗК1 Здатність вчитися, здобувати нові знання, уміння, у тому числі у галузі, відмінної від професійної

- ЗК2 Здатність застосовувати професійні знання й уміння на практиці
- ЗК5 Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми у галузі мікро- та наносистемної техніки.
- ЗК6 Здатність вирішувати проблеми в професійній діяльності на основі аналізу й синтезу
- ЗК12 Здатність здійснювати безпечну професійну практичну діяльність
- ФК1 Здатність демонструвати і використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій та технологій, необхідних для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки.
- ФК5 Здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у мікро- та наносистемній електронній техніці за допомогою аналітичних методів та засобів моделювання.
- ФК6 Здатність демонструвати творчий та інноваційний потенціал у синтезі інженерних рішень і в розробці конструктивних елементів мікроелектроніки, приладів мікро- та наноелектроніки.
- ФК7 Здатність забезпечувати вирішення інженерних задач в галузі автоматизації та приладобудування з урахуванням всіх аспектів розробки, проектування, виробництва, експлуатації та модернізації мікро- та наносистемної електронної техніки.
- ФК8 Здатність демонструвати та використовувати знання характеристик та параметрів матеріалів електронної техніки, аналогових та цифрових електронних пристроїв, мікропроцесорних систем та наносистемної техніки.
- ФЛ14 Здатність використовувати знання електрофізичних процесів, які відбуваються в твердотільних пристроях, та теоретичних основ побудови мікроелектронних приладів і систем у процесі розробки математичних моделей для їх проектування та конструювання.

Програмні результати навчання.

- ЗН3 Знання технологічних процесів виготовлення компонентів та приладів мікро- та наносистемної техніки.
- ЗН5 Знання типових моделей елементів, компонентів, вузлів та технологічних процесів мікро- та наносистемної техніки.
- ЗН12 Знання наукових методів і математичних принципів, що лежать в основі проектування та конструювання мікро- та наноелектронних приладів і пристроїв.

Дисципліна формує **загальні компетентності та фахові компетентності ОПП «Мікро- та наноелектроніка»:**

- ЗК 1 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК 2 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
- ЗК 1 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- ФК1 Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки.
- ФК2 Здатність виконувати аналіз предметної області та нормативної документації, необхідної для проектування та застосування приладів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки
- ФК3 Здатність використовувати математичні принципи і методи для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки.
- ФК7 Здатність розв'язувати інженерні задачі в галузі мікро- та наносистемної техніки з урахуванням всіх аспектів розробки, проектування, виробництва, експлуатації та модернізації.

- ФК13 Здатність ефективно вибирати належні напрями і відповідні методи для розв'язування задач моделювання, проектування та конструювання в області мікроелектронних інформаційних систем.
- ПРН1 Застосовувати знання принципів дії пристроїв і систем мікро- та наносистемної техніки при їхньому проектуванні та експлуатації.
- ПРН2 Застосовувати знання і розуміння математичних методів для розв'язання теоретичних і прикладних задач мікро- та наносистемної техніки.
- ПРН3 Застосовувати знання і розуміння фізики, відповідні теорії, моделі та методи для розв'язання практичних задач синтезу пристроїв мікро- та наносистемної техніки.
- ПРН4 Оцінювати характеристики та параметри матеріалів пристроїв мікро- та наносистемної техніки, знати та розуміти основи твердотільної та оптичної електроніки, наноелектроніки, електротехніки, аналогової та цифрової схемотехніки, мікропроцесорної техніки.

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

Для засвоєння дисципліни щодо математичних моделей і методів моделювання фізичних процесів і властивостей, параметрів і характеристик приладів мікро- і наноелектроніки необхідними є здатності застосування знань і практичних навичок з новітніх наноматеріалів і методів їх дослідження; фізичних процесів, будови і технологій виготовлення мікро- та нанокомпонентів і систем, а також відповідно до структурно-логічної схеми підготовки бакалаврів засвоєння дисциплін «Квантова механіка», «Фізика твердого тіла», «Теорія поля», «Технологічні основи електроніки», «Фізика електронних процесів».

