

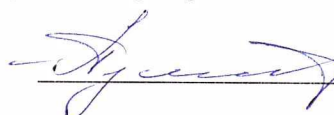
**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Львівський національний університет імені Івана Франка**  
**Факультет електроніки та комп'ютерних технологій**  
**Кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки**

**Затверджено**

на засіданні кафедри сенсорної та  
напівпровідникової електроніки  
факультету електроніки та комп'ютерних  
технологій  
Львівського національного університету імені  
Івана Франка

(протокол № 1/24 від 29.08.2024 р.)

Завідувач кафедри

 Андрій ЛУЧЕЧКО

**Силабус з навчальної дисципліни**

**“ЗД МОДЕЛЮВАННЯ КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРОННИХ  
ПРИСТРОЇВ”,**

**що викладається в межах освітньо-професійної програми**  
**“Електроніка та комп'ютерні системи”**  
**першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**  
**для здобувачів зі спеціальності**  
**171 Електроніка**

<b>Назва дисципліни</b>	3D моделювання компонентів електронних пристроїв
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	м. Львів, вул. ген.Тарнавського, 107
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	17 Електроніка та телекомунікації, 171 Електроніка
<b>Викладачі дисципліни</b>	Кушлик Маркіян Олегович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри сенсорної та напівпровідникової електроніки
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:markiyan.kushlyk@lnu.edu.ua">markiyan.kushlyk@lnu.edu.ua</a> <a href="https://electronics.lnu.edu.ua/employee/kushlyk-markiyan-olehovych/">https://electronics.lnu.edu.ua/employee/kushlyk-markiyan-olehovych/</a> факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки вул. ген.Тарнавського, 107, лаб. 416
<b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b>	<b>В режимі оф-лайн:</b> згідно розкладу в день проведення лекційних/лабораторних занять (корпус факультету електроніки та комп'ютерних технологій, м. Львів, вул. ген.Тарнавського, 107). <b>В режимі он-лайн:</b> на платформі Microsoft Teams (для погодження часу онлайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача).
<b>Сторінка дисципліни</b>	<a href="https://electronics.lnu.edu.ua/course/3d-modeliuvannia-komponentiv-elektronnykh-prystroiv/">https://electronics.lnu.edu.ua/course/3d-modeliuvannia-komponentiv-elektronnykh-prystroiv/</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «3D моделювання компонентів електронних пристроїв» є вибірковою дисципліною зі спеціальності 171 «Електроніка» освітньо- професійної програми «Електроніка та комп'ютерні системи», яка викладається в 5 семестрі в обсязі 6 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою - ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Дисципліна "3D моделювання компонентів електронних систем" охоплює теоретичні та практичні аспекти створення тривимірних моделей компонентів електронних пристроїв з використанням сучасного програмного забезпечення, такого як OrCAD, ANSYS Lumerical FDTD та INTERCONNECT, FreeCAD. Студенти опановують методи моделювання мікро- та наноелектромеханічних систем (MEMS, NEMS) а також їх компонентів. Курс зосереджений на розробці й оптимізації 3D моделей, симуляції фізичних процесів, аналізі взаємодії компонентів у складних системах та впровадженні технологій 3D-друку. Особлива увага приділяється трендам

