



# [RE-270] ЕЛЕМЕНТИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ



## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	17 - Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність	172 - Електронні комунікації та радіотехніка
Освітня програма	172Б ІТР - Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки (ЄДЕБО id: 49229)172Б ІТР+ - Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки (ЄДЕБО id: 57907)
Статус дисципліни	Нормативна
Форма здобуття вищої освіти	Очна
Рік підготовки, семестр	3 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кред. (Лекц. 36 год, Практик. 18 год, Лаб. 18 год, СРС. 48 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="#">Перебудов С. М.</a> , Практ.: <a href="#">Перебудов С. М.</a> , Лаб.: <a href="#">Перебудов С. М.</a> , СРС.: <a href="#">Перебудов С. М.</a>
Розміщення курсу	<a href="https://classroom.google.com/c/NDU1MzMwNjk1Nzg4?cjc=j7yeovj">https://classroom.google.com/c/NDU1MzMwNjk1Nzg4?cjc=j7yeovj</a>

### Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна "Елементи інтелектуальної радіоелектронної апаратури" (ПО7) є нормативною циклу професійної підготовки бакалаврів за ОПП "Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки".

**Метою** викладання дисципліни є формування знань про компоненти мікросистемної техніки,

фізичні принципах їх функціонування, конструктивні особливості та базові технологічні операції виробничого процесу.

**Предметом** дисципліни елементи інтелектуальної радіоелектронної апаратури, до складу яких входять компоненти і пристрої мікросистемної та електронної техніки: механічні, магнітні, теплові, хімічних та оптичні сенсори та актюатори

В результаті навчання у студента формується:

**Загальні компетентності**

ЗК 1 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК 2 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 5 Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК 7 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

**Фахові компетентності:**

ФК 4 Здатність здійснювати комп'ютерне моделювання пристроїв, систем і процесів з використанням пакетів прикладних програм.

ФК 20 Здатність обирати методи та засоби обробки інформації із застосуванням інтелектуальних технологій.

ФК 23 Здатність обирати та застосовувати спеціалізовані програмні засоби для імітаційного моделювання та проектування радіоелектронної апаратури.

Вивчення дисципліни "Елементи інтелектуальної радіоелектронної апаратури" сприяє досягненню таких **програмних результатів навчання**

ПРН 1 Аналізувати та приймати обґрунтовані рішення при розв'язанні спеціалізованих задач та практичних проблем телекомунікацій та радіотехніки, які характеризуються комплексністю та неповнотою визначеності умов.

ПРН 4 Пояснювати результати, отримані в результаті проведення вимірювань, в термінах їх значущості та пов'язувати їх з відповідною теорією.

ПРН 7 Грамотно застосовувати термінологію галузі телекомунікацій та радіотехніки.

ПРН 13 Застосовувати фундаментальні і прикладні науки для аналізу та розробки процесів, що відбуваються в телекомунікаційних та радіотехнічних системах.

ПРН 14 Застосовувати основні властивості компонентної бази для забезпечення якості та надійності функціонування телекомунікаційних, радіотехнічних систем і пристроїв.

ПРН 26 Проектувати та реалізовувати елементи інтелектуальних технологій за допомогою програмно-конфігурованої апаратури.

ПРН 31 Застосовувати основи конструювання радіоелектронної апаратури інтелектуальних систем та новітню компонентну базу

У межах вищевизначених загальних та фахових компетентностей і програмних результатів навчання студенти повинні:

**знати** фізичні основи функціонування компонентів та пристроїв МСТ; основні технічні характеристики найважливіших типів сенсорів та актюаторів; основні методи моделювання та етапи розробки мікросистемної техніки;

**вміти** користуватися набутими знаннями при проектуванні, розробці та експлуатації апаратури, до складу якої входять мікропристрої; проводити аналіз перетворення сигналів вузлами таких пристроїв.

Студенти **набувають досвіду** роботи з окремими компонентами мікросистемної техніки та їх застосуванням під час створення інтелектуальних систем різного функціонального призначення.

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

Міждисциплінарні зв'язки обумовлені місцем дисципліни «Елементи інтелектуальної радіоелектронної апаратури» у програмі підготовки фахівців в галузі мікросистемної техніки. Вона базується на загальній підготовці студентів з фізики, хімії, математики та інформатики.

Дисциплінами професійного спрямування, що передують її вивченню, є: "Схемотехніка.Ч1. Електронні компоненти", "Схемотехніка.Ч2. Аналогова схемотехніка", "Дизайн цифрових та аналогових схем Ч1., Ч2".

