

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНИКА**

Фізико-технічний факультет  
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
Дослідження і проектування мікроелектронних механічних систем (МЕМС)**

Освітня програма Магістр  
Галузь знань 12 Інформаційні технології  
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Затверджено на засіданні кафедри  
Протокол № 12 від “30” червня 2023 р.

Івано-Франківськ – 2023 рік

## Зміст

- 1 Загальна інформація
- 2 Анотація до курсу
- 3 Мета та цілі курсу
- 4 Результати навчання (компетентності)
- 5 Організація навчання курсу
6. Система оцінювання курсу
- 7 Політика курсу
- 8 Рекомендована літератури

### 1. Загальна інформація про викладача і дисципліну

<b>Назва дисципліни</b>	Дослідження і проектування мікроелектронних механічних систем (МЕМС)
<b>Рівень вищої освіти</b>	Другий рівень вищої освіти
<b>Викладач</b>	Доктор технічних наук, професор, Когут Ігор Тимофійович
<b>Контактний телефон викладача</b>	(0342) 59-60-07
<b>Е-mail викладача</b>	igor.kohut@pnu.edu.ua
<b>Формат дисципліни</b>	Семестровий
<b>Обсяг дисципліни</b>	3 кредити (90 годин)
<b>Посилання на сайт дистанційного навчання</b>	<a href="http://www.d-learn.pu.if.ua">http://www.d-learn.pu.if.ua</a>
<b>Консультації</b>	Відповідно до графіку індивідуальних консультацій, який розміщений на інформаційному стенді кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки

### 2. Анотація до курсу

Дисципліна “Дослідження і проектування мікроелектронних механічних систем (МЕМС)” належить до циклу вибіркових навчальних дисциплін із професійної підготовки за освітнім рівнем «Магістр», що пропонуються в рамках циклу загальної і професійної підготовки студентів за освітньою програмою “ Комп'ютерна інженерія”. Вона забезпечує формування у студентів прикладних, проектно-дослідницьких і професійно-орієнтованих компетенцій, спрямованих на вміння проектувати з використанням систем автоматизованого проектування (САПР) МЕМС та інші сенсорні пристрої на основі інтегральних технологій виготовлення інтегральних, мікросистем-на-кристалі та інтегральних сенсорних та актюаторних пристроїв.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є теоретично-прикладні основи дослідження та проектування МЕМС на основі технологій виготовлення інтегральних схем з біполярними та КМОН - структурами, об'ємними приладними структурами кремній-на-ізоляторі, спеціалізованих МЕМС-технологій.

Силабус навчальної дисципліни “Дослідження і проектування мікроелектронних

механічних систем (МЕМС) складений відповідно до освітньо-професійної програми підготовки магістрів спеціальності 123 “Комп’ютерна інженерія”.

### 3. Мета та цілі курсу

**Мета:** сформувати у студентів:

- сучасні практично-прикладні уявлення та знання із проектування інтегральних первинних електронних перетворювачів сигналів фізичних величин, МЕМС;
- уявлення про особливості маршрутів сумісного проектування та технологій виготовлення інтегральних сенсорних елементів та ІС;
- сучасні технології формування інтегральних елементів МЕМС з використанням біполярних і КМОН - приладних інтегральних структур;
- методологію схемо-технічного та імітаційного моделювання елементів інтегральних сенсорів та схем первинної обробки інформації від них;
- базові структури інтегральних перетворювачів сигналів, спеціалізовані сенсорні мікросистеми-на-кристалі.

**Завдання:** ознайомлення із специфікою маршрутів проектування та базовими технологіями формування сумісних приладних КМОН і біполярних структур інтегральних сенсорних елементів та схем обробки сигналів на основі ІС для МЕМС; формування вміння аналізувати та проектувати інтегральні структури сенсорних елементів; ознайомлення із електрофізичними моделями інтегральних сенсорних елементів; отримання практичного досвіду з дослідження, проектування, моделювання та параметричної оптимізації інтегральних сенсорних елементів.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати:

- особливості та вимоги до параметрів МЕМС;
- типи інтегральних сенсорних пристроїв;
- сучасні підходи і маршрути автоматизованого проектування інтегральних елементів МЕМС;
- базові технології формування приладних інтегральних структур сенсорних елементів;
- архітектуру сенсорних мікросистем-на-кристалі.