	підвищення точності та ефективності моделювання. Курс спрямований на формування практичних навичок і розвитку інженерного мислення для вирішення сучасних задач у галузі електроніки та оптоелектроніки.
<p><b>Мета та цілі дисципліни</b></p>	<p><b>Метою дисципліни</b> є надання студентам знань і практичних навичок для створення та аналізу тривимірних моделей компонентів електронних пристроїв, розробки МЕМС та НЕМС, а також моделювання фотонних та оптичних систем із використанням сучасних програмних засобів. Курс має на меті підготувати студентів до ефективного використання технологій 3D моделювання та симуляції для вирішення інженерних задач у галузі електроніки та оптоелектроніки.</p> <p><b>Цілі дисципліни:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ознайомлення студентів з основними принципами та методами 3D моделювання компонентів електронних систем.</li> <li>• Вивчення сучасних програмних інструментів для моделювання та аналізу електронних пристроїв.</li> <li>• Розробка навичок створення 3D моделей для компонентів МЕМС, НЕМС, оптичних систем та фотонних мереж.</li> <li>• Освоєння методів симуляції фізичних процесів та взаємодії компонентів в складних електронних і оптичних системах.</li> <li>• Формування навичок створення віртуальних прототипів та аналізу їх роботи з використанням інструментів 3D моделювання та симуляції.</li> <li>• Підготовка до застосування технологій 3D-друку для виготовлення фізичних прототипів електронних систем.</li> </ul>
<p><b>Література для вивчення дисципліни</b></p>	<p><b>Рекомендована література</b></p> <p><b>Базова:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Конспект лекцій з дисципліни «Основи систем 3D-моделювання» (Електронне видання) / Уклад.: Л. В. Карпюк. – Сєверодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2022. – 158 с.</li> <li>2. Моделювання в електроніці : навчальний посібник / К. В. Огородник, Б. П. Книш, П. М. Ратушний, О. О. Лазарєв. – Вінниця : ВНТУ. – 2017. – 118 с.</li> <li>3. Цифрове моделювання об'єктів та динамічних систем. Практикум [Електронний ресурс]:навч. посіб. / Укладач: О. В. Муравйов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. - 75 с.</li> <li>4. Electronic Circuit Design and Application. / Stephan J. G. Gift, V. Maundy. – Springer Cham. –2023. – 658 p.</li> <li>5. Автоматизоване проектування і виготовлення виробів із застосуванням CAD/CAM/CAE-систем / Тарасов О.Ф., Алтухов О.В. та ін. Краматорськ : ЦТРІ «Друкарський дім», – 2017. – 239 с.</li> </ol>

6. Галаган Р.М. Комп'ютерне проєктування електронних схем – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2023. – 420 с.
7. Маланчук Є.З.. Моделювання та аналіз цифрових схем. Підручник / Є.З. Маланчук, В.В. Макаренко, В.М. Співак, Г. Г. Власюк, А.В. Рудик. – Рівне: НУВГП. – 2018. – 463 с.
8. Мірошник М. А. Технології та автоматизація проєктування цифрових пристроїв складних комп'ютерних систем на ПЛІС: Навч. посібник. / Мірошник М. А., Клименко Л. А., Корольова Я. Ю. – Харків: УкрДУЗТ. – 2021. – 220 с.
9. Білинський Й. Й. Цифрова схемотехніка. Електронно-обчислювальні пристрої: навчальний посібник / Й. Й. Білинський, Б. П. Книш. – Вінниця :ВНТУ. – 2021. – 66 с.
10. Introduction to logic circuits & logic design with Verilog / V.J. LaMeres; Springer International Publishing AG. – 2017. – 468 p.
11. Моделювання електромеханічних систем [Електронний ресурс]: підручник для студ. / В.Ф. Шинкаренко, А.А. Шиманська, В.В. Котлярова; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 253 с.
12. Основи мікросистемних пристроїв: навчальний посібник / М. Лобур, М. Мельник. – Львів: НУ«ЛП», 2012. – 258 с.

**Допоміжна:**

13. FreeCAD tutorial: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: [https://wiki.freecadweb.org /About\\_FreeCAD/uk](https://wiki.freecadweb.org/About_FreeCAD/uk) (дата звернення 06.08.2024)
14. Ansys Lumerical Knowledge Base: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://optics.ansys.com/hc/en-us#kb-anchor> (дата звернення 06.08.2024)
15. Алгебра логіки та проєктування основних операційних вузлів: навч. посіб. / В.В. Булатецький, Л.В. Булатецька, О.М. Собчук. – Луцьк : ВНУ ім. Лесі Українки, 2021. – 150 с
16. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 1 : навчальний посібник / Кветний Р. Н., Богач І. В. та ін.; за заг. ред. Р.Н. Кветного. – Вінниця: ВНТУ. – 2012. – 193 с.
17. Основи проєктування електронних систем: лабораторний практикум / Уклад.: Т.В.Мелешко, В.А. Швець, А.О. Краснопольський, Н.О. Касперович, О.О. Туз. – К.: НАУ,2014.– К.:НАУ, 2014. – 102 с
18. Доля П. Г. Основи моделювання в COMSOL Multiphysics // Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, факультет математики і інформатики кафедра теоретичної і прикладної інформатики 2019 р. – С. 167.
19. Системи автоматизованого проєктування та інженерного аналізу в машинобудуванні: навч. посіб. / О. С. Цибенко, М. Г. Крищук. – К.: НТУУ «КПІ». – 2008. – 100 с.