2. Зміст навчальної дисципліни

Структура кредитного модуля

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні (семінарські)	Лабораторні (комп'ютерний практикум)	СРС

1	2	3	4	5	6
Розділ 1. Кола з розподіленими параметрами у разі гармонічного сигналу					
<i>Тема 1. Рівняння довгих ліній</i>	4	2			2
<i>Тема 2. Хвильові процеси у лініях передачі</i>	4	2			2
<i>Тема 3. Узгодження ліній передачі</i>	4	2			2
Разом за розділом 1	12	6			6
Розділ 2. Перехідні процеси у колах з розподіленими параметрами					
<i>Тема 1 Рівняння довгої лінії у часовій області</i>	6	2			4

1	2	3	4	5	6
<i>Тема 2. Хвильові процеси у лінії у разі імпульсного сигналу</i>	6	2			4
Разом за розділом 2	12	4			8
Розділ 3. Багатополюсники на НВЧ					
<i>Тема 1. Матричний опис кіл з розподіленими параметрами</i>	6	2			4
<i>Тема 2. Системи хвильових параметрів багатополюсників</i>	6	2			4
Разом за розділом 3	12	4			8
Розділ 4. Моделі компонентів кіл НВЧ					
<i>Тема 1. Моделювання субмікронних компонентів НВЧ</i>	7	1		4	2
<i>Тема 2. Схемні моделі субмікронного ПТШ</i>	7	1		4	2
<i>Тема 3 Лінії передачі інтегральних схем НВЧ</i>	3	1			2
<i>Тема 4. Реактивні елементи ІС НВЧ. Резонатори.</i>	3	1			2
<i>Тема 5 Фільтри ІС НВЧ. Фазообертачі</i>	4	2			2
Разом за розділом 4	24	6		8	10
Розділ 5. Малошумлячі кола НВЧ					
<i>Тема 1. Джерела шуму в субмікронних ПТШ</i>	7	2		2	3
<i>Тема 2 Аналіз ефектів третього виміру</i>	5	2			3
Разом за розділом 5	12	4		2	6
Розділ 6. Генератори НВЧ					
<i>Тема 1 Транзисторні генератори НВЧ</i>	8	2		2	4
<i>Тема 2. Діодні генератори НВЧ</i>	6	2			4
Разом за розділом 6	14	4		2	8
Розділ 7. Субмікронні компоненти монолітних ІС НВЧ і КВЧ					
<i>Тема 1. Перспективні активні компоненти ІС НВЧ і КВЧ</i>	3	1			2
<i>Тема 2. Моделювання електричного режиму субмікронних польових транзисторів</i>	5	1			4
<i>Контрольна робота</i>	2				2
Разом за розділом 7	10	2			8
Розділ 8. Широкопосмугові кола НВЧ					

1	2	3	4	5	6
Тема 1 Підсилювачі з розподіленим підсилюванням	7	2			5
Разом за розділом 8	7	2			5
Розділ 9. Потужні кола НВЧ					
Тема 1. Характеристики потужних підсилювачів	13	2		6	5
Разом за розділом 9	13	2		6	5
Розділ 10. Перетворювачі НВЧ					
Тема 1 Моделі, схеми і характеристики перетворювачів НВЧ	4	2			2
Разом за розділом 10	4	2			2
Разом годин	120	36		18	66

3. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Електронні кола надвисоких частот: Підручник / В. І. Тимофєєв; За заг. ред. В. О. Москалюка. – К.: НТУУ «КПІ», 2018. – 230 с.
2. Москалюк В.О., Тимофєєв В.І., Федяй А.В. «Надшвидкодючі прилади електроніки», навчальний посібник з грифом МОН України, вид-во «Політехніка», Київ, 2014, С.528.

