

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

Фізико-технічний факультет
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Автоматизоване проектування мікроелектронних пристроїв

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

Назва дисципліни	Автоматизоване проектування мікроелектронних пристроїв
Викладач (-і)	професор, доктор технічних наук Когут Ігор Тимофійович
Контактний телефон викладача	0342596007
Е-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

Дисципліна “Автоматизоване проектування мікроелектронних пристроїв” належить до переліку вибіркових 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 практично-прикладного спрямування.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є теоретично-прикладні основи побудови елементної бази мікроелектронних пристроїв, активних інтегральних приладних структур на основі КМОН - технологій, взаємозв'язок між інтегральною схемотехнікою та приладними структурами, вибір технологій формування приладних структур, моделювання схем електричних, базові підходи проектування топологій та їх верифікацій з використанням систем автоматизованого проектування(САПР).

Силабус навчальної дисципліни ”Автоматизоване проектування мікроелектронних пристроїв” складений відповідно до ОНП “Електроніка” з підготовки докторів філософії спеціальності 171 “Електроніка” галузі знань 17 “Електроніка, автоматизація та електронні комунікації”.

3. Мета та цілі навчальної дисципліни

Метою курсу “Автоматизоване проектування мікроелектронних пристроїв” є формування у аспірантів практично-прикладних навиків щодо автоматизованого проектування мікроелектронних пристроїв на основі інтегральних елементів, зокрема, з КМОН – структурами та їх модифікаціями, зокрема, з кремній-на-ізоляторі (КНІ) КМОН-структурами. Базовим інструментарієм для інтерактивного проектування мікроелектронних пристроїв є використання систем автоматизованого проектування (САПР), що дає змогу набуття аспірантами компетентностей відповідно до третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти та вимог восьмого кваліфікаційного рівня Національної рамки кваліфікацій.

Ці знання необхідні для практичного проектування елементної бази мікроелектронних пристроїв, придатних для проектування як стандартних базових елементів КМОН ІС, створення бібліотек базових мікроелектронних пристроїв і наступною побудовою на їх основі складних інтегрованих систем у вигляді ІС за ієрархічним принципом як «знизу – до верху», так і «зверху - до низу».

Тому завданням дисципліни “Автоматизоване проектування мікроелектронних пристроїв” є сформулювати у аспірантів науково-дослідницькі та практичні підходи щодо проектування елементної бази мікроелектронних пристроїв на основі найбільш

розповсюджені і перспективної КМОН - технології інтегральних ІС з використання сучасних САПР. Для цього в курсі розглядається наступна тематика:

- загальні підходи і тенденції формування елементної бази КМОН - мікроелектронних пристроїв;
- сучасні підходи суб- і нанометрові технології формування приладних КМОН-структур;
- особливості дослідження, моделювання і автоматизованого проектування цифрових та аналогових інтегральних елементів КМОН ІС.

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен

знати:

- базові підходи щодо автоматизованого інтерактивного дослідження й моделювання інтегральних структур КМОН ІС для побудови елементної бази мікроелектронних пристроїв;
- умови вибору за співвідношенням «ціна/параметри» типів базових інтегральних КМОН-структур для автоматизованого проектування елементів мікроелектронних пристроїв;
- базові правила та норми проектування топологій елементів КМОН ІС, підходи верифікації топологій ІС та відновлення електричних схем із топологій їх топологій;

вміти:

- проектувати топології планів кристалів та базових інтегральних КМОН - транзисторних елементів з використанням САПР на основі їх схемотехніки;
 - будувати поперечні перетини та аналізувати активні КМОН-приладні структури, аналізувати як активні так і паразитні інтегральні елементи;
 - проводити параметричну оптимізацію впливу конструктивно-технологічних параметрів інтегральних КМОН- структур на характеристики мікроелектронних пристроїв;
 - вміти проектувати топології елементів для зовнішнього інтерфейсу КМОН ІС.
- базові правила та норми проектування топологій елементів КМОН ІС, підходи верифікації топологій та відновлення електричних схем із топологій;

4. Програмні компетентності та результати навчання

ІК. 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 елементної бази ІС, інтегральних мікроелектронних пристроїв.