	<p><b>Методичне забезпечення:</b></p> <p>Електронні версії інструкцій та рекомендацій до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Комп'ютерне проєктування елементів цифрової електротехніки» розміщені в середовищі MS Teams</p>
<b>Обсяг курсу</b>	<p>Загальний обсяг 180 год.</p> <p>Аудиторних занять - 96 год.:</p> <p>48 год. - лекційних занять, 48 год. - лабораторних занять.</p> <p>Самостійна робота - 84 год.</p>
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>В результаті вивчення даного курсу студент повинен:</p> <p><b>знати:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Основи 3D моделювання компонентів електронних систем, включаючи MEMC, NEMC і фотонні системи.</li> <li>• Програмні засоби для моделювання (FreeCAD, OrCAD, ANSYS Lumerical FDTD, INTERCONNECT) та їх можливості.</li> <li>• Методи аналізу фізичних процесів у електронних і оптичних системах.</li> <li>• Способи оптимізації складних електронних схем і систем з використанням 3D моделей.</li> </ul> <p><b>вміти:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Створювати 3D моделі компонентів електронних систем.</li> <li>• Проводити симуляції та аналіз фізичних процесів у моделях.</li> <li>• Оптимізувати електронні та оптичні системи за допомогою 3D моделей.</li> <li>• Використовувати 3D технології для розробки моделей MEMC і NEMC, а також для вивчення їх взаємодії в складних структурах.</li> <li>• Виконувати практичні задачі з моделювання, проєктування та аналізу систем, використовуючи технології 3D-друку для виготовлення прототипів.</li> </ul>
<b>Ключові слова</b>	<p>3D-моделювання, Проєктування, SPICE, Електронні компоненти, Електромеханічні системи (EMC), Мікроелектромеханічні системи (MEMC), Наноелектромеханічні системи (NEMC), САПР (Системи автоматизованого проєктування), Програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС), Друковані плати, Логічні елементи, Еквівалентна схема, Оптичні системи, Фотонні компоненти, Параметричний аналіз, FreeCAD, 3D-прототипування, 3D-принтер, 3D-сканер, Матеріали для 3D-друку, Оптимізація геометрії</p>
<b>Формат курсу</b>	Очний.
<b>Теми</b>	Див. СХЕМА КУРСУ
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Залік в кінці семестру.

<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти потребують знань з дисциплін «Архітектура комп'ютерів і програмування», «Цифрова обробка сигналів», «Матеріали та компоненти сучасної електроніки», «Теорія електричних кіл», «Тестування електронних систем».
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Лекції, презентації, лабораторні роботи, виконання індивідуальних завдань (робота у групі, команді), обговорення, дискусія. Робота в системах Microsoft Teams та Moodle для здійснення модульного контролю, завантаження виконаних лабораторних завдань.
<b>Необхідне обладнання</b>	Персональні комп'ютери (мінімальні характеристики: процесор Intel Core i3(4 ядра), 8 ГБ оперативної пам'яті, 50 ГБ вільного місця на диску). Онлайн-доступ до MS TEAMS та MOODLE. Генератори сигналу Siglent SDG, цифрові осцилографи Rigol DS1054Z, мультиметри UNI-T UT8803, логічний аналізатор Leaptronix PLA-1016, програмовані логічні мікросхеми SGL46538V, відлагоджувальна плата GP Development Platform, 3D принтер Snapmaker Original 3-в-1, Роботизована платформа на базі мікроконтролера Arduino. Програмне забезпечення: OrCAD, GreenPAK, FreeCAD, ANSYS Lumerical FDTD та INTERCONNECT
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	Оцінювання проводиться упродовж семестру за 100-бальною шкалою.  Бали нараховуються за такими видами робіт з наступним співвідношенням: <ul style="list-style-type: none"> <li>• лабораторні роботи: 50% семестрової оцінки (максимальна кількість балів - 50);</li> <li>• контрольні заміри: 20% семестрової оцінки (максимальна кількість балів - 30);</li> <li>• підсумкова контрольна робота: 30% семестрової оцінки (максимальна кількість балів - 30).</li> </ul> Загалом упродовж семестру 100 балів  <b>Академічна доброчесність:</b> Студентам слід дотримуватися принципів академічної доброчесності, виконуючи всі завдання самостійно та з дотриманням етичних норм. Плагіат, списування або інші прояви недоброчесної поведінки неприпустимі та ведуть до анулювання відповідних результатів. Оригінальність поданих робіт є обов'язковою умовою для їх зарахування.  <b>Відвідування занять</b> Регулярна присутність на лекціях і лабораторних заняттях є невід'ємною частиною навчання.

