

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

Фізико-технічний факультет
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Проектування мікросистем-на-кристалі**

Рівень вищої освіти – третій (освітньо-науковий) рівень вищої освіти

Освітньо-наукова програма «Електроніка»

Спеціальність 171 Електроніка

Галузь знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

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

Івано-Франківськ – 2023 рік

1. Загальна інформація	
Назва дисципліни	Проектування мікросистем-на-кристалі
Викладач (-і)	професор, доктор технічних наук Когут Ігор Тимофійович
Контактний телефон викладача	0342596007
E-mail викладача	igor.kohut@pnu.edu.ua
Формат дисципліни	Очний, дистанційний
Обсяг дисципліни	3 кредити ЄКТС, 90 год.
Посилання на сайт дистанційного навчання	https://d-learn.pnu.edu.ua/
Консультації	відповідно до графіку індивідуальних консультацій, який розміщений на інформаційному стенді кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки
2. Анотація до навчальної дисципліни	
<p>Дисципліна “Проектування мікросистем-на-кристалі” належить до переліку обов’язкових навчальних дисциплін циклу професійної підготовки за освітнім рівнем “Доктор філософії”, що пропонуються в рамках циклу професійної підготовки аспірантів в рамках освітньо-науковою програмою(ОНП) “Електроніка”. Вона забезпечує формування у аспірантів науково-дослідницьких професійно-орієнтованих компетенцій.</p> <p>Предметом вивчення навчальної дисципліни є базові конструктивно-технологічні, структурні, схемотехнічні та схемо-топологічні підходи, що стосуються створення елементної бази інтегральних сенсорних пристроїв та схем оброблення інформації від них для мікросистем-на-кристалі на основі КМОН- та КНІ КМОН- технологій. Для їх, дослідження, моделювання і проектування використовуються сучасні апаратно-програмні засоби – системи автоматизованого проектування і моделювання (САПР).</p> <p>Силабус навчальної дисципліни “Проектування мікросистем-на-кристалі” складений відповідно до освітньо-наукової програми “Електроніка” з підготовки докторів філософії спеціальності 171 “Електроніка” галузі знань 17 “Електроніка, автоматизація та електронні комунікації”.</p>	
3. Мета та цілі навчальної дисципліни	
<p>Метою курсу “Проектування мікросистем-на-кристалі” є формування у аспірантів практичних навиків дослідження, проектування і моделювання інтегральних елементів, зокрема, на основі КМОН – технологій та їх модифікацій, включаючи, технологію формування КНІ- структур для створення елементної бази сенсорних мікросистем-на-кристалі. Базовим інструментарієм для інтерактивних досліджень в процесі створення мікросистем-на-кристалі є використання САПР, що дає змогу оволодіння аспірантами компетентностей відповідно до третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти та вимог восьмого кваліфікаційного рівня Національної рамки кваліфікацій.</p> <p>Це є особливістю цього курсу. Ці знання необхідні також для вибору приладних структур інтегральних КМОН – елементів, приданих для проектування як стандартних елементів ІС, так і специфічних – для використання як первинних інтегральних перетворювачів сигналів фізичних величин для побудови інтегральних сенсорних елементів, в тому числі, інтелектуальних. Основою для створення мікросистем-на-кристалі сенсорного типу можуть бути використані як спеціалізовані, так матричні ІС типу БМК.</p>	

Тому завданням дисципліни “Проектування мікросистем-на-кристалі” є сформувати у аспірантів науково-дослідницькі підходи щодо дослідження і проектування інтегральних елементів ІС, сенсорних елементів та комбінованих на основі стандартних КМОН, КНІ КМОН, включаючи тривимірні та зміщені з мікропорожнинами під поверхнею кремнієвої пластини з використанням сучасних САПР. Для цього в курсі розглядається наступна тематика:

- технологія формування КМОН - інтегральних приладних структур;
- розроблення і моделювання оригінальних технологій формування локальних КНІ-структур для мікросистемних використань – тривимірних, тривимірних двошарових, тривимірних комбінованих з мікропорожнинами під поверхнею кремнієвої пластини;
- особливості дослідження, проектування топологій інтегральних елементів сенсорних мікросистем-на-кристалі з використанням САПР.

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен

знати:

- основи проектування і підходи дослідження інтегральних елементів мікросистем-на-кристалі на основі КМОН- структур;
- умови вибору конструктивно-технологічних рішень і типів базових інтегральних структур для проектування елементів сенсорних мікросистем-на-кристалі;
- базові правила та норми проектування топологій елементів КМОН ІС та вбудованих у кристал сенсорних елементів;
- підходи щодо дослідження структур КМОН ІС для їх використання як схем обробки інформації та сенсорних перетворювачів сигналів фізичних величин з використанням САПР.