Дисципліна "Елементи інтелектуальної радіоелектронної апаратури" забезпечує вивчення

дисциплін першого (бакалаврського) рівню вищої освіти "Проектування інтелектуальної радіоелектронної апаратури" та "Дизайн цифрових та аналогових схем. Курсова робота".

### 3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні (семінарські)	Лабораторні роботи	СРС
<b>РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ВИРОБНИЦТВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ РА</b>					
Вступ. Зміст і структура дисципліни «Елементи інтелектуальної радіоелектронної апаратури»	1	1			
Тема 1.1 Основні поняття мікросистемної техніки	1	1			
Тема 1.2 Моделювання фізичних процесів у пристроях МСТ	7	2	2	3	
Тема 1.3 Основні технологічні процеси виготовлення елементів та пристроїв МСТ	2	2			
Разом за розділом 1	11	6	2	3	
<b>РОЗДІЛ 2 МІКРОЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ПРИСТРОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ РАДІОСИСТЕМ</b>					
Тема 2.1 Принцип дії та основні характеристики давачів та актюаторів мікросистемної техніки	9	4	2	3	
Тема 2.2 П'єзоелектричні мікропристрої	8	4	4		
Тема 2.3 Електромеханічні мікропристрої для інтелектуальної РА	15	8	4	3	
Разом за розділом 2	32	16	10	6	
<b>РОЗДІЛ 3 АКУСТИЧНІ ПРИСТРОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ РА</b>					
Тема 3.1 Принцип дії пристроїв акустичних мікросистем. Особливості конструкції детекторів та перетворювачів акустичних сигналів, їх застосування в системах інтелектуальної РА	14	4	4	63	
Разом за розділом 3	14	4	4		6
<b>РОЗДІЛ 4 МІКРОСИСТЕМИ І МІКРОПРИСТРОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ДІАПАЗОНУ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ РА</b>					
Тема 4.1 Електричні сенсори та мікросистеми радіодіапазону для інтелектуальної РА	8	6	2		
Тема 4.2 Особливості побудови та роботи оптико-механічних пристроїв МСТ	7	4		3	
Разом за розділом 4	15	10	2	3	
Модульна контрольна робота	2				2
Домашня контрольна робота	14				14
Екзамен	2				2
<b>Всього годин</b>	<b>90</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>

## 4. Навчальні матеріали та ресурси

### Рекомендована література

#### **Базова**

1. Елементи інтелектуальної радіоапаратури. Пристрої мікросистемної техніки [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / С. М. Перегудов, Ю. Ф. Адаменко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 11,08 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 195 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/54307>.
2. Моделювання пристроїв МСТ. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. С. М. Перегудов. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,38 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 78 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/43058>.
3. Елементи інтелектуальної радіоелектронної апаратури : Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С. М. Перегудов, Ю. Ф. Адаменко. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,37 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 82 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57276>.
4. Елементи інтелектуальної радіоелектронної апаратури : Домашня контрольна робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С. М. Перегудов. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,52 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 32 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57242>.

#### **Допоміжна**

5. Семенець В.В. Введення в мікросистемну техніку та нанотехнології [Текст] : підручн. / В.В. Семенець, І. Ш. Невлюдов, В. А. Палагін. – Х.: ТОВ «Компанія СМХТ», 2011. – 416 с.
6. Лобур М. Основи мікросистемних пристроїв: [Електронний ресурс] : навч. посіб. / М. Лобур, М. Мельник – Електронні текстові дані (1 файл: 3,97 Мбайт). – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2015. – 258 с. – Режим доступу: <http://cad.lp.edu.ua/project/b3.pdf>.
7. Кособуцький П. С. Мікро- і наноелектромеханічні системи: базові принципи проектування явищ, матеріалів та елементів [Текст] : навч. посіб. / Петро Кособуцький, Михайло Лобур, Володимир Каркульовський – Л.: Вид-во Львів. політехніки, 2017. – 400 с.
8. Доля П. Г. Основи моделювання в COMSOL Multiphysics [Електронний ресурс] / Доля П. Г.; ХНУ ім. Каразіна. – Електрон. текст. дані (1 файл: 14,58 Мб). – Х.: ХНУ ім. Каразіна, 2019 р. – 529 с. – Режим доступу: [http://geometry.karazin.ua/resources/documents/20191219182458\\_3cc8431d.pdf](http://geometry.karazin.ua/resources/documents/20191219182458_3cc8431d.pdf).
9. Невлюдов І. Ш. Мікросистемна техніка та нанотехнології [Текст]: монографія / І. Ш. Невлюдов, В. А. Палагін. – К.: ВИДАННЯ., 2017 р. - 528 с.
10. Яворський Н.Б. Комп'ютерні методи в інженерії мікроелектромеханічних систем [Текст] : навч. посіб. / Назарій Яворський, Василь Теслюк, Євгенія Литвинова. – Л.: Вид-во Львів. політехніки, 2015. – 280 с.