Допоміжна література

1. МІКРОЕЛЕКТРОНІКА НВЧ. Навчальний посібник / Бондаренко І.М. ХНУРЕ, Харків. 2017. С.154.
2. Семенець В. В. Введення в мікросистемну техніку та нанотехнології : підруч. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом підготов. Радіоелектронні апарати / В. В. Семенець, І. Ш. Невлюдов, В. А. Палагін. – Х.: Компанія СМІТ. – 2011. – 415 с.

Навчальний контент

4. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Тема: Рівняння довгих ліній Перелік основних питань: Довгі лінії – моделі і параметри. Розв'язок рівнянь довгих ліній. Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран. Література: базова: 1,2,4; допоміжна: 2. Завдання на СРС: параметри і характеристики довгих ліній
2	Тема: Хвильові процеси в лініях передачі Перелік основних питань: Характеристики хвильових процесів. Вхідний опір лінії.

	<p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1,2,4; допоміжна: 2.</p> <p>Завдання на СРС: характеристики хвильових процесів ліній з втратами і без втрат</p>
3	<p>Тема: Узгодження ліній передачі</p> <p>Перелік основних питань: Умови узгодження лінії передачі. Умови неспотворюючої передачі у лінії.</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1, 2,4; допоміжна: 2.</p> <p>Завдання на СРС: розрахунок опору узгоджувального трансформатора на заданій частоті</p>
4	<p>Тема: Рівняння довгої лінії у часовій області</p> <p>Перелік основних питань: Модель відрізка довгої лінії. Рівняння довгої лінії у часовій області. Операторний метод аналізу систем у часовій області</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1, 2,4; допоміжна: 2.</p> <p>Завдання на СРС: Розрахунок параметрів лінії – хвильового опору, сталих розповсюдження і фази</p>
5	<p>Тема: Хвильові процеси в лінії за імпульсного впливу</p> <p>Перелік основних питань: Рівняння однорідної неспотворюючої лінії в операторній формі. Розв'язання рівнянь однорідної неспотворюючої лінії в операторній формі.</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1,2,4; допоміжна: 2.</p> <p>Завдання на СРС: хвильові процеси у часовій області за різних умов передачі у лінії</p>
6	<p>Тема: Матричний опис кіл з розподіленими параметрами</p> <p>Перелік основних питань: Матричний опис розподілених кіл (класична і хвильова теорія). Хвильові параметри чотиріполосника. Розрахунок схемних функцій багатополосника</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1,2,4; допоміжна: 2.</p> <p>Завдання на СРС: схемні функції на основі параметрів класичної теорії</p>
7	<p>Тема: Системи хвильових параметрів багатополосників</p> <p>Перелік основних питань: Зв'язок між системами хвильових параметрів. Умови нормування хвильових матриць і класичної матриці передачі. Шумові характеристики чотиріполосника. Хвильові шумові параметри.</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1,2,4; допоміжна:2.</p> <p>Завдання на СРС: умови застосування матриць параметрів хвильової і класичної теорії</p>
8	<p>Тема: Моделювання субмікронних компонентів НВЧ</p> <p>Перелік основних питань: Моделювання субмікронних ефектів у польових НВЧ транзисторах. Особливості схемних моделей активних компонентів на НВЧ. Аналіз фізичних процесів у субмікронному ПТШ.</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова:1,2, 3,4 допоміжна: 1,2.</p> <p>Завдання на СРС: вплив субмікронних ефектів на вихідні характеристики ПТШ</p>

