

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет
Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій
Кафедра електроніки, робототехніки і технологій
моніторингу та інтернету речей

УЗГОДЖЕНО

Декан ФАЕТ

_____ І. Мачалін

«__» _____ 2020 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної роботи

_____ А. Гудманян

«__» _____ 2020 р.



Система менеджменту якості

РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни
«Фізика електронних компонентів та їх моделювання»

Галузь знань: 15 «Автоматизація та приладобудування»

Спеціальність: 153 «Мікро- та наносистемна техніка»

Освітньо-професійна


програма:

«Фізична та біомедична електроніка»

Форма навчання	Сем.	Усього (годин/кредитів ECTS)	ЛКЦ	ПР. З.	Л.З	СРС	ДЗ / РГР /К.р	КР / КП	Форма сем. контролю
Денна:	1	150/5,0	34	-	17	99		КР-1с	екзамен 1с
Заочна	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Індекс РМ-2-153/19-2.1.1

СМЯ НАУ РП 22.02-01-2020

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика електронних компонентів та їх моделювання»	Шифр документа	СМЯ НАУ РП 22.02-01-2020
		стор. 2 з 13	

Робочу програму навчальної дисципліни «Фізика електронних компонентів та їх моделювання» розроблено на основі освітньої програми та робочого навчального плану №РМ-2-153/19 підготовки здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка», освітньо-професійної програми «Фізична та біомедична електроніка», та відповідних нормативних документів

Робочу програму розробив:
доцент кафедри ЕРМІТ, к.т.н. _____ О. Мельник

Робочу програму обговорено та схвалено на засіданні випускової кафедри спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» (освітньо-професійної програми «Фізична та біомедична електроніка») - кафедри ЕРМІТ, протокол № ___ від « ___ » _____ 2020 р.


Завідувач кафедри _____ Ф.Яновський

Робочу програму обговорено та схвалено на засіданні науково-методично-редакційної ради факультету аеронавігації, електроніки та телекомунікацій, протокол № ___ від « ___ » _____ 2020 р.

Голова НМРР


Р. Одарченко

Рівень документа – 3б
Плановий термін між ревізіями – 1 рік
Врахований примірник

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика електронних компонентів та їх моделювання»	Шифр документа	СМЯ НАУ РП 22.02-01-2020
		стор. 3 з 13	

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	4
1.1. Заплановані результати.....	4
1.2. Програма навчальної дисципліни	4
2. ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ	7
2.1. Структура навчальної дисципліни	7
2.2. Курсовий проект	8
3. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ З ДИСЦИПЛІНИ	9
3.1. Методи навчання	9
3.2. Рекомендована література	9
3.3. Інформаційні ресурси в інтернеті	9
4. РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ НАБУТИХ СТУДЕНТОМ ЗНАТЬ ТА ВМІНЬ	10

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика електронних компонентів та їх моделювання»	Шифр документа	СМЯ НАУ РП 22.02-01-2020
		стор. 4 з 13	

ВСТУП

Робоча програма (РП) навчальної дисципліни «Фізика електронних компонентів та їх моделювання» розробляється на основі «Методичних рекомендацій до розроблення та оформлення робочої програми навчальної дисципліни денної та заочної форм навчання», затверджених розпорядженнями № 071/роз. від 10.07.2019 р., № 088/роз. від 16.10.2019 р. та відповідних нормативних документів.

1. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

1.1. Заплановані результати

Місце даної дисципліни в системі професійної підготовки фахівця: дана навчальна дисципліна є теоретичною основою сукупності знань та вмінь, що формують електронний профіль фахівця в області фізичної та біомедичної електроніки.

Метою дисципліни «Фізика електронних компонентів та їх моделювання» є надання студентам знань про сучасний стан і комплексний системний підхід до багаторівневого моделювання великих інтегральних схем (ВІС) від технології формування до функціонування електронних компонентів елементів та пристроїв.

Завданнями вивчення навчальної дисципліни є:

- набуття знань з побудови фізичних, формальних і електричних моделей компонентів та макромоделей пристроїв мікро- та наноелектроніки;
- засвоєння методик параметричної ідентифікації моделей та макромоделей.
- навчити студентів моделювати та проектувати мікроелектронні пристрої із застосуванням сучасних автоматизованих систем.

У результаті вивчення даної навчальної дисципліни студент повинен набути наступні **компетентності**:

Здатність визначити суттєві відмінності існуючих моделей елементів та підстави для вибору найбільш адекватних, основні методи побудови моделей та макромоделей з урахуванням суттєвих фізичних ефектів, властивих сучасним мікро- та наноелектронним компонентам і пристроям.