#### **Інформаційні ресурси**

I. Microsystems science, technology & components [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.sandia.gov/mstc/index.html>.

II. COMSOL, Inc. ; офіційний сайт [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.comsol.com>.

## Навчальний контент

### 5. 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)
	<b>РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ВИРОБНИЦТВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ РЕА</b>
1	<b>Зміст і структура дисципліни «Елементи інтелектуальної РА»</b> Роль і місце дисципліни у підготовці фахівців у галузі інтелектуальних технологій мікросистемної радіоелектронної техніки. Основні розділи та теми курсу. Види занять, індивідуальні завдання, система оцінювання. Література: [1, с. 15-17]; [5, с. 6-11].
	<b>Тема 1.1 Основні поняття мікросистемної техніки</b>
2	<b>Характеристика фізичних процесів в пристроях МСТ. Особливості конструювання та виробництва мікросистемної техніки</b> <b>Мікросистемна техніка. Етапи розвитку та особливості використання</b> Мікросистемна техніка – новий технічний напрям. Історія та основні етапи розвитку. Переваги МСТ. Основні елементи та пристрої мікросистемної техніки, фізичні процеси в них, конструктивно-технологічні особливості. Зв'язок з мікроелектронікою та наноелектронікою. Надійність пристроїв МСТ. Завдання на самостійну роботу: повторення матеріал лекції та опрацювання літературних джерел – провести аналіз особливостей пристроїв МСТ. Література: [1, с. 17-23]; [2, с. 11-42].
	<b>Тема 1.2 Моделювання фізичних процесів у пристроях МСТ</b>
3	<b>Особливості моделювання мікросистемних пристроїв</b> Теоретичні основи моделювання пристроїв МСТ. Визначення понять «моделювання», «об'єкт-оригінал», «модель». Види моделей. Мета моделювання. Ефекти масштабу в мікросистемній техніці. Елементи теорії подібностей. Критерії подібності, їх застосування моделюванні пристроїв МСТ. Комп'ютерне моделювання пристроїв МСТ. Огляд програмного забезпечення. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, опрацювання літературних джерел – вивчити критерії подібності, зробити короткий огляд програмного забезпечення для моделювання та розробки мікросистемної техніки. Література: [1, с. 24-32, 338-360]; [2, с. 87-100].
	<b>Тема 1.3 Основні технологічні процеси виготовлення елементів та пристроїв МСТ</b>
4	<b>Основні технологічні процеси виготовлення елементів та пристроїв МСТ</b> Особливості технологічних процесів виробництва МСТ. Кремнієва об'ємна та поверхнева мікрообробка. Основні етапи та особливості технології LIGA. MUMPs процес. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, опрацювання літературних джерел. Література: [1, с. 24-32, 338-360]; [2, с. 87-100].
	<b>РОЗДІЛ 2 МІКРОЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ПРИСТРОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ РАДІОСИСТЕМ</b>
	<b>Тема 2.1 Принцип дії та основні характеристики давачів та актюаторів мікросистемної техніки</b>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
5	<p><b>Механічні характеристики конструкційних матеріалів МСТ</b>  Суцільні тіла. Пружні тіла. Поняття абсолютно пружного тіла, деформованого стану. Межа пружності, область текучості та руйнування матеріалів. В'язкі та крихкі матеріали. Закон Гука. Коефіцієнт Пуассона. Модуль Юнга. Основні типи деформацій та їх характеристики. Ізотропні і анізотропні тіла.  Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції та опрацювати літературних джерел; запам'ятати типи деформацій та вивчити основні показники напруженості твердого тіла.  Література: [3, с. 213-239]; [5, с. 13-25]</p>
6	<p><b>Фізичні основи та принцип дії електромеханічних мікропристроїв</b>  Суцільні тіла. Пружні тіла. Поняття абсолютно пружного тіла, деформованого стану. Межа пружності, область текучості та руйнування матеріалів. В'язкі та крихкі матеріали. Закон Гука. Коефіцієнт Пуассона. Модуль Юнга. Основні типи деформацій та їх характеристики. Ізотропні і анізотропні тіла.  Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції та опрацювати літературних джерел; запам'ятати типи деформацій та вивчити основні показники напруженості твердого тіла.  Література: [3, с. 213-239]; [5, с. 13-25]</p>
	<p><b>Тема 2.2 П'єзоелектричні мікропристрої</b></p>
7	<p><b>Фізичні основи п'єзоелектрики</b>  Терміни та визначення. Електромеханічні аналогії. Відповідність механічних та електричних величин. Поняття механічної системи. Гармонійні коливання. Власні коливання. Змушені коливання. Резонанс механічної системи. Амплітудно-частотна і фазо-частотна характеристики. Втрати механічної системи, їх показники. Особливості коливальних рухів механічних мікроелементів.  Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, вивчити основні електромеханічні аналоги та показники коливального руху механічної системи.  Література: [1, с. 71-79].</p>
8	<p><b>П'єзоелектричні актюатори інтелектуальної РА</b>  Аналіз та моделювання роботи основних механічних елементів пристроїв МСТ. Основні математичні моделі пружних елементів. Застосування інваріантів для розрахунку параметрів чутливих елементів пристроїв МСТ. Розрахункові схеми основних конструктивних елементів.  Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, запам'ятати схеми та освоїти основні методи розрахунку типових елементів МСТ.  Література: [1, с. 79-86].</p>