9	<p>Тема: Схемні моделі субмікронного ПТШ</p> <p>Перелік основних питань: Схемна модель субмікронного польового транзистора. Розрахунок малосигнальних (динамічних) крутизни і вихідної провідності.</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1,2,3,4 допоміжна: 1,2.</p> <p>Завдання на СРС: параметри активної і пасивної областей ПТШ</p>
10	<p>Тема: Лінії передачі інтегральних схем НВЧ.</p> <p>Перелік основних питань: Розрахунок паразитних параметрів субмікронного ПТШ. Лінії передачі інтегральних схем НВЧ – конструкції і характеристики.</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1,2,3,4; допоміжна: 1,2,.</p> <p>Завдання на СРС: вплив паразитних параметрів на вихідні характеристики компонентів ІС НВЧ</p>
11	<p>Тема: Реактивні елементи ІС НВЧ. Резонатори.</p> <p>Перелік основних питань: Індуктивні елементи ІС НВЧ. Ємнісні елементи ІС НВЧ. Фільтри ІС НВЧ. Фазообертачі</p> <p>Перелік основних питань: Резистивні елементи ІС НВЧ. Неоднорідності в ІС НВЧ. Резонатори. Фільтри ІС НВЧ</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1,2,4; допоміжна: 2</p> <p>Завдання на СРС: приклади застосування резонаторів.</p>
12	<p>Тема: Джерела шуму в субмікронних ПТШ.</p> <p>Перелік основних питань: Джерела шуму в субмікронних ПТШ. Шумова схемна модель ПТШ. Мінімальний коефіцієнт шуму. Розрахунок коефіцієнту посилення потужності і коефіцієнта стійкості. Аналіз ефектів третього виміру</p> <p>Аналіз неоднорідностей субмікронних польових структур на основі багатосекційної моделі транзистора.</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1,2,3,4 ; допоміжна: 1,2.</p> <p>Завдання на СРС: умови проектування малOSHумлячих кіл</p>
13	<p>Тема: Аналіз ефектів третього виміру</p> <p>Перелік основних питань: Математична модель і рівняння для розрахунку розподілених ефектів у польових структурах.</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1,2,3,4; допоміжна: 1,2.</p> <p>Завдання на СРС: критерії оцінки розподілених ефектів у субмікронних структурах</p>
14	<p>Тема: Транзисторні та діодні генератори НВЧ.</p> <p>Перелік основних питань: Умови генерації транзисторних автогенераторів. Транзисторні НВЧ на GaAs ПТШ. Діодні генератори НВЧ</p> <p>Автогенератори НВЧ на тунельних діодах.</p> <p>Основні параметри і характеристики. Умови балансу амплітуд і фаз.</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1,2,4 ; допоміжна: 2.</p> <p>Завдання на СРС: кола зворотного зв'язку транзисторних автогенераторів</p>
15	<p>Тема: Перспективні активні компоненти ІС НВЧ і КВЧ</p>

	<p>Перелік основних питань: Перспективи розвитку активних компонентів ІС НВЧ і КВЧ. Моделювання субмікронних ефектів і граничних режимів в польових структурах. Релаксаційні рівняння у квазідвовимірному наближенні. Моделювання електричного режиму у субмікронних польових структурах</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1,2,3,4; допоміжна: 1,2.</p> <p>Завдання на СРС: граничні параметри сучасних активних компонентів ІС СВЧ</p>
16	<p>Тема: Підсилювачі з розподіленим підсилюванням</p> <p>Перелік основних питань: Схемна модель широкосмугового підсилювача НВЧ</p> <p>Аналіз частотних характеристик підсилювача з розподіленим підсиленням</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 5; допоміжна: 1,2,3,8.</p> <p>Завдання на СРС: умови забезпечення робочої смуги частот підсилювача НВЧ</p>
17	<p>Тема: Характеристики потужних підсилювачів</p> <p>Перелік основних питань: Потужні кола НВЧ. Підсилювачі НВЧ. Режими роботи потужних підсилювачів. Схемні моделі потужних підсилювачів</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1; допоміжна: 2.</p> <p>Завдання на СРС: умови узгодження потужних підсилювачів НВЧ</p>
18	<p>Тема: Моделі, схеми і характеристики перетворювачів НВЧ</p> <p>Перелік основних питань: Балансні перетворювачі. Схемні моделі перетворювачів НВЧ.</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1; допоміжна: 2.</p> <p>Завдання на СРС: модельні характеристики перетворювачів</p>