Здатність працювати з інформаційними паспортними даними компонентів та пристроїв мікроелектроніки з метою побудови їх моделей та макромоделей та перевіряти за допомогою комп'ютерних систем автоматизованого проектування (САПР) адекватність побудованих моделей та макромоделей.


Міждисциплінарні зв'язки.

Навчальна дисципліна «Фізика електронних компонентів та їх моделювання» є базою для вивчення таких дисциплін, як: «Математичні методи оптимізації в електроніці», «Діагностично-лікувальні комплекси», «Біомедичні мікроконтролерні системи» та інших.

1.2. Програма навчальної дисципліни

Навчальний матеріал дисципліни структурований за модульним принципом і складається з двох навчальних модулів, а саме:

- навчального модуля №1. Фізика електронних компонентів
- навчального модуля №2. Моделювання пристроїв мікроелектроніки,

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика електронних компонентів та їх моделювання»	Шифр документа	СМЯ НАУ РП 22.02-01-2020
		стор. 5 з 13	

кожен з яких є логічно завершеною, відносно самостійною, цілісною частиною навчальної дисципліни, засвоєння якої передбачає проведення модульної контрольної роботи та аналіз результатів її виконання.

Окремим третім модулем є курсовий проект, який студент виконує в першому семестрі. КП є важливою складовою закріплення та поглиблення теоретичних та практичних знань та вмінь, набутих студентом у процесі засвоєння навчального матеріалу дисципліни.

Модуль 1. Фізика електронних компонентів.

Тема 1. Багаторівневе моделювання і розвиток мікроелектроніки.

Прискорення розвитку сучасних мікро- та наноелектронних схем. Запровадження ієрархічних структур систем автоматизованого проектування (САПР) в мікроелектроніці. Перехід до субмікронних та нанотехнологій.

Тема 2. Розвиток інформаційного забезпечення САПР на базі комп'ютерного моделювання мікротехнологій, компонентів, пристроїв, схем та систем.

Фізичні обмеження працездатності мікрокомпонентів та пристроїв. Порівняльні характеристики нейронів та мікроелектронних компонентів і пристроїв.

Тема 3. Моделювання процесів мікротехнологій.

Вимоги до комплексів програм фізико-технологічного моделювання мікроелектронних елементів та пристроїв. Обчислювальні методи для рішення багатомірних рівнянь фізики твердого тіла та електродинаміки. Аналітичні форми моделей. Моделювання процесів обробки багатошарових структур кремнія, полікремнія, силіцидів, металів, напівпровідникових сполук. Детерміновані та стохастичні моделі іонної імплантації. Моделі дифузійного занурення та розгонки донорних та акцепторних домішок.

Тема 4. Фізичні моделі нарощування нанорозмірних шарів металів.

Моделі мікро- та наноепітаксії. Моделювання термічного окислення поверхні напівпровідників та металів. Моделювання процесів формування поверхневих топологічних мікроконфігурацій. Моделі еліонної літографії та топографії схем. Моделювання мікрозондової нанотехнології.

Тема 5. Числові фізико-топологічні моделі компонентів мікроелектроніки.

Феноменологічні рівняння для напівпровідникових структур та рівняння квантової електроніки. Методи їх числового інтегрування, граничні та початкові умови. Особливості фізичних явищ в електронних компонентах. Фундаментальні довжини: дебройлівської хвилі, релаксації імпульсу та енергії.

Тема 6. Умови квазігідродинамічних та дифузійно-дрейфових наближень.

Кінетичне рівняння Больцмана. Моделі процесів генерації-рекомбінації та ефектів високого легування. Математичні моделі електрофізичних параметрів для фізико-топологічного розрахунку твердотільних структур.

Тема 7. Алгоритми та програми стаціонарного та динамічного фізико-топологічного моделювання компонентів мікроелектроніки.


Одно-, дво- та тримірні задачі моделювання.

Фізико-топологічне моделювання характеристик та розрахунок параметрів компонентів мікроелектронних транзисторів.

Модуль 2. Моделювання пристроїв мікроелектроніки.

Тема 1. Схемотехнічні моделі елементів мікроелектроніки.

Вимоги до схемотехнічних моделей. Класифікація схемотехнічних моделей: лінійні та нелінійні, низько- та високочастотні, фізичні та формальні, статичні та динамічні,

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика електронних компонентів та їх моделювання»	Шифр документа	СМЯ НАУ РП 22.02-01-2020
		стор. 6 з 13	

детерміновані та статистичні. Основи побудови схемотехнічних, ієрархічних моделей уніполярних та біполярних транзисторів з керуванням зарядом.