	<p><b>Тема 2.3 Електромеханічні мікропристрої для інтелектуальної РА</b></p>
9	<p><b>Мікромеханічні давачі переміщень та тиску</b>  Перетворювачі переміщень чутливих елементів мікросистем. Принцип дії та основні характеристики ємнісних та індуктивних перетворювачів переміщень. Фізичні основи тензорезистивних перетворювачів переміщень для МСТ. Актюатори та їх класифікація. Електростатичні мікроактюатори. Принцип дії, конструктивні особливості та основні характеристики.  Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції; провести порівняльний аналіз металевих і напівпровідникових тензорезистивних елементів, розглянути принципи дії основних перетворювачів механічного руху.  Література: [1, с. 40-64]; [6, с. 50-62]; [7, с. 46-52].</p>
10	<p><b>Механічні коливання елементів РА</b>  Терміни та визначення. Електромеханічні аналогії. Відповідність механічних та електричних величин. Поняття механічної системи. Гармонійні коливання. Власні коливання. Змушені коливання. Резонанс механічної системи. Амплітудно-частотна і фазо-частотна характеристики. Втрати механічної системи, їх показники. Особливості коливальних рухів механічних мікроелементів.  Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, вивчити основні електромеханічні аналоги та показники коливального руху механічної системи.  Література: [1, с. 32-40]; [7, с. 11-25].</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
11	<p><b>Мікроакселерометри та вібраційні сенсори ІРА</b> Визначення акселерометра. Конструктивне виконання та принцип роботи лінійних та кутових акселерометрів, приклади застосування. Принцип дії кантилеварів. Вібраційні сенсори та віброаналізатори. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, розглянути принцип дії акселерометра і гіроскопа, пояснити можливість поєднування їх функцій в інтегральних схемах МСТ. Література: [1, с. 220-232]; [5, с. 100-107, 110-116]; [6, с. 74-95].</p>
12	<p><b>Мікромеханічні гіроскопи та їх застосування</b> Конструкція і принцип дії класичного гіроскопа. Сила Кориоліса. Технічні особливості мікромеханічних гіроскопів. Порівняння їх з класичними гіроскопами. Інтегральні мікросхеми гіроскопів-акселерометрів. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, розглянути принцип гіроскопа, пояснити можливість поєднування функцій гіроскопа та акселерометра в інтегральних схемах МСТ. Література: [1, с. 220-232]; [5, с. 100-107, 110-116]; [6, с. 74-95].</p>
<b>РОЗДІЛ 3 АКУСТИЧНІ ПРИСТРОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ РА</b>	
<b>Тема 3.1 Принцип дії пристроїв акустичних мікросистем. Особливості конструкції детекторів та перетворювачів акустичних сигналів, їх застосування в системах інтелектуальної РА</b>	
13	<p><b>Акустичні пристрої мікросистемної техніки та інтелектуальні прилади на їх основі</b> Фізичні основи та конструктивні особливості акустичних мікропристроїв: поширення акустичних хвиль в фізичному середовищі; ефект Допплера, принципи роботи акустичних мікропристроїв. Мікрофони, гідрофони і стетоскопи, принцип їх дії та особливості конструкції. Активні акустичні сенсори на основі пристроїв МСТ. Інтелектуальні акустичні сенсори і системи. Ультразвукові сенсори. Застосування в них пристроїв МСТ. Природа поверхневих акустичних хвиль (ПАХ). Сенсори та актюатори на їх основі. Застосування мікросенсорів на ПАХ. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, пояснити ефект Допплера для ультразвукових хвиль, привести приклади його застосування, розглянути роботу гідролокаторів, їх структурні схеми. Пояснити явище ПАХ. Література: [1, с. 216-218]; [6, с. 95-115, 136-158].</p>
<b>РОЗДІЛ 4 МІКРОСИСТЕМИ І МІКРОПРИСТРОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ДІАПАЗОНУ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ РА</b>	
<b>Тема 4.1 Електричні сенсори та мікросистеми радіодіапазону для інтелектуальної РА</b>	
14	<p><b>Електричні давачі МСТ</b> Фізичні основи роботи електричних пристроїв МСТ. Резистивні сенсори. Ємнісні та імпедансні чутливі елементи. Вольтаїчні сенсори для мікросистем. Вольтаїчні пристрої керування МСТ на діодах та транзисторах. Чутливі елементи на приладах з негативною ВАХ. <b>Газорозрядні пристрої.</b> Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції; визначити принципи дії електричних сенсорів відповідно до їх класифікації. Література: [6, с. 109-135].</p>
15	<p><b>Хімічні та біологічні сенсори інтелектуальної РА</b> Основні поняття електрохімії. Принцип роботи електрохімічного елемента. Класифікація електрохімічних сенсорів. Хімічні мікросенсори на польових транзисторах. Іоноселективні польові транзистори, їхня конструкція та використання в мікросистемній техніці. Біосенсори, їх класифікація та принцип дії. Структура біосенсора. Використання в мікросистемі та інтелектуальній радіоелектронній апаратурі. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції; визначити принципи дії електрохімічних сенсорів та біосенсорів. Література: [6, с. 43-47; 10, с. 280-292].</p>