Лабораторні заняття

Основні завдання циклу лабораторних занять – проведення комп'ютерних експериментів і обчислень з метою практичного підтвердження окремих теоретичних положень теорії електронних кіл НВЧ і КВЧ, набуття практичних навичок роботи з лабораторним обладнанням, обчислювальною технікою, вимірювальною апаратурою, оволодіння методикою експериментальних досліджень, обробки і аналізу отриманих результатів.

Приблизна тематика лабораторних робіт:

№	Назва лабораторної роботи	Кількість годин
1.	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 Моделювання статичних характеристик субмікронного польового транзистора	3
2.	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 Моделювання НВЧ підсилювача гармонічного сигналу	3
3.	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 Моделювання частотних характеристик НВЧ підсилювача потужності	3
4.	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4	3

	<u>Підсилювач імпульсних сигналів на субмікронному ПТШ</u>	
5.	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 Генератор НВЧ на субмікронному ПТШ	3
6.	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6 Аналіз частотних характеристик малошумлячого підсилювача НВЧ	3
Всього		18

Методичні рекомендації

Під час вивчення розділу, присвяченого колам з розподіленими параметрами за гармонічного впливу, необхідно звернути увагу на аналіз параметрів довгих ліній за прийнятих припущеннях (умови лінійності, однорідності, ізотропності і ін.). Практичне значення мають результати розв'язання хвильових рівнянь для аналізу хвильових процесів у лініях передачі, узгодження ліній передачі, отримання умов неспотворюючої передачі у лінії. Заслугує особливої уваги аналіз вхідного опору короткозамкненої лінії і лінії передачі у режимі холостого ходу у залежності від її довжини і використання відрізків ліній, кратних чверті хвилі, для проектування пасивних компонентів інтегральних схем НВЧ.

Під час розгляду перехідних процесів у колах з розподіленими параметрами у часовій області важливими є хвильові процеси у лінії при імпульсному впливі. Слід звернути увагу на особливості застосування операторного методу аналізу для розв'язання систем хвильових рівнянь у часовій області, який передбачає використання прямого і зворотного перетворення Лапласа. А проте розв'язання системи хвильових рівнянь в аналітичному вигляді можливе лише за умови неспотворюючої лінії.

Під час вивчення і засвоєння матеріалу розділу „Багатополісники на НВЧ” слід звернути увагу на фізичну природу параметрів багатополісників класичної і хвильової теорій, а також на методику встановлення зв'язку між різними системами параметрів. Слід звернути увагу на методику перерахунку параметрів однієї системи у іншу, оскільки інша частина наведених співвідношень даного розділу наведена як приклад і носить довідковий характер.

Розділ, присвячений моделям компонентів кіл НВЧ, має особливості, пов'язані з аналізом фізичних ефектів у субмікронних компонентах, зокрема, у субмікронних польових транзисторах і моделюванням їх схемних параметрів, які враховують вплив зазначених ефектів на вихідні характеристики НВЧ транзисторів. Ці особливості необхідно враховувати у процесі виконання розрахунково-графічної роботи і циклу лабораторних робіт з моделювання субмікронних GaAs субмікронних транзисторів. Крім цього, проектування сучасних перетворювальних пристроїв НВЧ пов'язано як з використанням гібридних, так і монолітних інтегральних схем, що передбачає засвоєння методик моделювання електричних параметрів пасивних компонентів з урахуванням їх фізико-топологічних параметрів (параметрів матеріалів - металів, діелектриків, напівпровідників; топології структури і її геометричних розмірів).