Тема 2. Нелінійні моделі біполярних транзисторів.

Моделі Лінвілла, Бофуа-Спаркса, Еберса-Молла, Тулузська, Гумеля-Пуна.

Тема 3. Моделювання транзисторних ефектів високого рівня.

Моделювання транзисторних ефектів: високого рівня інжекції, модуляції товщини бази, електричного пробою, генерації-рекомбінації носіїв заряду, критичного накопичення заряду в колекторі, мікропотужного режиму, шнурування емітерного струму та ін. Моделі потужних біполярних транзисторів.

Тема 4. Нелінійні моделі польових та інтегральних МОН-транзисторів.

Моделювання короткоканальних ефектів комплементарних МОН-транзисторів. Нелінійні моделі діодів, стабілітронів та тиристорів.

Тема 5. Параметрична ідентифікація моделей компонентів мікроелектроніки по результатам фізико-топологічного моделювання та за вимірюванням електричних характеристик.

Побудова бібліотек ієрархічних схемотехнічних моделей елементів для САПР. Верифікація моделей.

Тема 6. Моделювання одноелектронних компонентів наноелектроніки за методом апроксимації електричних характеристик.

Фізичні та багатосекційні моделі керування зарядом для одноелектронних нанотранзисторів. Гібридні макромоделі одноелектронних транзисторів з КМОН-навантаженням. Моделі резонансно-тунельних діодів та нанотранзисторів. Моделі елементів спінтроніки. Моделі надпровідних елементів.

Тема 7. Макромоделі аналогових та цифрових пристроїв мікроелектроніки.

Макромоделі як інструмент мінімізації обчислювальних витрат при проектуванні мікроелектронних великих інтегральних схем (ВІС). Формальні апроксимації характеристик аналогових та цифрових мікросхем та методи побудови формальних макромоделей. Табличні, аналітичні, блочні, схемні та адекватні структури формальних макромоделей операційних підсилювачів та базових логічних мікросхем.

Тема 8. Часо-логічні макромоделі ВІС.

Гібридне електро-логічне та логіко-електричне перетворення для побудови макромоделей логічних та цифрових ВІС різного призначення.

Ідентифікація параметрів макромоделей. Макромоделі багатовходових логічних пристроїв для схемотехнічних САПР.

Модуль № 3. Курсовий проект


Курсовий проект (КП) з дисципліни виконується у 1 семестрі, відповідно до затверджених в установленому порядку методичних рекомендацій, з метою закріплення та поглиблення теоретичних знань та вмінь, набутих студентом у процесі засвоєння навчального матеріалу дисципліни в області фізичних основ моделювання та проектування електронних компонентів та пристроїв.

Виконання КП є важливим етапом у підготовці до виконання дипломної роботи майбутнього фахівця з фізичної та біомедичної електроніки.

Конкретна мета КП міститься у фізичному моделюванні електронних компонентів та пристроїв за допомогою систем автоматизованого проектування.

Виконання, оформлення та захист КП здійснюється студентом в індивідуальному порядку.


Час, потрібний для виконання КП, – до 45 години самостійної роботи.

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика електронних компонентів та їх моделювання»	Шифр документа	СМЯ НАУ РП 22.02-01-2020
		стор. 7 з 13	

2. ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Структура навчальної дисципліни

№ п/п	Назва теми	Обсяг навчальних занять (год.)							
		Денна форма навчання				Заочна форма навчання			
		Усього	Лекції	Лабор. заняття	СРС	Усього	Лекції	Лабор. заняття	СРС
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 семестр									
Модуль №1 «Фізика електронних компонентів»									
1.1	Багаторівневе моделювання компонентів та пристроїв.	4	2	-	2	-	-	-	-
1.2	Обчислювальні методи рішення багатомірних рівнянь фізики твердого тіла та електродинаміка.	8	2	2	4	-	-	-	-
1.3	Вимоги до комплексів програм фізико-технологічного моделювання мікроелектронних компонентів та пристроїв. Обчислювальні методи для рішення багатомірних рівнянь фізики твердого тіла та електродинаміки.	4	2	-	2	-	-	-	-
1.4	Моделювання процесів обробки багатошарових структур напівпровідників. Моделі іонної імплантації та дифузійного занурення.	8	2	2	4	-	-	-	-
1.5	Моделі мікро- та наноепітаксії. Моделі термічного окислення. Моделі еліонної літографії та топографії схем.	4	2	-	2	-	-	-	-
1.6	Феноменологічні рівняння для напівпровідникових структур та рівняння квантової електроніки. Методи їх числового інтегрування. Особливості фізичних явищ в електронних компонентах.	8	2	2	4	-	-	-	-
1.7	Алгоритми та програми стаціонарного та динамічного фізико-топологічного моделювання компонентів мікроелектроніки. Фізико-топологічне моделювання характеристик та розрахунок параметрів компонентів наноелектроніки.	8	2	2	2	-	-	-	-
1.8	Модульна контрольна робота №1	6	2	-	4	-	-	-	-
Усього за модулем №1		50	16	8	26	-	-	-	-