У разі неможливості відвідування занять студенти повинні заздалегідь повідомити викладача. Незалежно від обставин, студентам слід дотримуватися встановлених кінцевих термінів для виконання завдань та робіт.

**Література.** Викладач надає студентам основну літературу, необхідну для освоєння дисципліни, використовуючи платформи MS Teams або Moodle. Студентам рекомендується додатково шукати інші джерела для розширення своїх знань.

**Політика виставлення балів.** Оцінювання базується на поточних результатах (лабораторні роботи, модулі), самостійній роботі студентів та підсумковому контролі (екзамен). Звертається особлива увага на регулярне відвідування занять, активну участь у дискусіях та лабораторних роботах, дотримання встановлених термінів виконання завдань, а також дотримання принципів академічної доброчесності. Недопустимими є пропуски занять без поважної причини, списування, використання мобільних пристроїв у неосвітніх цілях під час занять, несвоєчасне виконання робіт та порушення етичних норм. Плагіат та інші форми порушення академічної доброчесності категорично заборонені та можуть стати підставою для анулювання балів за відповідні роботи.

**Оцінювання лабораторних робіт (10 лабораторних робіт)** відбувається шляхом оцінки підготовки до виконання лабораторної роботи, безпосереднього її виконання та захисту.

Оцінка за лабораторні роботи складається з двох частин:

- Підготовка та виконання лабораторної роботи:  
3 бали ( $10 \times 3 = 30$  балів)
- Звіт до лабораторної роботи: 1 балу ( $10 \cdot 1 = 10$  балів)
- Захист лабораторної роботи: 5 балів ( $2 \times 5 = 10$  балів)

Бали оцінювання лабораторних робіт нараховуються за наступним співвідношенням:

3 - студент в повному обсязі володіє теоретичним матеріалом, має повне розуміння розглянутої теми, самостійно реалізує 100 % від поставлених завдань для виконання роботи, надає правильні відповіді на запитання по темі роботи та описі отриманих результатах;

2 - студент достатньо розуміє теоретичний матеріал, самостійно реалізує 75 % від поставлених для виконання роботи завдань, однак присутні неточності та незначні помилки у відповідях на запитання по отриманих результатах;

1,5 - студент не досить добре розуміє теоретичний матеріал, вагається та надає неточні/не конкретні відповіді на запитання по темі, 50 % від поставлених завдань реалізує самостійно;

0,5 - студент погано розуміє теоретичний матеріал та використані підходи у лабораторній роботі, при допомозі викладача може реалізувати та пояснити 25 % від поставлених в роботі завдань;

0 - студент зовсім не підготувався до виконання лабораторної роботи, при допомозі викладача не в змозі виконати жодне завдання лабораторної роботи.

**Звіт по виконаних лабораторних роботах** оцінюється за наступними критеріями:

1,0 – звіт повністю відповідає завданню, чітко структурований, оформлений відповідно до вимог, містить детальний аналіз і обґрунтовані висновки.

0,5 – звіт виконано частково, структура та оформлення мають недоліки, аналіз поверховий, висновки неповні або некоректні.

0 – звіт відсутній або його зміст не відповідає завданню.

**Захист лабораторних робіт** складається з двох тестів, у системі Moodle, по 20 питань (по чотири питання по кожній лабораторній роботі), кожна правильна відповідь оцінюється у 0,25 бала, а не вірна відповідь – 0 балів (2x20x0,25=10 балів).