вміти:

- проектувати топології базових інтегральних КМОН - транзисторних елементів у САПР Microwind;
- будувати поперечні перетини аналізувати КМОН і КНІ КМОН- приладні структури у САПР Microwind;
- досліджувати вплив конструктивно-технологічних параметрів інтегральних структур на їх електричні, частотні й температурні характеристики;
- оцінювати можливості використання інтегральних структур для створення чутливих елементів сенсорів, досліджувати характеристики елементів мікросистем-на-кристалі із їх реальних топологій у САПР Microwind.

4. Програмні компетентності та результати навчання

ПК. Здатність продукувати нові ідеї, здатність розв’язувати комплексні проблеми в галузі професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності у сфері електроніки, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики.

СК1. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у електроніці та дотичних до неї міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з електроніки та суміжних галузей.

СК2. Здатність дотримуватись етики досліджень, а також правил академічної доброчесності в наукових дослідженнях та науково-педагогічній діяльності.

СК4. Здатність використовувати сучасні інструменти та методи дослідження, методи моделювання, аналізу даних та оптимізації, системи прийняття рішень, цифрові технології, бази даних та інші електронні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення для дослідження об’єктів і процесів електроніки.

СК9. Здатність обирати ефективні системи автоматизованого проектування, здійснювати проектування ІС, мікросистем на кристалі, програмування ПЛІС.

ПРН2. Вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми електроніки державною та іноземною мовами, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях.

ПРН4. Вміти розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у електроніці та дотичних міждисциплінарних напрямках, у науково-педагогічній діяльності.

ПРН6. Планувати, організовувати роботу та керувати проектами в галузі наукових досліджень, розробки, аналізу, розрахунку, моделювання, виробництва та тестування електронних пристроїв та систем.

ПРН7. Вміння організовувати та керувати дослідницькою, інноваційною та інвестиційною діяльністю, бізнес-проектами та виробничими процесами з урахуванням технологічних показників, вимог ринку, існуючих стандартів, конкурентоспроможності наукової та інженерної продукції, правил професійної етики та академічної доброчесності.

ПРН9. Вміти розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми електроніки з врахуванням інженерних, соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів.

ПРН12. Здійснювати критичний аналіз та застосовувати знання, вміння і наукові досягнення для розв'язування задач синтезу та аналізу елементів та систем в галузі електроніки та суміжних галузях, знаходити засоби розв'язання проблем і прогнозувати майбутні наслідки прийнятих рішень.

5. Організація навчання

Обсяг навчальної дисципліни

Вид заняття	Загальна кількість годин
лекції	20
лабораторні	10
самостійна робота	60

Ознаки курсу

Семестр	Спеціальність	Курс (рік навчання)	Нормативний / вибірковий
2	171 Електроніка	1	Нормативний

Тематика навчальної дисципліни

Тема	Кількість год		
	Лекції	Лаб. заняття	Сам. роб.
Тема 1. Вступ до предмету “Проектування мікросистем-на-кристалі”. Сучасні тенденції, проблеми і технології створення мікросистем-на-кристалі сенсорного типу. Сенсорні мікросистеми-на-кристалі – поєднання технологій ІС та МЕМС. Галузі застосування.	2	-	4
Тема 2. Типи інтегральних приладних структур для створення елементної бази	2	-	4

сенсорних мікросистем-на-кристалі. Взаємозв'язок між елементами інтегральної приладної структури і їх схемотехнікою. Можливості використання КМОН - приладних структур для створення елементної бази сенсорних мікросистем-на-кристалі.			
Тема 3. КМОН - технології інтегральних схем (ІС) – основа для створення схем обробки і перетворення сигналів від сенсорних та актюаторних пристроїв у мікросистемах-на-кристалі. Сучасна технологія формування інтегральних КМОН – приладних структур.	2	-	4
Тема 4. КМОН - інвертор – інтегральний елемент для сенсорних використань. Комп'ютерне моделювання високочутливих сенсор-них елементів на основі КМОН – інверторних схем для вимірювання надмалих ємностей вбудованих в мікросистему-на-кристалі. Функціонування, схемотехніка і результати моделювань.	2	-	4
Тема 5. КМОН – структури «кремній-на-ізоляторі»(КНІ) – перспективний матеріал для створення конструктивно-технологічної й елементної бази мікросистем-на-кристалі. Сучасні технології формування КНІ - структур та їх техніко-економічні показники.	2	-	4
Тема 6. Розробка й моделювання технології формування 3-вимірних КНІ – структур для мікросистем-на-кристалі.	2	-	4
Тема 7. Дослідження та моделювання технології формування локальних тривимірних КНІ – структур, суміщених із мікропорожнинами під поверхнею кремнієвої пластини. Можливості створення чутливих елементів аналізу потоків рідин і газів.	2	-	-
Тема 8. Особливості автоматизованого проектування топології елементної бази мікросистем-на-кристалі, Правила проектування, конструктивно-топологічні обмеження і норми проектування,	2	-	4