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	14
практичні заняття	16
самостійна робота	60

Ознаки курсу

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

Тематика навчальної дисципліни

Тема	Кількість год		
	Лекції	Практичне заняття	Сам. роб.
Тема 1. Вступ до предмету “Автоматизоване проектування мікроелектронних пристроїв”. Сучасні тенденції, проблеми і технології формування інтегральних мікроелектронних пристроїв. Питання швидкодії, інтеграції елементів, споживаної потужності.	2	-	4
Тема 2. МОН- прилади і технології. n- і p-типи кремнію. Діоксид кремнію. Металеві матеріали. МОН- транзисторні	2	-	4

<p>перемикачі. Статичні і динамічні характеристики. Конструктивно-технологічні параметри КМОН-транзисторних структур. Інтегральна приладна КМОН-структура і схемотехніка. Переваги КМОН КМОН - приладних структур для проектування мікроелектронних пристроїв.</p>			
<p>Тема 3. Сучасна технологічний процес формування інтегральних КМОН – приладних структур. Особливості проектування топологій n- і p-канальних МОН – транзисторів, їх властивості. Конструктивно-технологічні обмеження і правила проектування. Лямбда проектування. Fabless технології виготовлення мікроелектронних пристроїв.</p>	2	-	4
<p>Тема 4. КМОН - інвертор – базовий інтегральний елемент для проектування цифрових елементів мікроелектронних пристроїв. КМОН - прохідні ключі – як елементи для проектування логічних пристроїв. Елементи топології на основі мультизатворів, мультиконтактів і міжшарових з'єднань.</p>	2	-	4
<p>Тема 5. Моделювання і дослідження приладних МОН – структур в системах автоматизованого проектування. Типи моделей МОН - транзисторів. Їх порівняльні характеристики. Структури «кремній-на-ізоляторі» (КНІ) – перспективний матеріал для створення КМОН - мікроелектронних пристроїв, їх техніко-економічні показники. Особливості проектування КНІ КМОН-топологій.</p>	2	-	4
<p>Тема 6. Специфічні МОН - транзисторні структури на «стиснутому» та «розтягнутому» кремнії. Спейсери та LDD - елементи в в транзисторних МОН - структурах. Формування багатошарових планарних поверхонь.</p>	2	-	4
<p>Тема 7. Особливості автоматизованого проектування КМОН - елементної бази</p>	2	2	4

мікроелектронних пристроїв. Лямбда проектування топологій, норми і правила проектування, автоматизований контроль норми правил (DRC).			
Тема 8. Автоматизоване проектування і дослідження параметрів та характеристик КМОН - інверторних елементів. Опис вхідних сигналів. Параметрична оптимізація топологій за даними сигнальних моделювань і проходження сигналів через інверторні елементи. Аналіз і дослідження навантажувальної здатності, дослідження і моделювання впливу температури на АПХ інверторних елементів.	-	2	4
Тема 9. Автоматизоване проектування топологій і дослідження властивостей ключових елементів на основі МОН-транзисторів та універсальних ключових елементів на основі прохідних транзисторів.	-	2	4
Тема10. Схемотопологічне проектування і моделювання вхідних каскадів КМОН ІС зі схемами захисту від статичної електрики та ненормованих вхідних сигналів.	-	2	4
Тема11. Схемотопологічне проектування і параметрична оптимізація простого і 5-каскадного потужного КМОН - інвертора.	-	2	5
Тема 12. Моделювання і проектування базових КМОН- логічних елементів.	-	2	5
Тема13. Схемотопологічне проектування програмованих(за величиною струму) формувачів сигналів вихідних каскадів мікроелектронних пристроїв.	-	2	5
Тема 14. Автоматизоване проектування планів і периферійних топологій мікроелектронних пристроїв.	-	2	5
Заг:	14	16	60