**вміти:**

- аналізувати і вибирати типи інтегральних структур для створення первинних інтегральних сенсорів та МЕМС;
- проектувати та аналізувати електричні схеми інтегральних перетворювачів сигналів;
- користуватися системами автоматизованого проектування і моделювання;
- вибирати та адаптувати елементи ІС для первинної обробки сигналів від сенсорних елементів;
- проектувати і автоматизовано генерувати плани топологій кристалів спеціалізованих сенсорних систем-на-кристалі.

### 4. Компетентності

Здатність розв’язувати складні задачі і проблеми в галузі комп’ютерної інженерії або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та

характеризується невизначеністю умов і вимог.

Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

Здатність оцінювати рівень існуючих технологій у галузі професійної діяльності, ефективність технічних рішень та можливість виникнення об'єктів права інтелектуальної власності, відшукувати шляхи та можливості реалізації наукових ідей у прибуткових бізнес-проектах та стартапах.

Здатність використовувати та впроваджувати нові технології, включаючи технології розумних, мобільних, зелених і безпечних обчислень, брати участь в модернізації та реконструкції комп'ютерних систем та мереж, різноманітних вбудованих і розподілених додатків, зокрема з метою підвищення їх ефективності.

Здатність застосовувати результати наукових досліджень при розробленні і проектуванні інтегральних сенсорних пристроїв, так і сумісних сенсорних пристроїв із інтегральними схемами, спеціалізованих сенсорних мікросистем-на-кристалі для автомобільної електроніки.

## 5. Результати навчання

Застосовувати загальні підходи пізнання, методи математики, природничих та інженерних наук до розв'язання складних задач комп'ютерної інженерії.

Знаходити необхідні дані, аналізувати та оцінювати їх.

Аналізувати проблематику, ідентифікувати та формулювати конкретні проблеми, що потребують вирішення, обирати ефективні методи їх вирішення.

Застосовувати знання технічних характеристик, конструктивних особливостей, призначення і правил експлуатації програмно-технічних засобів комп'ютерних систем та мереж для вирішення складних задач комп'ютерної інженерії та дотичних проблем.

## 5. Організація навчання курсу

Обсяг курсу					
Вид заняття			Загальна кількість годин		
лекції			14		
семінарські заняття / практичні / лабораторні			16		
самостійна робота			60		
Ознаки курсу					
Семестр	Спеціальність	Курс (рік навчання)		Нормативний/ вибірковий	
3	123 Комп'ютерна інженерія	2		вибірковий	
Тематика курсу					
Тема	Форма заняття, год.	Література	Кількість годин	Вага оцінки	Термін виконання
Змістовий модуль 1					

Тема 1. Вступ. МЕМС і сенсорні мікросистеми–на-кристали. Сенсорні та актюаторні елементи МЕМС.	лекція	1-3	2	1	Згідно розкладу
Тема 2. Інтегральні первинні перетворювачі сигналів фізичних величин. Перспективи і можливості проектування на їх основі МЕМС.	лекція	4	2	1	Згідно розкладу
Тема 3. Фізичні основи проектування інтегральних тензоперетворювачів. Етапи інтеграції окремих конструктивних елементів тензометричних перетворювачів.	лекція	4-6	2	1	Згідно розкладу
Тема 4. Технології формування тривимірних елементів інтегральних структур МЕМС.	лекція	4-5	2	1	Згідно розкладу
Тема 5. Інтегральні елементи тензоперетворювачів, температурних сенсорів, сенсорів прискорення, фотосенсорів.	лекція	4,5	2	1	Згідно розкладу
Тема 6. Елементна база інтегральних сенсорних МЕМС на основі КМОН приладних структур «кремній-на-ізоляторі». Їх переваги для МЕМС спеціального призначення і сенсорних мікросистем-на-кристали.	лекція	5,11-14	2	1	Згідно розкладу
Тема 7. Характеристики інтегральних сенсорних елементів МЕМС і методи їх термокомпенсації..	лекція	4	2	1	Згідно розкладу
Модульний контроль 1			2	7	Згідно розкладу
<b>Практичний модуль</b>					
Тема 1. Практична робота в САПР TopSpice. Імітаційне моделювання мостових	лаб. роб.	10	2	1	Згідно розкладу