**Контрольні заміри** проводяться у формі тестових завдань (модулів) з лекційного матеріалу у системі Moodle (2 модулі по 10 балів кожен). Кожен модуль містить 20 тестових питань з одним вірним варіантом відповіді. Кожна правильна відповідь приносить 0,5 бала, хибна відповідь – 0 балів

**Підсумкова контрольна робота** складається з трьох теоретичних питань за матеріалами курсу (відповіді на кожне оцінюються у 10 балів: 3x10=30 балів).

Критерії:

Бали за відповідь на одне теоретичне питання	Критерії оцінювання
9-10	Відповідь, в якій навчальний матеріал відтворюється в повному обсязі, правильно, обґрунтовано, логічно, яка містить аналіз і систематизацію, аргументовані висновки. Засвідчено глибоке володіння матеріалом.

	6-8	Відповідь, в якій відтворюється значна частина навчального матеріалу. Виявлено знання і розуміння основних положень навчальної дисципліни.
	3-5	Відповідь, в якій основні положення навчального матеріалу відтворено на рівні заучування без достатнього його розуміння.
	1-2	Відповідь, яка засвідчує, що навчальний матеріал не засвоєно Відсутність чіткого і логічного формулювання.
	0	Відповідь відсутня.
<b>Питання з курсу</b>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Що таке 3D моделювання, і які його основні принципи?</li> <li>2. Які програмні засоби використовуються для 3D моделювання електронних компонентів?</li> <li>3. Що таке САD-системи, і яку роль вони відіграють у проектуванні електронних пристроїв?</li> <li>4. Які формати файлів використовуються для збереження 3D моделей?</li> <li>5. Поясніть поняття параметричного та непараметричного моделювання.</li> <li>6. Які основні переваги 3D моделювання порівняно з 2D проектуванням?</li> <li>7. Як створити базову 3D модель у FreeCAD?</li> <li>8. Які функції надає FreeCAD для роботи з 3D моделями роботизованих електронних пристроїв?</li> <li>9. Як виконати експорт 3D моделі в інше програмне середовище?</li> <li>10. Що таке «історія моделі», і як вона використовується в програмному забезпеченні для 3D моделювання?</li> <li>11. Як налаштовується координатна система для 3D моделювання?</li> <li>12. Які інструменти доступні для редагування тривимірних об'єктів у FreeCAD?</li> <li>13. Як створити модель резистора?</li> <li>14. Які параметри необхідно враховувати під час моделювання конденсаторів?</li> <li>15. Як створити модель мікросхеми з урахуванням виводів та корпусу?</li> <li>16. Як виконати 3D моделювання індуктивностей та їх магнітного осердя?</li> <li>17. Що таке виконавчий механізм, і як створити його 3D модель?</li> <li>18. Які основні етапи моделювання корпусу для інтегральної мікросхеми?</li> <li>19. Як створити 3D модель друкованої плати?</li> <li>20. Які шари враховуються при 3D моделюванні багат шарових друкованих плат?</li> <li>21. Як відображаються електричні з'єднання в тривимірній моделі?</li> <li>22. Як додати 3D модель компонентів до друкованої плати в OrCAD?</li> <li>23. Що таке трасування друкованих плат, і як воно впливає на 3D модель?</li> <li>24. Як моделюються теплові режими друкованих плат у 3D?</li> <li>25. Що таке віртуальне прототипування, і для чого воно використовується?</li> <li>26. Як виконати симуляцію теплових процесів у 3D моделі електронного пристрою?</li> </ol>