Моделювання шумових характеристик малошумлячих кіл НВЧ передбачає розрахунок мінімального коефіцієнту шуму з урахуванням умов узгодження і режиму живлення транзистора. Слід зазначити, що у процесі розрахунків цього коефіцієнту засобами пакету схемотехнічного проектування CADENCE, не враховується вплив субмікронних ефектів, оскільки шумові моделі у бібліотеці компонентів CADENCE не описують фізичні ефекти впливу розігріву електронного газу на шумові характеристики, які є основними у таких структурах. Слід звернути увагу на істотно різні умови узгодження вхідних і вихідних кіл підсилювачів потужності і малошумлячих підсилювачів. До особливостей проектування субмікронних активних компонентів відносяться також вплив фізико-топологічних неоднорідностей таких структур та розподілених ефектів на вихідні

характеристики, які також не враховуються у пакеті CADENCE і вимагають додаткових розрахунків для уточнення вихідних характеристик – S -параметрів, мінімального коефіцієнту шуму, коефіцієнту підсилення потужності, коефіцієнту стійкості.

Під час вивчення теми «Генератори НВЧ» необхідно звернути увагу на особливості виконання умов балансу амплітуд і фаз для транзисторних і діодних генераторів НВЧ, умов отримання коливань із заданими характеристиками, а також на вибір кіл живлення генераторів і компонентів, що визначають їх частотний діапазон.

У розділі «Субмікронні компоненти монолітних ІС НВЧ і КВЧ» розглядаються, як приклади, тільки окремі перспективні транзисторні субмікронні гетероструктури, які призначені для проектування потужних і малошумлячих кіл. А отже розглядаються фізичні ефекти, характерні для цих структур, а також особливості моделювання.

Під час розгляду розділу щодо потужних кіл НВЧ необхідно звернути увагу на особливості параметрів характеристик підсилювачів НВЧ, відмінностям режимів їх роботи.

Під час вивчення розділу «Перетворювачі НВЧ» необхідно звернути увагу як на параметри і характеристики перетворювачів, які пов'язано з потужністю и робочим частотним діапазоном, так і вимоги щодо шумових характеристик.

Рекомендації до індивідуального завдання

Пропонується індивідуальне завдання у вигляді розрахунково-графічної роботи. Основна мета – набуття навичок вирішення конкретних практичних навчальних задач з використанням відомого, а також (або) самостійно вивченого теоретичного матеріалу з кредитного модуля «Мікрохвильова техніка – «Електронні кола НВЧ».

Приблизний перелік завдань: розрахунок статичних характеристик субмікронного ПТШ, аналіз параметрів схемної моделі субмікронного ПТШ, синтез кіл узгодження, зворотних зв'язків і фільтрів живлення, розрахунок частотних характеристик сигналу малошумлячого підсилювача у заданій частотній області, розрахунок частотних характеристик коефіцієнту шуму малошумлячого підсилювача у заданій частотній області.

Мета циклу завдань розрахунково-графічної роботи: отримання навичок застосування теоретичних знань для розв'язанні практичних задач, оволодіння вміннями створення, адаптивного вибору і застосування математичних моделей активних і пасивних компонентів для завдань аналізу і оптимізації параметрів і характеристик кіл НВЧ, розрахунку характеристик базових перетворювальних кіл НВЧ, їх аналізу і інтерпретації.

Рекомендується запропонувати студентам розв'язання кожного завдання за допомогою пакету схемотехнічного проектування CADENCE з використанням моделей компонентів з бібліотеки пакету, що передбачає опис кожного компоненту схеми, формування завдання на аналіз схеми у часовій і частотній областях, отримання результатів розрахунку та їх постпроцесорну обробку з графічним представленням та формування висновків по роботі.