резистивних елементів інтегральних сенсорів.					
Тема 2. Практична робота в САПР TopSpice. Імітаційне моделювання мостових МОН-транзисторних елементів інтегральних сенсорів.	лаб. роб.	10	2	1	Згідно розкладу
Тема 3. Дослідження і моделювання характеристик резонансних елементів інтегральних сенсорів в САПР TopSpice	лаб.роб.	10	2	1	Згідно розкладу
Тема 4. Дослідження і моделювання МОН-транзисторної схеми інтегрального елемента термокомпенсації чутливості в в САПР TopSpice.	лаб.роб.	8,10	4	1	Згідно розкладу
Тема 5. Проектування і моделювання активного інтегрального елемента термокомпенсації чутливості на основі операційного підсилювача в системі MicroWind.	лаб.роб.	4,8-11	2	1	Згідно розкладу
Тема 6. Вибір інтегральних елементів лінеаризації характеристик і практична робота в системі проектування і моделювання MicroWind.	лаб.роб.	4,7-9	4	1	Згідно розкладу
<b>Самостійна робота</b>					
Тема 1. Тривимірні структури кремній-на-ізоляторі – елементна база сенсорних мікросистем-на-кристалі та МЕМС.	само-стійна робота	5,9	10	1	Згідно розкладу
Тема 2. Інтегрально- оптичні елементи та компоненти МЕМС	само-стійна робота	6	10	1	Згідно розкладу
Тема 3. Інтегральні елементи оптоелектронних сенсорів.	само-стійна робота	5,6	10	1	Згідно розкладу

Тема 4. Принципи функціонування інтегральних оптоелектронних сенсорів.	само-стійна робота	6			Згідно розкладу
Тема 5. Інтегральні елементи волоконно-оптичних сенсорів.	само-стійна робота	6	10	1	Згідно розкладу
Тема 6. Метрологічне забезпечення оптоелектронних інтегральних сенсорів фізичних величин.	само-стійна робота	6	10	1	Згідно розкладу
Контроль самостійної роботи	2		2		Тиждень КСР
<b>Підсумковий контроль (екзамен)</b>				100	Згідно розкладу

## 6. Система оцінювання курсу

<b>Загальна система оцінювання курсу</b>			
<p><i>Поточний контроль</i> здійснюється під час проведення лекційних, лабораторних, індивідуальних занять і має на меті перевірку знань студентів з окремих тем навчальної дисципліни та рівня їх підготовленості до виконання конкретної роботи. Оцінки у національній шкалі («відмінно» - 5, «добре» - 4, «задовільно» - 3, «незадовільно» - 2), отримані студентами, виставляються у журналах обліку відвідування та успішності академічної групи.</p> <p><i>Модульний контроль (сума балів за окремий змістовий модуль)</i> проводиться (виставляється) на підставі оцінювання результатів знань студентів після вивчення матеріалу з логічно завершеної частини дисципліни – змістового модуля.</p> <p>Завданням модульного контролю є перевірка розуміння та засвоєння певного матеріалу (теми), вироблення навичок проведення розрахункових робіт, вміння вирішувати конкретні ситуативні задачі, самостійно опрацьовувати тексти, здатності осмислювати зміст даної частини дисципліни, уміння публічно чи письмово подати певний матеріал.</p> <p><i>Семестровий (підсумковий) контроль</i> проводиться у формі екзамену.</p> <p><i>Екзамен</i> – форма підсумкового контролю, яка передбачає перевірку розуміння студентом теоретичного та практичного програмного матеріалу з усієї дисципліни, здатності творчо використовувати здобуті знання та вміння, формувати власне ставлення до певної проблеми тощо.</p>			
<b>Шкала оцінювання: національна та ECTS</b>			
Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90-100	A	відмінно	зараховано
80-89	B	добре	
70-79	C		
60-69	D	задовільно	