27. Що таке кінематика, і як її враховують під час проектування механічних елементів пристроїв?
28. Як провести візуалізацію електронного пристрою для презентації?
29. Які переваги має використання доповненої реальності для аналізу 3D моделей?
30. Як перевірити розміри та відповідність 3D моделі до реального виробу?
31. Як підготувати 3D модель для друку?
32. Які матеріали найчастіше використовуються для друку електронних компонентів?
33. Що таке G-code, і як він генерується для 3D друку?
34. Як визначаються параметри друку для складних тривимірних моделей?
35. Що таке підтримки, і як їх оптимізувати для друку?
36. Які недоліки можуть виникати під час друку тривимірних моделей електронних пристроїв?
37. Як створити 3D модель корпусу для електронного пристрою?
38. Які параметри враховуються під час проектування кріплень для друкованих плат?
39. Як виконати моделювання вентиляційних отворів у корпусах електронних пристроїв?
40. Що таке складальна модель, і як вона створюється у FreeCAD?
41. Як моделюються з'єднувальні кабелі та роз'єми у тривимірному просторі?
42. Які параметри враховуються при моделюванні рухомих елементів пристроїв?
43. Що таке рендеринг, і як його використовують для 3D моделей електронних пристроїв?
44. Як аналізується товщина стінок моделі для перевірки міцності?
45. Які методи використовуються для візуалізації внутрішніх компонентів пристрою?
46. Як виконується аналіз симетрії у 3D моделях?
47. Що таке аналіз ваги моделі, і які параметри для нього потрібні?
48. Як оцінюються теплові процеси в корпусах пристроїв за допомогою 3D моделювання?
49. Як здійснюється інтеграція 3D моделі з електронною схемою?
50. Як перевірити сумісність 3D моделі з компонентами інших виробників?
51. Що таке електромеханічна сумісність, і як вона враховується під час 3D моделювання?
52. Як проводиться аналіз з'єднань у складальних 3D моделях?
53. Як використовується лазерне сканування для створення 3D моделей?
54. Що таке зворотне проектування, і як його застосовують у 3D моделюванні?
55. Як застосовуються штучний інтелект та автоматизація у створенні 3D моделей?
56. Що таке генеративний дизайн, і як його використовують у проектуванні корпусів?
57. Які переваги має хмарне 3D моделювання?
58. Як використовуються VR/AR технології для роботи з 3D моделями?
59. Які можливості надають цифрові двійники у моделюванні пристроїв?
60. Як впливає розвиток нанотехнологій на 3D моделювання електронних компонентів?
61. Що таке електромеханічні системи, і які їхні основні складові?
62. Як виконати 3D моделювання електромеханічного сенсора?
63. Які принципи роботи електромагнітного двигуна враховуються при моделюванні?

	<p>64. Як розрахувати магнітні поля в електромеханічних системах за допомогою 3D моделювання?</p> <p>65. Що таке механічний резонанс у ЕМС, і як його враховують при проектуванні?</p> <p>66. Як оцінюється вплив вібрацій на елементи електромеханічних систем у 3D моделі?</p> <p>67. Що таке МЕМС, і які їхні основні переваги та обмеження?</p> <p>68. Як виконати 3D моделювання МЕМС у програмному середовищі?</p> <p>69. Які матеріали використовуються для виготовлення МЕМС, і як вони впливають на моделювання?</p> <p>70. Як оцінюються механічні властивості тонких шарів у МЕМС під час 3D моделювання?</p> <p>71. Що таке актюатори МЕМС, і як вони моделюються у 3D?</p> <p>72. Як враховуються теплові процеси в МЕМС під час їх проектування?</p> <p>73. Що таке НЕМС, і чим вони відрізняються від МЕМС?</p> <p>74. Як моделюються наномасштабні механічні елементи у НЕМС?</p> <p>75. Які підходи використовуються для опису фізичних процесів у НЕМС?</p> <p>76. Як оцінюється вплив квантових ефектів на роботу НЕМС?</p> <p>77. Що таке нанорезонатори, і як вони моделюються у 3D?</p> <p>78. Як проводиться оптимізація геометрії НЕМС для досягнення високої чутливості?</p> <p>79. Що таке ANSYS Lumerical FDTD і INTERCONNECT, та які задачі вирішуються за допомогою цих програмних інструментів?</p> <p>80. Як налаштовується симуляція електромагнітних полів і моделювання поширення світла у волоконно-оптичних системах у Lumerical FDTD?</p> <p>81. Які типи джерел сигналів доступні в Lumerical FDTD, і як сітка дискретизації впливає на точність симуляції?</p> <p>82. Як моделюється взаємодія компонентів і аналізуються втрати, відбивання та затримка сигналу в складних фотонних мережах за допомогою INTERCONNECT?</p> <p>83. Які параметри враховуються при моделюванні фотонних систем, зокрема оптичного мультиплексування, у середовищі INTERCONNECT?</p> <p>84. Як інтегруються ЕМС з фотонними компонентами у складних системах?</p> <p>85. Які виклики виникають при моделюванні гібридних систем МЕМС/НЕМС?</p> <p>86. Як враховувати взаємодію між механічними та електромагнітними процесами у МЕМС?</p> <p>87. Як моделюється наномасштабна взаємодія електронів у НЕМС?</p> <p>88. Що таке мультифізичне моделювання, і як його застосовують до систем ЕМС/МЕМС/НЕМС?</p> <p>89. Як здійснюється аналіз спектральних характеристик МЕМС у оптичних системах?</p> <p>90. Як сучасні тренди, включаючи використання AI та ML, впливають на моделювання ЕМС, МЕМС, НЕМС та розробку 3D моделей для фотоелектричних систем?</p>
<p><b>Опитування</b></p>	<p>Анкету з метою оцінювання якості курсу буде надано після вивчення курсу.</p>