Розрахункова робота пов'язана з математичним моделюванням перетворювальних кіл НВЧ, зокрема, підсилювачів потужності та малошумлячих підсилювачів НВЧ на субмікронному польовому транзисторі у часовій і частотній областях (з відповідним набором заданих варіантів і індивідуальним набором параметрів) і включає наступні етапи:

5. Розрахунково-графічна робота

Двокаскадний підсилювач потужності НВЧ

Мета розрахунково-графічної роботи: отримання навичок застосування теоретичних знань для розв'язання практичних задач, оволодіння вміннями створення, адаптивного вибору і застосування математичних моделей активних і пасивних компонентів для завдань аналізу і оптимізації параметрів і характеристик кіл НВЧ, розрахунку характеристик базових перетворювальних кіл НВЧ, їх аналізу і інтерпретації.

6. Самостійна робота

№ з/п	Завдання по темах для самостійного опрацювання	Кількість годин СРС
1	Тема: Рівняння довгих ліній Завдання на СРС: параметри і характеристики довгих ліній	2
2	Тема: Хвильові процеси в лініях передачі Завдання на СРС: характеристики хвильових процесів ліній з втратами і без втрат	2
3	Тема: Узгодження ліній передачі Завдання на СРС: розрахунок опору узгоджувального трансформатора на заданій частоті	2
4	Тема: Рівняння довгої лінії у часовій області Завдання на СРС: Розрахунок параметрів лінії – хвильового опору, сталих розповсюдження і фази	4
5	Тема: Хвильові процеси в лінії за імпульсного впливу Завдання на СРС: хвильові процеси у часовій області за різних умов передачі у лінії	4
6	Тема: Матричний опис кіл з розподіленими параметрами Завдання на СРС: схемні функції на основі параметрів класичної теорії	4
7	Тема: Системи хвильових параметрів багатополісників Завдання на СРС: умови застосування матриць параметрів хвильової і класичної теорії	4
8	Тема: Моделювання субмікронних компонентів НВЧ Завдання на СРС: вплив субмікронних ефектів на вихідні характеристики ПТШ	2
9	Тема: Схемні моделі субмікронного ПТШ Завдання на СРС: параметри активної і пасивної областей ПТШ	2
10	Тема: Особливості конструкції субмікронного ПТШ Завдання на СРС: умови застосування малосигнального наближення	2
11	Тема: Лінії передачі інтегральних схем НВЧ. Завдання на СРС: вплив паразитних параметрів на вихідні характеристики компонентів ІС НВЧ	2
12	Тема: Реактивні елементи ІС НВЧ. Резонатори. Завдання на СРС: приклади застосування резонаторів.	2
13	Тема: Фільтри ІС НВЧ. Фазообертачі Завдання на СРС: вплив неоднорідностей на параметри компонентів ІС СВЧ	2
14	Тема: Джерела шуму в субмікронних ПТШ Завдання на СРС: умови проектування малощумлячих кіл	3

15	Тема: Аналіз ефектів третього виміру Завдання на СРС: критерії оцінки розподілених ефектів у субмікронних структурах	3
16	Тема: Транзисторні генератори НВЧ. Завдання на СРС: кола зворотного зв'язку транзисторних автогенераторів	4
17	Тема: Діодні генератори НВЧ Основні параметри і характеристики. Умови балансу амплітуд і фаз. Завдання на СРС: порівняльний аналіз діодних генераторів	4
18	Тема: Перспективні активні компоненти ІС НВЧ і КВЧ Завдання на СРС: граничні параметри сучасних активних компонентів ІС СВЧ	2
19	Тема: Моделювання електричного режиму у субмікронних польових структурах Завдання на СРС: критерії застосування моделей різних рівнів	4
20	Тема: Підсилювачі з розподіленим підсилюванням Завдання на СРС: умови забезпечення робочої смуги частот підсилювача НВЧ	5
21	Тема: Характеристики потужних підсилювачів Завдання на СРС: умови узгодження потужних підсилювачів НВЧ	5
22	Тема: Моделі, схеми і характеристики перетворювачів НВЧ Завдання на СРС: модельні характеристики перетворювачів	2
		66

7. Самостійна робота також забезпечується дистанційним доступом до платформи CADENCE у лабораторії кафедри електронної інженерії, яка містить потужну бібліотеку моделей мікроелектронних компонентів і сучасні засоби проектування широкого класу мікросхем.

