

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

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

Львів 2024

| | |
|--|--|
| Назва дисципліни | Моделювання в електроніці |
| Адреса викладання дисципліни | м. Львів, вул. ген.Тарнавського, 107 |
| Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна | Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки |
| Галузь знань, шифр та назва спеціальності | 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації 171 Електроніка |
| Викладачі дисципліни | Лучечко Андрій Петрович, д.ф.-м.н., доц. |
| Контактна інформація викладачів | andriy.luchechko@lnu.edu.ua https://electronics.lnu.edu.ua/employee/luchechko-a-p/ |
| Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються | В режимі оф-лайн: згідно розкладу в день проведення лекційних/лабораторних занять (корпус факультету електроніки та комп'ютерних технологій, м. Львів, вул. ген. Тарнавського, 107). В режимі он-лайн: на платформі Microsoft Teams (для погодження часу онлайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача). |
| Сторінка дисципліни | https://electronics.lnu.edu.ua/course/modeliuvannia-v-elektronitsi-171-elektronika-ta-komp-iuterni-systemy/ Моделювання в електроніці Загальне Microsoft Teams |
| Інформація про дисципліну | Дисципліна «Моделювання в електроніці» є нормативною дисципліною зі спеціальності 171 «Електроніка» освітньо-професійної програми «Електроніка та комп'ютерні системи», яка викладається в 4 семестрі в обсязі 3 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою – ECTS). |
| Коротка анотація дисципліни | Дисципліна «Моделювання в електроніці» присвячена моделюванню процесів, які лежать в основі створення напівпровідникових приладів, а також сучасним принципам моделювання електронних систем. |
| Мета та цілі дисципліни | Метою дисципліни є ознайомити студентів з багаторівневим підходом до моделювання інтегральних мікросхем та напівпровідникових приладів від технології їх створення до функціонування приладів і схем, сформувані практичні навички опису відповідних математичних моделей, алгоритмів та програмного забезпечення, схемотехнічного проектування. Цілі дисципліни: навчити студентів аналізувати фізичні процеси, що відбуваються у напівпровідникових |

| | |
|--|---|
| | <p>структурах при введенні в них домішкових іонів, розуміти принципи побудови математичних моделей фізичних процесів та особливості проектування напівпровідникових приладів.</p> |
| <p>Література для вивчення дисципліни</p> | <p>Рекомендована література</p> <p>Базова:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Огородник К.В., Книш Б.П., Ратушний П.М., Лазарєв О.О. Моделювання в електроніці. Навчальний посібник– Вінниця: ВНТУ: 2017. – 118 с. 2. Бондаренко І.М., Свідерська Л.І., Грицунов О.В. Моделювання в електроніці: навч. посібник для студентів спеціальностей 153 – Мікро- та наноелектроніка, 171 – Електроніка. – Харків: ХНУРЕ, 2020. – 163 с. 3. Основи комп'ютерного моделювання: навч. посібник / М.С. Барабаш, П.М. Кір'язєв, О.І. Лапенко, М.А. Ромашкіна. 2-е вид. стер. – К.: НАУ, 2019. – 492 с. 4. Основи технології виготовлення елементів мікро- та наносистемної техніки : Текст лекцій [Електронний ресурс] : / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. В. Діденко, Д. Д. Татарчук. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 113 с. 5. 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. 6. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 1: навчальний посібник / Кветний Р. Н., Богач І. В., Бойко О. Р., Софіна О. Ю., Шушура О.М.; за заг. ред. Р.Н. Кветного. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 193 с. 7. Чисельні методи: Навчальний посібник. / Волонтир Л.О, Зелінська О.В., Потапова Н.А., Чіков І.А., Вінницький національний аграрний університет. – Вінниця: ВНАУ, 2020 – 322 с. <p>Допоміжна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 8. Комп'ютерне моделювання процесів і систем. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Д.О. Півторак, Ю.Ф. Лазарєв, С.Л. Лакоза ; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. - 207 с. 9. Основи математичного моделювання систем і процесів: навч. посіб. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2014. – 274 с. 10. Математичне моделювання систем і процесів: навч. посіб. – К. : НАУ, 2017. – 392 с. |