## СХЕМА КУРСУ

Тиж	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література. Ресурси в Інтернеті	Завдання (лабораторна робота), год.	Термін виконання
1-2	<p><b>Тема 1. Вступ. Загальні відомості та основні поняття про проєктування та моделювання в електроніці.</b></p> <p>Поняття моделювання та проєктування, основна мета моделювання, типи моделювання. Послідовність етапів побудови математичної моделі, етапи проєктування. Параметри при проєктуванні та моделюванні схем. Види аналізу та розрахунку електронних схем.</p>	Лекція (4 год)	1-12	<p>Загальні відомості, основні поняття та правила техніки безпеки.</p> <p>Ознайомлення з мовою апаратного програмування Spice. Дослідження інтерфейсу і можливостей середовища OrCAD (3 год)</p>	1 тиждень семестру
2-3	<p><b>Тема 2. Еквівалентні схеми елементів електроніки та компонентів електронних систем.</b></p> <p>Базовий набір моделей елементів: опис моделей резисторів, індуктивностей, конденсаторів. Еквівалентна модель друкованої плати та лінії передачі. Моделювання електрохімічних систем. Закономірності процесів накопичення заряду в електрохімічних системах. Еквівалентні моделі акумуляторних батарей.</p>	Лекція (4 год)	1-12	<p>Ідентифікація параметрів та дослідження моделей напівпровідникових елементів (діодів, стабілітронів та транзисторів). (4 год)</p>	2 – 3 тижні семестру
3-4	<p><b>Тема 3. 3D моделювання схем засобами PSPICE OrCAD.</b></p> <p>Основи моделювання схем засобами PSpice, ознайомлення з середовищем та мовою опису. Моделі компонентів цифрової електроніки: Логічні елементи. Моделі складних вентильних схем. Моделі запам'ятовуючих пристроїв. Приклади опису цифрових компонентів PSpice. Побудова схем та візуалізація 3D систем в OrCAD.</p>	Лекція (4 год)	1-12	<p>Проєктування, моделювання та 3D візуалізація електронних систем за допомогою середовища OrCAD. (5 год)</p>	3 – 4 тижні семестру

5-6	<p><b>Тема 4. Основи 3D моделювання електромеханічних об'єктів та систем.</b> Тенденції розвитку електромеханічних систем і проблеми їх дослідження. Принципи моделювання. Основні вимоги до моделей. Класифікація моделей. Основні етапи та процес моделювання. Системне, генетичне і еволюційне моделювання ел.-мех об'єктів. Експериментальна перевірка достовірності результатів моделювання.</p>	Лекція (4 год)	1-12	Побудова еквівалентної схеми та розрахунок електричних параметрів друкованих плат. (5 год)	5 – 6 тижні семестру
6-8	<p><b>Тема 5. Моделювання мікроелектромеханічних (МЕМС) пристроїв</b> Розвиток та властивості мікросистемної техніки. Класифікація та структура МЕМС: актюатори, давачі, пристрої керування. Технології виготовлення елементів МЕМС. Проектування МЕМС. Закони пропорційної мініатюризації. Математичні моделі для аналізу елементів МЕМС. Проблеми проектування мікросистем. Принципи функціонування та проектування мікродавачів: ємнісні, електромагнітні, механічні, температурні. Актюатор як компонент мікросистемної техніки. Типи мікроактюаторів. Принципи роботи та недоліки мікроактюаторів. Цифрові мікродзеркальні пристрої. Інтегральні МЕМС ключі. Електростатичні мікродвигуни.</p>	Лекція (6 год)	1-12	Моделювання структури та параметрів роботи МЕМС давача. (6 год)	6 – 8 тижні семестру
				Захист лабораторних робіт, тест (1 год)	8 тижнів семестру
8-10	<p><b>Тема 6. Проектування, аналіз та діагностика роботи наноструктур і наноприладів.</b> Механіка наноприладів. Межі мініатюризації наноприладів. Методи конструювання наноприладів. Методи розрахунку механічних і динамічних характеристик елементів наноприладів. Наноприлади і нанопристрої, як надчутливі сенсори. Принципи моделювання нанорозмірних об'єктів. Динамічне та термомеханічне моделювання нанооб'єктів.</p>	Лекція (6 год)	1-12	Знайомство з середовищем моделювання інтегральних фотонних пристроїв ANSYS Lumirical. Побудова елементарної інтегральної фотонної схеми. (6 год)	9 – 10 тижні семестру