Політика та контроль

8. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед студентом:

- відвідування лекційних та лабораторних занять є обов'язковою складовою вивчення матеріалу;
- на лекції викладач користується власним презентаційним матеріалом; використовує гугл-диск для викладання матеріалу поточної лекції, додаткових ресурсів, лабораторних робіт та інше; викладач відкриває доступ до певної директорії гугл-диска.;
- на лекції заборонено відволікати викладача від викладання матеріалу, усі питання, уточнення та ін. студенти задають в кінці лекції у відведений для цього час;
- заохочувальні бали виставляються за: активну участь на лекціях, лабораторних заняттях; Кількість заохочуваних балів не більше 10.

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

Рейтингова система оцінювання результатів навчання з кредитного модуля «**Мікрохвильова техніка**» спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка».

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

1. Виконання лабораторних робіт.
2. Виконання МКР.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Лабораторні роботи

Ваговий бал – 5. Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи дорівнює $5 \text{ балів} \times 6 = 30 \text{ балів}$.

виконання лабораторної роботи: 2 бали:

- 2 – правильне виконання;
- 1 – повне виконання з несуттєвими недоліками;
- 0 – невиконання або неправильне виконання роботи.

співбесіда по результатах виконання роботи: 3 бали:

- 3 – повна правильна відповідь;
- 2 – правильна відповідь з несуттєвими недоліками;
- 1 – неправильна відповідь, яка самостійно виправлена;
- 0 – неправильна відповідь або відсутність відповіді.

2. Модульний контроль

Максимальна кількість балів за завдання контрольної роботи дорівнює 10 балів.

- 5- правильна відповідь;
- 4- правильна відповідь з несуттєвими недоліками;
- 3- правильна відповідь з суттєвими недоліками;
- 2- неправильна відповідь з елементами правильної;
- 1- наявність спроб надати правильну відповідь;
- 0- неправильна відповідь або відсутність відповіді.

Ваговий бал за кожне запитання – 10. Максимальна кількість балів за всі запитання дорівнює $10 \text{ балів} \times 4 = 40 \text{ балів}$. Критерії оцінювання кожного запитання:

- 10 - правильна відповідь;
- 8 - правильна відповідь з незначними недоліками;
- 6 - правильна відповідь з значними недоліками;
- 4- неправильна відповідь з елементами правильної;
- 2 - наявність спроб надати правильну відповідь;
- 0- неправильна відповідь або відсутність відповіді.

3. РГР – максимальна кількість балів за завдання РГР дорівнює 20 балів.

4. Залік

Умовою допуску до заліку є виконання та захист усіх лабораторних робіт та РГР.

Для отримання оцінки «задовільно» студент повинен мати не менше ніж 50% від максимальної можливої на час атестації кількості балів.

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом.

Семестр	Навчальний час		Розподіл навчальних годин				Контрольні заходи	
	кредити	акад. год.	Лекц.	Практич.	Лаб. роб.	СРС	МКР	Семестрова атестація
8	4	120	36		18	66	8	Залік

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за активність на аудиторних заняттях та захист РГР. Поточний контроль полягає у експрес-опитуваннях, опитуваннях за темою заняття.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

Залік. Умовою допуску до екзамену є виконання **лабораторного практимуму і РГР.**

Переведення рейтингових оцінок у традиційні оцінки. Для визначення підсумкового рейтингу поточний рейтинг нормується до шкали 0...100

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
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

10. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Можливі додаткові бали за наявності сертифікатів щодо платформи CADENCE.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено зав. кафедрою електронної інженерії, д.т.н., проф. Тимофєєвим Володимиром Івановичем

Ухвалено кафедрою електронної інженерії (протокол № 31 від 21 червня 2023р.)

Погоджено методичною комісією факультету електроніки (протокол № 06/23 від 28.06.2023р.)