6. Система оцінювання навчальної дисципліни

<p>Загальна система оцінювання курсу</p>	<p><i>Поточний контроль</i> здійснюється під час проведення лекційних, практичних, індивідуальних самостійних 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.</p> <p>Завданням поточного контролю є перевірка розуміння та засвоєння певного матеріалу (теми), вироблення навичок проведення дослідницьких робіт з автоматизованого проектування мікроелектронних пристроїв на основі інтегральних КМОН – структур, вміння вирішувати конкретні ситуативні завдання, приймати рішення щодо подальших досліджень на основі отриманих результатів.</p> <p><i>Семестровий (підсумковий контроль) у другому семестрі проводиться у формі заліку.</i></p> <table border="1" data-bbox="667 884 1474 1563"> <thead> <tr> <th data-bbox="667 884 821 1064">Сума балів за всі види навчальної діяльності</th> <th data-bbox="821 884 1005 1064">Оцінка ECTS</th> <th colspan="2" data-bbox="1005 884 1474 952">Оцінка за національною шкалою</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td data-bbox="1005 952 1257 1064"></td> <td data-bbox="1257 952 1474 1064">Для заліку</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="667 1064 821 1097">90 – 100</td> <td data-bbox="821 1064 1005 1097">A</td> <td data-bbox="1005 1064 1257 1097"></td> <td data-bbox="1257 1064 1474 1097"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="667 1097 821 1131">80 – 89</td> <td data-bbox="821 1097 1005 1131">B</td> <td data-bbox="1005 1097 1257 1131"></td> <td data-bbox="1257 1097 1474 1131"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="667 1131 821 1164">70 – 79</td> <td data-bbox="821 1131 1005 1164">C</td> <td data-bbox="1005 1131 1257 1164"></td> <td data-bbox="1257 1131 1474 1164">зараховано</td> </tr> <tr> <td data-bbox="667 1164 821 1198">60 – 69</td> <td data-bbox="821 1164 1005 1198">D</td> <td data-bbox="1005 1164 1257 1198"></td> <td data-bbox="1257 1164 1474 1198"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="667 1198 821 1232">50 – 59</td> <td data-bbox="821 1198 1005 1232">E</td> <td data-bbox="1005 1198 1257 1232"></td> <td data-bbox="1257 1198 1474 1232"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="667 1232 821 1388">26 – 49</td> <td data-bbox="821 1232 1005 1388">FX</td> <td data-bbox="1005 1232 1257 1388"></td> <td data-bbox="1257 1232 1474 1388">не зараховано з можливістю повторного складання</td> </tr> <tr> <td data-bbox="667 1388 821 1563">0-25</td> <td data-bbox="821 1388 1005 1563">F</td> <td data-bbox="1005 1388 1257 1563"></td> <td data-bbox="1257 1388 1474 1563">не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни</td> </tr> </tbody> </table>	Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою					Для заліку	90 – 100	A			80 – 89	B			70 – 79	C		зараховано	60 – 69	D			50 – 59	E			26 – 49	FX		не зараховано з можливістю повторного складання	0-25	F		не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни
Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою																																			
			Для заліку																																		
90 – 100	A																																				
80 – 89	B																																				
70 – 79	C		зараховано																																		
60 – 69	D																																				
50 – 59	E																																				
26 – 49	FX		не зараховано з можливістю повторного складання																																		
0-25	F		не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни																																		
<p>Вимоги до письмової роботи</p>	<p>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.</p>																																				
<p>Практичні заняття</p>	<p>Після узагальнення (вступного слова) викладач дає відповіді на окремі теоретичні запитання, які виникли у аспірантів у процесі підготовки до заняття.</p> <p>До початку практичних занять аспірант має отримати допуск за результатами усної співбесіди. На практичному занятті кожен аспірант отримує інструкцію до виконання. Після завершення роботи аспірант оформляє і захищає звіт з результатами роботи. Кожне практичне заняття</p>																																				

	оцінюється за національною шкалою (відмінно добре, задовільно, незадовільно), середня оцінка за всі практичні заняття приводиться до 100 бальної шкали.
Умови допуску до підсумкового контролю	Аспірант не допускається до складання підсумкового заліку, якщо впродовж семестру він набрав менше 50 балів хоча б за одне практичне заняття. 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. 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.
Підсумковий контроль	Форму контролю – залік; форму здачі – комбінована (письмова з усною співбесідою) за результатами виконаних практичних занять. Можливе також проведення заліку в тестовій формі з використанням технічних засобів навчання.
7. Політика навчальної дисципліни	
<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>Пропущене практичне заняття 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 недобросесність несумісні з принципами діяльності ЗВО.</p> <p>Не допускається підказування та списування під час здачі будь-яких робіт поточного, рубіжного чи підсумкового контролю.</p> <p>Не допускається користування телефонами та будь-якими іншими допоміжними засобами під час здачі будь-яких робіт поточного, рубіжного, чи підсумкового контролю.</p> <p>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</p>	

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 Sity, Utah 84109, USA -2003 (www.brookscole.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. А.О.Дружинін, І.Т.Когут, Ю.М.Ховерко Структури кремній-на-ізоляторі для сенсорної електроніки. Монографія.. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 224 с.
4. Когут І.Т. Методичні вказівки з автоматизованого проектування і моделювання ІС в системі MicroWind-3. Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника. м.Івано-Франківськ.-2021.-106с
5. Стребежев В. М., Юрійчук І. М. Основи субмікронної та нанотехнології: навч. посібник. Ч. 1 – Чернівці : Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича, 2021. – 120 с.
6. Кузьмичев А. І., Писаренко Л. Д., Цибульський Л. Ю. Технологія виробництва мікросхем: навч. посібник – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 127 с

Інтернет ресурси

7. САПР ІС TopSpice (www.penzar.com)
8. <https://ltspice-iv.en.lo4d.com/windows>
9. <https://www.microwid.org>

Викладач – професор Когут І.Т.