<b>№ з/п</b>	<b>Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)</b>
16	<p><b>Пристрої та елементи мікросистем бездротового зв'язку</b> Перспективи МЕМС-технології для НВЧ застосувань. Компоненти МСТ ВЧ і НВЧ діапазонів. Основні технології виготовлення МСТ пристроїв ВЧ і НВЧ діапазонів. МЕМС-комутатори, їхні конструктивні особливості. Інтегральні лінії передачі мікрохвильового діапазону. Мікрохвильові генератори та підсилювачі в інтегральному виконанні. Принципи побудови мікросистем ВЧ і НВЧ діапазонів. Інтегральні мікросхеми для систем бездротового зв'язку. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції; пояснити основні технологічні процеси виготовлення ВЧ і НВЧ мікросистем, назвати сфери їх застосування. Література: [1, с. 176-190].</p>
	<b>Тема 4.2 Особливості побудови та роботи оптико-механічних пристроїв МСТ</b>
17	<p><b>Технічні основи оптико-механічних мікросистем</b> Оптико-механічні компоненти МСТ. Структура інтегрального мікродзеркала з електростатичною активацією. Модель руху структури мікродзеркала. Інтегральні мікродзеркала з гребінчастими електростатичними актюаторами. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції; пояснити методи і засоби регулювання положення мікродзеркала. Література: [1, с. 161-169].</p>
18	<p><b>Пристрої сприйняття та відтворення зображень для інтелектуальної РА</b> МСТ засоби обробки зображень. Принцип дії та конструктивні особливості світлочутливого елемента на польовому транзисторі. Кольорова світлочутлива матриця. Принцип дії та основні характеристики сучасних матриць відтворення зображень. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції; пояснити принцип роботи світлочутливого елемента та матриці відтворення зображень. Література: [1, с. 165-175].</p>

### Практичні заняття

Дисципліна «Елементи інтелектуальної радіоелектронної апаратури» належить до циклу професійно-практичної підготовки, тому особлива увага надається практичній складовій процесу навчання.

Основною метою практичних занять є:

- поглиблення та закріплення теоретичних знань;
- освоєння методів та засобів моделювання пристроїв мікросистемної техніки та набуття навичок їх розробки;
- оволодіння методами розрахунку параметрів базових елементів МСТ;
- набуття навичок оформлення графічної та текстової документації, що супроводжує виробу мікросистемної техніки.

Більшість завдань практичних занять передбачають застосування програмного пакету «COMSOL Multiphysics».

<b>№ з/п</b>	<b>Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)</b>
	<b>Тема 1.2 Моделювання фізичних процесів у пристроях МСТ</b>
1	<p><b>Моделювання елементів та пристроїв МСТ. Особливості програмного забезпечення</b> Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, ознайомитися з принципами роботи пакету «Comsol Multiphysics», навчитися будувати базові елементи геометричних моделей пристроїв МСТ. Література: [2, с. 4-11], [8, с. 5-22].</p>