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика електронних компонентів та їх моделювання»	Шифр документа	СМЯ НАУ РП 22.02-01-2020
		стор. 8 з 13	

Модуль № 2 «Моделювання пристроїв мікроелектроніки»									
2.1	Обчислювальні методи рішення феноменологічних рівнянь напівпровідникових структур.	4	2	-	2	-	-	-	-
2.2	Програмне забезпечення САПР схемотехнічного проектування.	8	2	2	4	-	-	-	-
2.3	Нелінійні моделі біполярних транзисторів: Лінвілла, Бофуа-Спаркса, Еберса-Молла, Тулузька, Гумеля-Пуна.	4	2	-	2	-	-	-	-
2.4	Схемотехнічні моделі електронних компонентів.	8	2	2	4	-	-	-	-
2.5	Моделювання ефектів: високого рівня інжекції, модуляції товщини бази, електричного пробою, генерації-рекомбінації носіїв заряду, критичного накопичення заряду в колекторі, мікропотужного режиму, шнурування емітерного струму та ін. Моделі потужних біполярних транзисторів..	8	2	2	4	-	-	-	-
2.6	Моделювання одноелектронних компонентів наноелектроніки за методом апроксимації електричних характеристик.	8	2	2	4	-	-	-	-
2.7	Макромоделі компонентів та пристроїв мікроелектроніки.	4	2	-	2	-	-	-	-
2.8	Ідентифікація параметрів макромоделей. Макромоделі багатовходових логічних пристроїв для схемотехнічних САПР.	6	2	1	3	-	-	-	-
2.9	Модульна контрольна робота №2	5	2	-	3	-	-	-	-
Усього за модулем №2		55	18	9	28	-	-	-	-
Модуль №3 «Курсовий проект»									
3.1	Виконання та захист курсового проекту	45	-	-	45	-	-	-	-
Усього за навчальною дисципліною		150	34	17	99	-	-	-	-


2.2. Курсовий проект

Курсовий проект (КП) з дисципліни виконується у 1 семестрі, відповідно до затверджених в установленому порядку методичних рекомендацій, з метою закріплення та поглиблення теоретичних знань та вмінь, набутих студентом у процесі засвоєння навчального матеріалу дисципліни в області фізичних основ моделювання та проектування електронних компонентів та пристроїв.

Виконання КП є важливим етапом у підготовці до виконання дипломного проекту майбутнього фахівця з фізичної та біомедичної електроніки.

Конкретна мета КП міститься у фізичному моделюванні електронних компонентів та пристроїв за допомогою систем автоматизованого проектування.

Виконання, оформлення та захист КП здійснюється студентом в індивідуальному порядку.

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика електронних компонентів та їх модельовання»	Шифр документа	СМЯ НАУ РП 22.02-01-2020
		стор. 9 з 13	

Час, потрібний для виконання КП, – до 45 години самостійної роботи.

3. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ З ДИСЦИПЛІНИ

3.1. Методи навчання

Для успішного засвоєння матеріалу лекційні заняття рекомендується проводити з використанням мультимедійного обладнання. Лабораторні заняття необхідно проводити малими групами для більш повного сприйняття і засвоєння практичного матеріалу.

3.2. Рекомендована література

Базова література

3.2.1. Rieth M. Handbook of Theoretical and Computational Nanotechnology. V.10, Nanodevice Modeling and Nanoelectronics. – N.Y. 2010 – 362 p.

3.2.2. Алексенко А.Г. Макромоделирование аналогових інтегральних мікросхем. М.: Радио и связь, 2001. – 289 с.

3.2.3 Розевиг В.Д. Применение программы PSpice для схмотехнического моделирования на ПЭВМ: В 4-х выпучках. М.: Радио и связь, 2015

3.2.4. Бубенников А.Н. Моделирование интегральных микротехнологий приборов и схем: Учебн. Пособие. – М.: Выш. шк., 2012. – 320 с.