лямбда проектування, аналіз перетинів приладних структур і топологій в САПР, контроль норм і правил проектування (DRC).			
Тема 9. Інтегральні елементи мікросистем-на-кристалі на основі КНІ-структур та структур полікремній-на-ізоляторі – сенсори тиску, температури, ємнісні чутливі елементи, сенсорні пристрої для екстремальних умов експлуатації.	2	-	4
Тема 10. Елементи аналітичної мікросистеми-на-кристалі на основі базового-матричного кристалу зі структурами кремній-на-ізоляторі (КНІ КМОН БМК).	2	-	4
Лабораторна робота 1. Побудова топологій і порівняльні дослідження ВАХ, частотних і температурних залежностей КМОН і КНІ КМОН - транзисторних структур у системі MicroWind.	-	2	4
Лабораторна робота 2. Дослідження можливостей використання вхідної ємності інвертора у складі КМОН-підсилювача як чутливого елемента сенсора.	-	2	4
Лабораторна робота 3. Моделювання комбінованого резистивно-ємнісного сенсорного елемента тиску у складі генератора імпульсів.	-	2	4
Лабораторна робота 4. Дослідження і моделювання програмованого на задану величину струму вихідного каскаду мікросистеми-на-кристалі.	-	2	4
Лабораторна робота 5. Автоматизоване проектування блокових планів і периферійних топологій мікросистеми-на-кристалі за заданими параметрами у системі MicroWind.	-	2	4
Заг:	20	10	60
6. Система оцінювання навчальної дисципліни			
Загальна система оцінювання курсу	Поточний контроль здійснюється під час проведення лекційних, лабораторних, індивідуальних занять і має на меті перевірку знань аспірантів 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 аспірантами, виставляються у журналах обліку відвідування та успішності курсу аспірантів зі спеціальності 171 Електроніка.

Завданням поточного контролю є перевірка розуміння та засвоєння певного матеріалу (теми), вироблення навичок проведення дослідницьких робіт з інтегральної елементної бази КМОН ІС з використанням САПР, вміння вирішувати конкретні ситуативні завдання, приймати рішення щодо подальших досліджень на основі отриманих результатів. *Семестровий (поточний контроль) у першому семестрі проводиться у формі заліку.*

Семестровий (підсумковий контроль) у другому семестрі проводиться у формі заліку.

Екзамен – форма підсумкового контролю, яка передбачає перевірку розуміння аспірантом теоретичного та практичного програмного матеріалу з предмету “Інтегральна схемотехніка”, здатності творчо використовувати здобуті знання та вміння, формувати власне ставлення до певної проблеми тощо.

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		Для екзамену	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

Вимоги до письмової роботи

Підсумкова робота може виконуватися за необхідності згідно розкладу контролю самостійної роботи (КСР) у формі тестових завдань з вибором правильної відповіді з застосуванням технічних засобів навчання. Кількість тестових завдань – 20. Вартість кожного запитання складає 1 бал. Максимальна оцінка 20 балів.

Практичні/лабораторні заняття

Після узагальнення (вступного слова) викладач дає відповіді на окремі теоретичні запитання, які виникли у аспірантів у процесі підготовки до заняття. До початку лабораторної роботи аспірант має отримати допуск за результатами усної співбесіди. На лабораторній