№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
	Тема 2.1 Принцип дії та основні характеристики давачів та актюаторів мікросистемної техніки
2	<b>Дослідження коливальних властивостей мікроантилевера</b> Завдання на самостійну роботу: побудувати модель та дослідити коливальні властивості кантилевера в середовищі «Comsol Multiphysics», дотримуючись рекомендацій, викладених на стор. 26-35 . Виконати завдання на стор. 35-36. Література: [2, с. 26-36].
	Тема 2.2 П'єзоелектричні мікропристрої
3	<b>Розрахунок і аналіз характеристик п'єзоелектричного актюатора. Ч.1. Побудова моделі пристрою</b> Завдання на самостійну роботу: побудувати модель актюатора в середовищі пакету «Comsol Multiphysics», користуючись рекомендаціями посібника [2]. Література: [2, с. 37-49].
4	<b>Розрахунок і аналіз характеристик п'єзоелектричного актюатора. Ч.2. Розрахунок характеристик та їх аналіз</b> Завдання на самостійну роботу: розрахувати основні характеристики п'єзоелектричного актюатора в середовищі пакету «Comsol Multiphysics» і провести їх аналіз, користуючись рекомендаціями посібника [2]. Література: [2, с. 49-56].
	Тема 2.3 Електромеханічні мікропристрої для інтелектуальної РА
5	<b>Резистивний нагрів. Критерій Фур'є. Ч. 1. Побудова моделі теплового процесу і мікропристроїв</b> Завдання на самостійну роботу: побудувати модель теплового процесу нагріву електричних контактів в мікропристроїв інтелектуальної РА, використовуючи програмний пакет «Comsol Multiphysics» та дотримуючись рекомендацій, викладених на стор. 5-19 [2]. Література: [2, с. 5-19].
6	<b>Резистивний нагрів. Критерій Фур'є. Ч. 2. Аналіз результатів моделювання</b> Завдання на самостійну роботу: провести чисельні розрахунки, використовуючи побудовану модель теплового процесу, виконати завдання на стор. 25 [2]. Дослідити залежність швидкості поширення теплової енергії від габаритних розмірів контактної пластини. Література: [2, с. 19-25].
	Тема 3.1 Принцип дії акустичних пристроїв МСТ. Особливості конструкції детекторів та перетворювачів акустичних сигналів, їх застосування
7	<b>Розрахунок параметрів п'єзорезистивного давача тиску. Ч. 1. Побудова моделі</b> Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, побудувати модель п'єзорезистивного давача тиску MPX100 в середовищі пакету «COMSOL Multiphysics». Виконати завдання 1-3 на стор. 76 [2]. Література: [2, с. 57-69].
8	<b>Розрахунок параметрів п'єзорезистивного давача тиску. Ч. 2. Аналіз результатів моделювання давача тиску</b> Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, провести розрахунок чутливого елемента давача тиску MPX100 в середовищі пакету «COMSOL Multiphysics», розрахувати його основні параметри та побудувати графіки розрахованих характеристик. Порівняти отримані результати з паспортними даними та результатами, одержаними в лабораторній роботі 1. Виконати завдання 4-6 на стор. 76 [2]. Література: [2, с. 70-76].
	Тема 4.1 Принципи дії та конструювання мікрооптичних пристроїв
9	<b>Консультація з питань ДКР. Попередній захист роботи</b>

### Лабораторні заняття

Основна мета лабораторних занять:

- перевірка набутих теоретичних знань на практиці;

- набуття навичок роботи з вимірювальними приладами та обладнанням;
- оволодіння методами вимірювання параметрів та зняття характеристик;
- набуття навичок оцінки експериментальних даних та оформлення висновків.

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1	<b>Визначення параметрів та характеристик п'єзорезистивного давача тиску</b> Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекцій 9 і 10 та підготуватися до виконання лабораторної роботи; оформити звіт з роботи та підготувати відповіді на контрольні питання.	3
2	<b>Дослідження характеристик мікроелектромеханічного акселерометра</b> Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекцій 7, 8 і 11 та підготуватися до виконання лабораторної роботи; оформити звіт з роботи та підготувати відповіді на контрольні питання.	3
3	<b>Визначення характеристик мікродзеркала осцилографічного гальванометра</b> Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції 17 та підготуватися до виконання лабораторної роботи; оформити звіт з роботи та підготувати відповіді на контрольні питання.	3
4	<b>Дослідження чутливого елемента давача тиску MPX100</b> Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції 5 і 6 та підготуватися до виконання лабораторної роботи: побудувати модель п'єзорезистивного чутливого елемента в середовищі COMSOL Multiphysics [6], провести моделювання; оформити звіт з роботи та підготувати відповіді на контрольні питання.	3
5	<b>Аналіз роботи електроосмотичного мікронасоса</b> Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції 4 і 8 та підготуватися до виконання лабораторної роботи: побудувати модель мікронасосу в середовищі COMSOL Multiphysics [6], провести моделювання; оформити звіт з роботи та підготувати відповіді на контрольні питання.	3
6	<b>Дослідження властивостей давача дихлорметану на поверхневих акустичних хвилях</b> Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекцій 12 і 13 та підготуватися до виконання лабораторної роботи; побудувати в середовищі COMSOL Multiphysics [6] модель давача дихлорметану, провести моделювання; оформити звіт з роботи та підготувати відповіді на контрольні питання.	3