Допоміжна література

3.2.5. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2006. – 488 с.

3.2.6. Методичні вказівки до лабораторних робіт з модельовання на ПЕОМ характеристик приладів твердотільної електроніки для магістерської підготовки за спеціальністю «Електроніка»/ Укл. О.С. Мельник, Ю.В. Прокопенко. – К.: КПІ, 2005. – 76с.

3.3. Інформаційні ресурси в інтернеті

3.3.1. <http://er.nau.edu.ua/handle/NAU/34021>

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика електронних компонентів та їх моделювання»	Шифр документа	СМЯ НАУ РП 22.02-01-2020
		стор. 10 з 13	

4. РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ НАБУТИХ СТУДЕНТОМ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

4.1. Оцінювання окремих видів виконаної студентом навчальної роботи здійснюється в балах відповідно до табл. 4.1.


Таблиця 4.1

	Максимальна кількість балів	
	Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Вид навчальної роботи	Модуль №	
Виконання та захист лабораторних робіт	46×4 = 16	-
<i>Для допуску до виконання модульної контрольної роботи №1 студент має набрати не менше</i>	<i>10 балів</i>	-
Виконання модульної контрольної роботи №1	12	-
Усього за модулем №1	28	-
	Модуль №2	
Виконання та захист лабораторних робіт	46×5= 20	-
<i>Для допуску до виконання модульної контрольної роботи №2 студент має набрати не менше</i>	<i>12,5 балів</i>	-
Виконання модульної контрольної роботи №2	12	-
Усього за модулем №2	32	-
Семестровий екзамен	40	-
Усього за дисципліною	100	
1 семестр		
Модуль №3	Мах кількість балів	
Вид навчальної роботи		
Виконання курсового проекту	60	
Захист курсового проекту	40	
Виконання та захист курсового проекту	100	

4.2. Виконані види навчальної роботи зараховуються студенту, якщо він отримав за них позитивну рейтингову оцінку.

4.3. Сума рейтингових оцінок, отриманих студентом за окремі види виконаної навчальної роботи, становить поточну модульну рейтингову оцінку, яка заноситься до відомості модульного контролю.

4.4. Сума підсумкової семестрової модульної та екзаменаційної рейтингових оцінок, у балах становить підсумкову семестрову рейтингову оцінку, яка перераховується в оцінки за національною шкалою та шкалою ECTS

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика електронних компонентів та їх моделювання»	Шифр документа	СМЯ НАУ РП 22.02-01-2020
		стор. 11 з 13	


4.5. Підсумкова семестрова рейтингова оцінка в балах, за національною шкалою та шкалою ECTS заноситься до заліково-екзаменаційної відомості, навчальної картки та залікової книжки студента, наприклад, так: **92/Відм./А, 87/Добре/В, 79/Добре/С, 68/Задов./D, 65/Задов./Е** тощо.

4.5 Підсумкова модульна рейтингова оцінка, отримана студентом за результатами виконання та захисту курсового проекту в балах, за національною шкалою та шкалою ECTS заноситься до відомості модульного контролю.

4.6. Підсумкова модульна рейтингова оцінка, отримана студентом за результатами виконання та захисту курсового проекту, крім відомості модульного контролю, заноситься також до навчальної картки, залікової книжки та Додатку до диплома, наприклад, так: **92/Відм./А, 87/Добре/В, 79/Добре/С, 68/Задов./D, 65/Задов./Е** тощо.

4.7. Підсумкова рейтингова оцінка з дисципліни, яка викладається протягом одного семестру, дорівнює підсумковій семестровій рейтинговій оцінці.

Зазначена підсумкова рейтингова оцінка з дисципліни заноситься до Додатку до диплома.

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика електронних компонентів та їх моделювання»	Шифр документа	СМЯ НАУ РП 22.02-01-2020
		стор. 13 з 13	

(Ф 03.02 – 04)

АРКУШ РЕЄСТРАЦІЇ РЕВІЗІЇ

№ пор.	Прізвище ім'я по-батькові	Дата ревізії	Підпис	Висновок щодо адекватності

(Ф 03.02 – 03)

АРКУШ ОБЛІКУ ЗМІН

№ змі- ни	№ листа (сторінки)				Підпис особи, яка внесла	Дата внесен- ня зміни	Дата введен- ня зміни
	Зміненого	Заміненого	Нового	Анульо- ваного			

(Ф 03.02 – 32)

УЗГОДЖЕННЯ ЗМІН

	Підпис	Ініціали, прізвище	Посада	Дата
Розробник				
Узгоджено				
Узгоджено				
Узгоджено				