| | |
|--------------------------------------|---|
| | <p>11. Семеренко М. М. Автоматизоване моделювання елементів електронної техніки / Семеренко М. М. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 85 с.</p> <p>12. Ткач О. П. Наноматеріали і нанотехнології в приладобудуванні. Навч. Посіб. – Суми: СДУ, 2014. – 126 с.</p> <p>13. Хвищун І.О. Програмування і математичне моделювання. – К.: Видавничий Дім "Ін Юре", 2007. – 544 с.</p> <p>14. Palm, W. J. (2011). Introduction to MATLAB for Engineers. New York: McGraw-Hill. – 577 pages.</p> <p>Методичне забезпечення:</p> <p>1. Методичні рекомендації до лабораторного практикуму з курсу «Моделювання в електроніці» (електронна версія).</p> |
| Обсяг курсу | <p>Загальний обсяг 90 год.</p> <p>Аудиторних занять – 32 год. (лабораторні заняття).</p> <p>Самостійна робота – 58 год.</p> |
| Очікувані результати навчання | <p>В результаті вивчення даного курсу студент повинен:</p> <p>знати: основні поняття предмету, викладені у програмі курсу, зокрема, фізичні процеси, які лежать в основі створення напівпровідникових приладів, основи схемотехнічного моделювання.</p> <p>вміти: самостійно, з використанням програмних засобів, розраховувати необхідні характеристики та параметри, що відповідають фізичним процесам в напівпровідникових структурах, аналізувати отримані результати, проектувати прості напівпровідникові прилади та електричні схеми.</p> <p>Після вивчення курсу здобувачі набудуть таких компетентностей і програмних результатів:</p> <p>Моделювання в електроніці</p> <p>ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p>ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК5. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.</p> <p>ФК5. Здатність застосовувати відповідні математичні, наукові й технічні методи, сучасні інформаційні технології і комп'ютерне програмне забезпечення, навички роботи з комп'ютерними мережами, базами даних та Інтернет-ресурсами для вирішення інженерних задач в галузі електроніки.</p> <p>ФК6. Здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у приладах, пристроях та системах електроніки за допомогою аналітичних методів, засобів</p> |

| | |
|----------------------|--|
| | <p>моделювання, дослідних зразків та результатів експериментальних досліджень.</p> <p>ФК8. Здатність вирішувати інженерні задачі в галузі електроніки з урахуванням всіх аспектів розробки, проектування, виробництва, експлуатації та модернізації електронних приладів, пристроїв та систем.</p> <p>ФК12. Здатність інтегрувати знання з фізичних засад електроніки, програмування, моделювання, схемотехніки, автоматизації та тестування компонент і пристроїв сучасної електроніки для розуміння основ функціонування електронних та комп'ютерних систем різного призначення.</p> <p>ПР2. Застосовувати знання і розуміння диференційного та інтегрального числення, алгебри, функціонального аналізу дійсних і комплексних змінних, векторів та матриць, векторного числення, диференційних рівняння в звичайних та часткових похідних, ряду Фур'є, статистичного аналізу, теорії інформації, чисельних методів для вирішення теоретичних і прикладних задач електроніки.</p> <p>ПР5. Використовувати інформаційні та комунікаційні технології, прикладні та спеціалізовані програмні продукти для вирішення задач проектування та налагодження електронних систем, демонструвати навички програмування, аналізу та відображення результатів вимірювання та контролю.</p> <p>ПР8. Визначати та ідентифікувати математичні моделі технологічних об'єктів при розробці у комп'ютерному середовищі нових складних електронних систем та виборі оптимального рішення.</p> <p>ПР18. Застосовувати методи математичного моделювання і оптимізації електронних систем для розробки автоматизованих та роботизованих виробничих комплексів.</p> <p>ПР19. Застосовувати навички проектування, програмування та тестування компонент та пристроїв сучасної електроніки для розробки та налагодження електронних та комп'ютерних систем різного призначення.</p> |
| Ключові слова | моделювання, чисельні методи, диференціальне та інтегральне числення, моделі фізичних процесів у напівпровідниках, схемотехнічне проектування, моделі компонентів електроніки. |
| Формат курсу | Очний. |
| Теми | Див. СХЕМА КУРСУ |