	Фотонні структури, як елементи нанооптоелектроніки. 1,2,3D структури та фотонні кристали. Основи функціонування та проектування нанохвилеводів. Принципи та приклади моделювання фотонних інтегральних схем.				
10-12	<p><b>Тема 7. Прототипування електронної частини управління електромеханічних систем та ПЛІС.</b></p> <p>Програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС). Основи побудови структур простих ПЛІС. Сучасні ПЛІС. Мікросхеми програмованої макрологіки. Основні параметри ПЛІС. Принципи проектування програмованих логічних схем. Загальна характеристика цифрових автоматів. Поняття автомата, принцип роботи автомата. Класифікація і характеристика автоматів. Закони функціонування автоматів Мілі і Мура. Способи опису роботи автоматів. Загальні відомості та завдання структурного синтезу цифрових автоматів. Етапи синтезу автоматів з пам'яттю. Мікропрограмні автомати. Типові вузли цифрових автоматів. Інформаційні основи контролю роботи цифрового автомату.</p>	Лекція (6 год)	1-12	Синтез цифрового автомату для управління драйвером світлодіодної матриці на базі ПЛІС GreenPAK SLG46538V. (6 год)	11 – 12 тижні семестру
12-13	<p><b>Тема 8. 3D-моделювання, проектування а середовища для створення прототипів електромеханічних систем.</b></p> <p>Знайомство з 2D та 3D моделюванням елементів електротехнічних систем. Основи методів комплексного віртуального та фізичного прототипування. Технології розробки віртуального прототипу: прототипування електронної та механічної частин. Робота з 3D моделями. Програмне забезпечення для тривимірного моделювання. Побудова візуальної моделі, використання 3D-сканерів. FreeCAD система для проектування як в 2D, так і в 3D середовищі.</p>	Лекція (4 год)	1-12	Основні правила роботи з системою FreeCAD, побудова елементарного графічного об'єкту. (3 год)	13 тиждень семестру

13-15	<p><b>Тема 9. Системи і засоби 3D-прототипування.</b>  Технології розробки фізичного прототипу. Вступ до 3D друку. Загальні поняття та принципи роботи 3D-принтерів. Класифікація технологій 3D друку. Основні технології 3D друку. Матеріали для 3D друку. Сфери застосування 3D друку. Підготовка 3D моделей до друку. Керуюча програма (G-code), структура та аналіз команд. Налаштування друку, основні параметри друку. Типові помилки під час друку та рекомендації щодо їх уникнення. Інновації та перспективи розвитку 3D друку. Використання штучного інтелекту у налаштуванні друку. Адаптивне прототипування та його можливості.</p>	Лекція (6 год)	1-12	Створення та перевірка функціональної збірки елементів системи в середовищі FreeCAD (4 год)	14 – 15 тижні семестру
15-16	<p><b>Тема 10. Проектування та симуляція рухомих елементів в модельованих роботизованих системах.</b>  Основні поняття й визначення робототехнічних систем (РТС). Класифікація РТС. Промисловий робот (ПР) як основний компонент РТС. Технічні параметри та структура ПР. Принципи побудови ПР. Кінематична схема роботи ПР.</p>	Лекція (4 год)	1-12	<p>Основи роботи з 3D принтером. Підготовка та запуск моделі в друк. (4 год)</p> <p>Захист лабораторних робіт, тест (1 год)</p>	<p>15 – 16 тижні семестру</p> <p>16 тиждень семестру</p>