50-59	E		
26-49	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-25	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

## 7 Політика курсу

Студент зобов'язаний відвідувати заняття відповідно до встановленого розкладу, не запізнюватися, мати відповідний зовнішній вигляд. У разі відсутності через хворобу надається відповідна довідка.

Пропущена лекція відпрацьовується студентом самостійно і оформляється як короткий конспект за темою заняття.

Пропущена лабораторна робота виконується студентом самостійно вдома або в комп'ютерному класі, результати оцінюються викладачем.

У випадку, якщо студент приймав участь у програмі мобільності, можливе врахування отриманих оцінок в іншому навчальному закладі за умови відповідності навчальних планів.

### Політика академічної поведінки і етики

Студент повинен бути толерантним і поважати думку інших.

Заперечення повинні формулюватися тільки в коректній формі.

Плагіат та академічна недоброчесність несумісні з принципами діяльності ВНЗ.

Не допускається підказування та списування під час здачі будь-яких робіт поточного, рубіжного чи підсумкового контролю.

Не допускається користування телефонами та будь-якими іншими електронними засобами під час здачі будь-яких робіт поточного, рубіжного, чи підсумкового контролю.

## 8. Рекомендована літератури

1. Мікроелектронні сенсори фізичних величин за редакцією З.Ю.Готри. Львів.- Ліга-Пресс-2007. в 3-х томах. Т.3.-364 с.

2. А.О.Дружинін, І.Т.Когут, Ю.М.Ховерко. Структури кремній-на-ізоляторі для сенсорної електроніки. Монографія.. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 224 с.

3. М.Д. Гераїмчук, О.В. Івахів, Т.М. Репетило. Основи проектування МЕМС перетворювачів механічних величин в електричні. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017 - 108 с.

3. Бортнікова В.О. Моделі та методи автоматизованого проектування технологічних процесів виготовлення мікроелектромеханічних акселерометрів. Дис. на здобуття наук. ступеня кандидата технічних наук, 2019-ХНУРЕ, Харків, 127с.

4. Василь Теслюк, Назар Яворський, Євгенія Литвинова. Комп'ютерні методи в інженерії мікроелектромеханічних систем (Computer Methods in Microsystems Engineering) – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016. – 180 с.



5. Etienne Sicard, Sonia Delmas Bendhia Deep-Submicron Circuit Design.- Simulator in hands. Salt Lake Sity, Utah 84109, USA -2003 ([www.brookscole.com](http://www.brookscole.com)), 737 p.

6. САПР TopSpice ([www.penzar.com](http://www.penzar.com))

7. Пакет прикладних програм MicroWind-3. <https://www.microwid.org>

8. В.І. Бойко, А.М. Гуржій, В.Я. Жуйков та ін. Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. Кн.

1. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої: Підручник. – 2-ге вид., допов. і переробл. – К.: Вища шк., 2004. – 366с.

9. В.В. Багрій, В.І. Бойко, С.П. Денисюк, та ін. Основи схемотехніки електронних систем. – К.: Вища школа, 2004. – 536 с.

10.В.В. Довгий, І.Т. Когут, В.І. Голота. Розробка і моделювання елементів аналітичної мікросистемна-кристалі зі структурами “кремній-на-ізоляторі” ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLIDSTATE Т. 17, № 2 (2016) С. 275-280 V. 17, № 2 (2016) P. 275-280 DOI: 10.15330/pcss.17.2.275-280 275 УДК621.3.049 ISSN 1729-4428

11. <http://www.sensorica.ru/news/MEMS.shtml>

12. <https://www.hitachi-hightech.com/global/products/device/semiconductor/power-mems.html>