	<p>роботі кожен аспірант отримує інструкцію до виконання. Після завершення роботи аспірант оформляє і захищає звіт з результатами роботи. Кожна лабораторна робота оцінюється за національною шкалою (відмінно добре задовільно незадовільно), середня оцінка за всі лабораторні роботи приводиться до 100 бальної шкали. Максимальний бал за лабораторні роботи 30 балів.</p>
<p>Умови допуску до підсумкового контролю</p>	<p>Аспірант допускається до складання екзамену, якщо впродовж семестру він набрав сумарно 25 балів і вище.</p> <p>Аспірант не допускається до складання екзамену, якщо впродовж семестру він набрав менше 25 балів. У цьому випадку аспіранту у відомості робиться запис "не допущений" і виставляється набрана кількість балів. Допускається, як виняток, з дозволу завідувача аспірантури за заявою, погодженою з відповідною кафедрою, одноразове виконання аспірантом додаткових видів робіт з навчальної дисципліни (відпрацювання пропущених занять, виконання індивідуальних завдань тощо) для підвищення оцінок.</p> <p>Напередодні екзамену викладач подає доповідну завідувачу аспірантури про недопуск аспірантів курсу спеціальності 171 "Електроніка". Відмітка про недопуск у відомості робиться при наявності розпорядження завідувача аспірантури.</p>
<p>Підсумковий контроль</p>	<p>Форму контролю – екзамен; форму здачі – комбінована (письмова з усною співбесідою), можливе також проведення екзамену в тестовій формі з використанням технічних засобів навчання;</p> <p>Білет складається з трьох теоретичних питань і одного короткого завдання. Розподіл балів за питаннями і завданнями рівномірний. Максимальний бал за екзамен 50 балів.</p>
<p>7. Політика навчальної дисципліни</p>	
<p>Аспірант зобов'язаний відвідувати заняття відповідно до встановленого розкладу, не запізнюватися, мати відповідний зовнішній вигляд. У разі відсутності через хворобу надається відповідна довідка.</p> <p>Пропущена лекція відпрацьовується аспірантом самостійно, як короткий конспект за темою заняття.</p> <p>Пропущена лабораторна робота виконується аспірантом самостійно вдома або в комп'ютерній лабораторії кафедри, результати оцінюються викладачем.</p> <p>У випадку, коли аспірант приймав участь у програмі мобільності, можливе врахування отриманих оцінок в іншому навчальному закладі за умови відповідності навчальних планів або наявних сертифікатів.</p> <p>Політика академічної поведінки і етики</p> <p>Аспірант повинен бути толерантним і поважати думку інших.</p> <p>Заперечення повинні формулюватися тільки в коректній формі.</p> <p>Плагіат та академічна недобросовісність несумісні з принципами діяльності ЗВО.</p>	

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

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

Також є можливість перезарахування результатів навчання в інших закладах вищої освіти чи результатів неформальної освіти згідно Положення про визнання результатів навчання, здобутих шляхом неформальної освіти, в Прикарпатському національному університеті імені Василя Стефаника (затверджено вченою радою університету 01 листопада 2022 р. протокол № 9 та введено в дію наказом ректора № 672 від 24 листопада 2022 р.).

8. Рекомендована література

1. Etienne Sicard, Sonia Delmas Bendhia Deep-Submicron Circuit Design.- Simulator in hands.Salt Lake City, Utah 84109, USA -2003 (www.brookscoble.com), 737 p.
2. SOI CIRCUIT DESIGN CONCEPTS, Kerry Bernstein (IBM Microelectronics)&Norman J. Rohrer (IBM Microelectronics) Kluwer Academic Publishers, New York/Boston/Dordrecht/London/Moscow, <http://www.ebooks.kluweronline.com>, 2002
- 3 I. T. Kogut, V. I. Holota, A. A. Druzhinin, V. V. Dovhij The device-technological simulation of local 3D SOI-structures, "Journal of Nano Research". – Switzerland, 2015. – Vol. 39 – P. 228-234.
- 4.Takauki Kimura, Yusuke Sakairi, Akihiro Mori, and Toru Masuzava. Suppression method of low-frequency noise for two-dimensional integrated magnetic sensor, JJAP vol. 56, pp. 04CF05-1 – 04CF05-4, 2017.
5. A. Druzhinin, V. Holota, I. Kogut, S. Sapon, Yu. Khoverko The Device-Technological Simulation of The Field-Emission Micro-Cathodes Based on Three-Dimensional SOI-Structures, The Electrochemical Society, – 2008. – Vol. 14. – P. 569-580.
- 6.Yusaku Maeda, Kohei Maeda, Hideki Kobara, Hirohito Mori, and Hidekuni Takao. Integrated pressure and temperature sensor with high immunity against external disturbance for flexible endoscope operation. JJAP vol. 56, pp. 04CF09-1 - 04CF09-9, 2017.
- 7.Konstantin D. Stefanov, Andrew S. Clarke, James Ivory and D. Holland. Design and Performance of a Pinned Photodiode CMOS Image sensor Using Reverse Bias. Sensors, 2018, 19, 118.
- 8.Vaclav Papez, Jiri Hajek, Bedrich Kojecky. Capacitive methods for testing of power semiconductor devices. FACTA UNIVERSITATIS. Series: Electronics and Energetics, vol. 28, no. 3, September 2015, pp. 495-505.
- 9.. <https://ltspice-iv.en.lo4d.com/windows>
10. <https://www.microwid.org>
11. А.О.Дружинін, І.Т.Когут, Ю.М.Ховерко Структури кремній-на-ізоляторі для сенсорної електроніки. Монографія.. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 224 с.
12. І.Т.Когут Елементи мікросистем на базовому матричному кристалі зі структурою «кремній-на-ізоляторі», Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.27.01- Твердотільна електроніка, м.Львів, НУ «Львівська політехніка», 2010, 343с.

Викладач – професор Когут І.Т.