| | |
|---|--|
| Підсумковий контроль, форма | залік в кінці семестру. |
| Пререквізити | Для вивчення курсу студенти потребують знань з дисциплін «Фізичні основи електроніки», «Вища математика», «Матеріали та компоненти сучасної електроніки», «Архітектура комп'ютерів і програмування», «Цифрова обробка сигналів». |
| Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу | Презентації, лабораторні роботи, практичні задачі, виконання індивідуальних завдань (робота у групі, команді), обговорення, дискусія. Робота в системі Microsoft Teams. |
| Необхідне обладнання | Персональні комп'ютери (мінімальні характеристики: процесор Intel Core i3 (4 ядра), 8 ГБ оперативної пам'яті, 50 ГБ вільного місця на диску), проектор. Онлайн-доступ до TEAMS та мережі INTERNET. Програмне забезпечення: Code:Blocks (free C/C++), MATLAB (Online (basic) or trial version), Excel та/або Origin (trial version) |
| Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності) | Оцінювання проводиться упродовж семестру за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за такими видами робіт з наступним співвідношенням: <ul style="list-style-type: none"> • лабораторні роботи: 60 % семестрової оцінки (максимальна кількість балів – 60); • контрольні заміри (підсумкові модулі): 40% семестрової оцінки (максимальна кількість балів – 40); Загалом упродовж семестру 100 балів. Академічна доброчесність: Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Виявлення ознак академічної недоброчесності при виконанні лабораторних робіт, розв'язуванні практичних задач та формуванні звітів є підставою для їх незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються. Відвідування занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та лабораторні заняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися |

термінів визначених для виконання всіх видів робіт та індивідуальних завдань, передбачених курсом.

Література. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.

Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані при поточному контролі (виконання лабораторних робіт, розв'язуванні практичних задач), самостійній роботі, підсумкових модулів. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторних занять; недопустимість пропусків та запізнень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.

Оцінювання лабораторних робіт (12 лабораторних робіт) відбувається шляхом оцінки підготовки до виконання лабораторної роботи, безпосереднього її виконання та захисту.

Кожна робота оцінюється в діапазоні від 0 до 5 балів (12x5=60 балів).

Бали оцінювання лабораторних робіт нараховуються за наступним співвідношенням:

5 – 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;

4 – 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;

3 – студент не досить добре розуміє теоретичний матеріал, вагається та надає неточні/неконкретні відповіді на запитання по темі, 50 % від поставлених завдань реалізує самостійно;

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

1 – студент погано розуміє використані підходи у лабораторній роботі, при допомозі викладача може

| | |
|-------------------|---|
| | <p>реалізувати та пояснити менше 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.</p> <p>Контрольні заміри (підсумкові модулі) проводяться у формі відкритих тестових завдань (2 модулі по 20 балів кожен), які включають по 20 питань, винесених на самостійне опрацювання. Кожна правильна відповідь оцінюється в 1 бал, частково-правильна – в 0,5 балів, хибна відповідь – 0 балів</p> |
| Опитування | Анкету з метою оцінювання якості курсу буде надано після вивчення курсу. |

СХЕМА КУРСУ

| Ти ж | Тема, план, короткі тези | Форма діяльності (заняття) | Література. Ресурси в Інтернеті | Завдання (лабораторна робота), год. | Термін виконання |
|------|---|----------------------------|---------------------------------|---|--------------------|
| 1 | <p>Тема 1. Загальні підходи до моделювання фізичних процесів. Поняття фізичних та математичних моделей. Лінійні та нелінійні, неперервні та дискретні, статичні та динамічні, детерміновані та стохастичні моделі. Дискретизація рівнянь, які описують математичні моделі. Поняття похибки в моделюванні.</p> | Самостійна робота (4 год) | 1-14 | Вступне заняття. Чисельні методи в електроніці. (2 год) | 1 тиждень семестру |
| 2 | <p>Тема 2. Методи чисельного інтегрування. Використання чисельних методів у моделюванні. Класифікація методів чисельного інтегрування. Розрахунок визначених інтегралів методами Ньютона-Котеса та імовірнісними методами. Оцінка похибки чисельного інтегрування.</p> | Самостійна робота (4 год) | 1-14 | Лабораторна робота № 1 Чисельне інтегрування функцій. (2 год) | 2 тиждень семестру |

| | | | | | |
|---|---|---------------------------|------|---|--------------------|
| 3 | <p>Тема 3. Моделі процесів іонної імплантації напівпровідників. Переваги та недоліки іонного легування. Параметри процесу іонної імплантації. Фізичні основи та моделі іонного легування у випадку отримання матеріалів з n- та p-типами провідності. Розподіли Гаусса та Пірсона</p> | Самостійна робота (4 год) | 1-14 | Лабораторна робота № 2 Чисельне моделювання іонної імплантації. (2 год) | 3 тиждень семестру |
| 4 | <p>Тема 4. Чисельне моделювання напівпровідникових структур. Фізико-топологічні моделі напівпровідникових структур. Основне рівняння напівпровідника. Можливі підходи до моделювання. Граничні умови в чисельному моделюванні напівпровідникових структур. Положення рівня Фермі та концентрація носіїв у власних напівпровідниках.</p> | Самостійна робота (4 год) | 1-14 | Лабораторна робота № 3 Чисельний розрахунок концентрації носіїв струму в напівпровідниках (2 год) | 4 тиждень семестру |
| 5 | <p>Тема 5. Методи чисельного диференціювання. Класифікація методів. Явний метод Ейлера. Модифікації методу Ейлера. Неявні методи розв'язування диференціальних рівнянь. Метод Рунге-Кутта. Похибки при чисельному диференціюванні.</p> | Самостійна робота (4 год) | 1-14 | Лабораторна робота № 4 Чисельне розв'язування диференціальних рівнянь. (2 год) | 5 тиждень семестру |
| 6 | <p>Тема 6. Моделі процесів дифузії в напівпровідниках. Механізми дифузійних переміщень атомів. Теорія та моделювання процесів дифузії. Граничні умови для потоку додатньо-заряджених частинок. Рівняння Фіка. Формування n- та p-типу провідності.</p> | Самостійна робота (4 год) | 1-14 | Лабораторна робота № 5 Чисельне моделювання процесу дифузії. (2 год) | 6 тиждень семестру |