## 6. Самостійна робота студента

Студенти виконують завдання для самостійної роботи, які зазначені у п. 5, а також в методичних рекомендаціях до практичних та лабораторних занять відповідно до календарного графіку навчального процесу. Протягом семестру ними має бути виконана домашня контрольна робота. Приблизна тематика завдань на ДКР приведена у додатку п.9.

## Політика та контроль

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

#### Правила відвідування занять

Лабораторні заняття є обов'язковими до виконання завдання. У разі їх пропуску, має бути відпрацювання за попередньою домовленістю з викладачем.

У разі пропуску лекцій або практичного заняття, студент має виконати передбачені завдання та пройти співбесіду з викладачем за матеріалами пропущеного заняття. Матеріали лекції та практичних занять із завданнями розміщені на ресурсі Google classroom, доступ до якого

студенти отримують на початку семестра.

### **Допуск до лабораторних занять та захист звіту про виконану роботу**

Перед лабораторною роботою студенти проходять співбесіду з викладачем, за результатами якої приймається рішення про допуск до її виконання.

Захист звіту про проведену лабораторну роботу проходить на наступному за розкладом лабораторному занятті. Оцінка, яку студент отримує за лабораторне заняття складається з балів, одержаних під час допуску та захисту. Кількість балів вказана в рейтинговій системі оцінювання (п.8).

### **Захист домашньої контрольної роботи**

Захист ДКР проходить на консультаціях за розкладом в останні два тижні семестру або, за попередньою домовленістю з викладачем, в інший час. Оцінка за ДКР має дві складові: за пояснювальну записку та за відповіді під час захисту. Підсумкова оцінка оголошується під час захисту.

Перездачу ДКР не передбачено.

### **Заохочувальні та штрафні бали і політика щодо академічної доброчесності**

Найбільш активні студенти, зокрема ті, що виконують зразково, завдання за матеріалами занять, можуть отримати від 1 до 10 балів до семестрового рейтингу.

Штрафні бали застосовуються, якщо студент видає результати чужої роботи за власні. У цьому разі він має виконати завдання повторно.

### **Політика дедлайнів і перескладень**

Кінцевий термін здачі індивідуальних завдань (ДКР), заліку та перескладень визначається розкладом, затвердженим деканом факультету. У разі його порушення оцінка знижується на 10%.

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

### **Правила відвідування занять**

Лабораторні заняття є обов'язковими до виконання завдання. У разі їх пропуску, має бути відпрацювання за попередньою домовленістю з викладачем.

У разі пропуску лекцій або практичного заняття, студент має виконати передбачені завдання та пройти співбесіду з викладачем за матеріалами пропущеного заняття. Матеріали лекції та практичних занять із завданнями розміщені на ресурсі Google classroom, доступ до якого студенти отримують на початку семестра.

### **Допуск до лабораторних занять та захист звіту про виконану роботу**

Перед лабораторною роботою студенти проходять співбесіду з викладачем, за результатами якої приймається рішення про допуск до її виконання.

Захист звіту про проведену лабораторну роботу проходить на наступному за розкладом лабораторному занятті. Оцінка, яку студент отримує за лабораторне заняття складається з балів, одержаних під час допуску та захисту. Кількість балів вказана в рейтинговій системі оцінювання (п.8).

### **Захист розрахунково-графічної роботи**

Захист РГР проходить на консультаціях за розкладом в останні два тижні семестру або, за попередньою домовленістю з викладачем, в інший час. Оцінка за РГР має дві складові: за пояснювальну записку та за відповіді під час захисту. Підсумкова оцінка оголошується під час захисту.

Перездачу РГР не передбачено.

### **Заохочувальні та штрафні бали і політика щодо академічної доброчесності**

Найбільш активні студенти, зокрема ті, що виконують зразково, завдання за матеріалами занять, можуть отримати від 1 до 10 балів до семестрового рейтингу.

Штрафні бали застосовуються, якщо студент видає результати чужої роботи за власні. У цьому разі він має виконати завдання повторно.

### **Політика дедлайнів і перескладень**

Кінцевий термін здачі індивідуальних завдань (РГР), заліку та перескладень визначається розкладом, затвердженим деканом факультету. У разі його порушення оцінка знижується на 10%.