| | | | | | |
|----|--|---------------------------|------|--|---------------------|
| 7 | <p>Тема 7. Моделі термічного окислення напівпровідників. Фізика термічного окислення на основі моделі трьох потоків у статичному стані. Особливості окислення в атмосфері сухого та вологого кисню. Параболічний та лінійний коефіцієнти швидкості росту оксиду на поверхні н/п.</p> | Самостійна робота (4 год) | 1-14 | Лабораторна робота № 6 Чисельне моделювання процесу окислення. (2 год) | 7 тиждень семестру |
| 8 | <p>Тема 8. Етапи проектування напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем (ІМС). Порядок процесу проектування ІМС. Класифікація типових проектних процедур. Схема процесу проектування ІМС. Типова послідовність проектних процедур. Види проектних задач при створенні ІМС.</p> | Самостійна робота (4 год) | 1-14 | Підсумковий модуль 1 (2 год) | 8 тиждень семестру |
| 9 | <p>Тема 9. Середовище MatLab для інтегрування та диференціювання функцій. Особливості використання MatLab для моделювання в електроніці. Моделі систем, які задаються інтегральними/диференціальними рівняннями.</p> | Самостійна робота (4 год) | 1-14 | Лабораторна робота № 7 Середовище MatLab для моделювання систем, що описуються інтегральними рівняннями. (2 год) | 9 тиждень семестру |
| 10 | <p>Тема 10. Схемотехнічне моделювання. Схемотехнічне проектування і моделювання напівпровідникових приладів та ІС. Моделювання роботи електротехнічних пристроїв у MATLAB.</p> | Самостійна робота (4 год) | 1-14 | Лабораторна робота № 8 Середовище MatLab для моделювання систем, що описуються диф. рівняннями. (2 год) | 10 тиждень семестру |

| | | | | | |
|-----------|---|---------------------------------|------|--|----------------------------|
| 11 | Теми 11 Моделювання електронних схем у SIMULINK. Основні блоки Simulink. Приклади побудови Simulink-моделей. Графічний інтерфейс користувача. | Самостійна робота (4 год) | 1-14 | Лабораторна робота № 9 Моделювання систем, що описуються алгебраїчними рівняннями. (2 год) | 11 тиждень семестру |
| 12, 13 | Тема 12,13. Моделювання електронних схем. Моделі інтегральних електронних елементів. Моделювання цифрових електронних систем. Моделі компонентів аналогової електроніки. | Самостійна робота (4 год) | 1-14 | Лабораторна робота № 10 Моделювання процесів та систем у пакеті Simulink. Побудова найпростіших моделей. (4 год) | 12,13 тижні семестру |
| 14 | Тема 14. Електричні моделі. Вхідні та вихідні параметри. Класифікація електричних моделей. Ідентифікація параметрів електричних еквівалентних схем. | Самостійна робота (4 год) | 1-14 | Лабораторна робота № 11 Розробка моделей для розв'язування задач оптимізації. (2 год) | 14 тиждень семестру |
| 15 | Тема 15. Проектування пристроїв. Особливості проектування та основні характеристики: діод, транзистор, тощо. | Самостійна робота (3 год) | 1-14 | Лабораторна робота № 12 Моделі напівпровідников их приладів у SIMULINK. (2 год) | 15 тиждень семестру |
| 16 | Тема 16. Особливості та програмне забезпечення схмотехнічного моделювання. Моделювання електронних схем у Electronics Workbench, Multisim та Spice. | Самостійна робота (3 год) | 1-14 | Підсумковий модуль 2 (2 год) | 16 тиждень семестру |