#### **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, що виносяться на семестровий контроль:**

1. Особливості конструкції та технології мікропристроїв для інтелектуальної РА.
2. Основні принципи моделювання мікропристроїв та їх компонентів.
3. Критерії подібності, їх застосування у моделюванні пристроїв МСТ
4. Кремнієва об'ємна мікрообробка.
5. Технології поверхневої мікрообробки.
6. Основні етапи та особливості технології LIGA.
7. Технологія MUMPs.
8. Основні положення механіки пружних середовищ.
9. Кремній як механічний матеріал для елементів мікропристроїв.
10. Принцип дії та застосування електростатичних актюаторів систем інтелектуальної РА.
11. Власні коливання механічної системи.
12. Змушені механічні коливання та резонанс елементів мікросистем.
13. Демпфування коливань елементів мікропристроїв.
14. Фізичні основи та принцип дії електромеханічних мікропристроїв.
15. Застосування п'єзоперетворювачів в мікросистемах інтелектуальної РА та їх основні характеристики.
16. Використання п'єзоєфекту для приймання акустичних хвиль.
17. П'єзоелектричні виконавчі пристрої.
18. Види механічних сенсорів та інтелектуальних давачів на їх основі.
19. Мікросенсори переміщень.
20. Мікросенсори тиску та деформацій.
21. Лінійні та кутові мікромеханічні акселерометри.
22. Конструктивні особливості та застосування мікроакселерометрів.
23. Принцип дії мікромеханічних гіроскопів (ММГ).
24. Класифікація та особливості конструкції ММГ.
25. Мікромеханічні гіроскопи за технологією iMEMS.

26. Комутаційні пристрої мікросистем інтелектуальної РА.
27. Мікропристрої на основі поверхнево-акустичних хвиль.
28. Резистивні, ємнісні та імпедансні чутливі мікроелементи та пристрої.
29. Вольтаїчні пристрої МСТ на діодах та біполярних транзисторах.
30. Електрохімічні пристрої інтелектуальної РА.
31. Принцип роботи інтелектуальних електрохімічних давачів.
32. Потенціометричні електрохімічні сенсори інтелектуальних давачів.
33. Кондуктометричні та імпедансні Основні параметри.
34. Амперометричні та кулонометричні мікросенсори та давачі на їх основі.
35. Хімічно чутливі мікропристрої на польових транзисторах.
36. Інтегральні мікродзеркала оптичних систем.
37. МОЕМС технології генерації та сканування оптичної інформації.
38. Перспективи MEMS-технології для НВЧ застосувань.
39. Компоненти інтелектуальної РА ВЧ і НВЧ діапазонів.
40. Перспективи розвитку мікросистем для інтелектуальної РА.

### **Приблизна тематика завдань на ДКР**

№	Тема ДКР
1	Аналіз характеристик п'єзоелектричного балочного актюатора
2	Моделювання та розрахунок параметрів чутливого елемента акселерометра з повітряним демпфуванням
3	Розрахунок параметрів консольної балки електростатичної дії
4	Аналіз принципу дії та розрахунок параметрів ємнісного мікросенсора тиску
5	Розрахунок характеристик мікросенсора дихлорметану на поверхнево-акустичних хвилях
6	Аналіз роботи та розрахунок характеристик п'єзоакустичного перетворювача для МСТ
7	Аналіз принципу дії та оцінка добротності механічної системи мікрогіроскопа
8	Аналіз роботи і визначення статичних характеристик структури польового транзистора
9	Розрахунок характеристик низьковольтного електроосмотичного насоса
10	Аналіз взаємодії рідких структур
11	Моделювання та розрахунок параметрів напівпровідникової діодної структури
12	Моделювання теплового нагріву резистивних контактів
13	Аналіз роботи ємнісного гребінчастого рушія
14	Моделювання МСТ резонатора з термопластичним демпфуванням

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

Практичні заняття, в яких передбачено застосування програмного пакету «COMSOL Multiphysics», проводяться в комп'ютерних класах (402-17, 404-17), які мають 18 робочих місць з інсталюваною демо-версією програми. Для виконання завдань практичних занять розроблено посібник, а також методичні рекомендації, які розміщені в Google classroom.

Лабораторні заняття проводяться у навчальній лабораторії (408-17) з макетами для виконання робіт, зазначених у п. 5. Методичні рекомендації до робіт розміщені в Google classroom.

---

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Складено** [Перегудов С. М.](#);

**Ухвалено** кафедрою ПРЄ (протокол № 06/2023 від 22.06.2023 )

**Погоджено** методичною комісією факультету/ІНІ (протокол № 06-2023 від 29.06.2023 )