

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1. Загальна інформація про навчальну дисципліну

Повна назва навчальної дисципліни	Комп'ютерне моделювання в електроніці
Повна офіційна назва закладу вищої освіти	Сумський державний університет
Повна назва структурного підрозділу	Факультет електроніки та інформаційних технологій. Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки
Розробник(и)	Протасова Тетяна Олександрівна
Рівень вищої освіти	Перший рівень вищої освіти, НРК – 6 рівень, QF-LLL – 6 рівень, FQ-EHEA – перший цикл
Тривалість вивчення навчальної дисципліни	один семестр
Обсяг навчальної дисципліни	Обсяг становить 5 кред. ЄКТС, 150 год. Для денної форми навчання 64 год. становить контактна робота з викладачем (24 год. лекцій, 40 год. лабораторних занять), 86 год. становить самостійна робота.
Мова викладання	Українська

2. Місце навчальної дисципліни в освітній програмі

Статус дисципліни	Обов'язкова навчальна дисципліна для всіх освітніх програм спеціальності 171 "Електроніка"
Передумови для вивчення дисципліни	Необхідні базові знання з вищої математики, інформатики, теорії електричних та електронних кіл та базові навички володіння комп'ютером
Додаткові умови	Додаткові умови відсутні
Обмеження	Обмеження відсутні

3. Мета навчальної дисципліни

Метою викладання дисципліни є ознайомлення студентів з сучасними методами аналізу та розрахунку електронних схем з використанням комп'ютерних інформаційних технологій, з методами розробки математичних моделей електронних компонентів та пристроїв, з визначенням параметрів цих моделей та розрахунками характеристик моделей на ЕОМ.

4. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1 Застосування метода моделювання до аналізу електронних схем.

Основні етапи та процедури моделювання. Види моделей. Макро- та мікромоделювання. Моделі та макромоделі електронних компонентів. Моделі біполярного та польового транзисторів, електровакуумного тріода, інтегрального операційного підсилювача, індуктивно зв'язних котушок, трансформатору.

Тема 2 Програмні пакети для моделювання електронних схем.

Ознайомлення з сучасними програмними пакетами загального (MATLAB, MATCAD) та спеціального (EWB, Proteus, Multisim, Micro-CAP, Spice) призначення для аналізу, розрахунку та моделювання електронних схем.

Тема 3 Аналіз електронних схем у часовому просторі.

Алгоритм визначення часових характеристик. Застосування звичайних диференціальних рівнянь (ЗДР) для аналізу, розрахунку та моделювання перехідних процесів в електронних пристроях. Формування передаточної функції електронного кола. Диференціальні рівняння електронних кіл. Рішення для вільної та вимушеної складових. Зв'язок коренів допоміжного рівняння з характером перехідного процесу. Алгоритм розв'язання процесу та виведення графіка на екран ЕОМ. Рішення диференціальних рівнянь n -го порядку с постійними коефіцієнтами.

Тема 4 Моделі електронних пристроїв в частотній області.

Амплітудно-частотна та фазочастотна характеристики лінійних неперервних пристроїв електроніки. Порядок формування амплітудно-частотних та фазочастотних характеристик лінійних неперервних пристроїв електроніки.

Тема 5 Чисельні методи побудови перехідних процесів в електронних пристроях.

Чисельне інтегрування диференціальних рівнянь. Метод прямокутників. Метод Ейлера. Метод трапецій. Метод Рунге-Кута. Формули Рунге-Кута другого та четвертого порядку. Точність методу. Порядок підготовки вихідних даних при формуванні моделі перехідного процесу на основі методу Рунге-Кута.

Тема 6 Метод простору станів. Частина 1.

Змінні станів систем та вузлів та задачі, що вирішуються з їх допомогою. Основні рівняння змінних станів динамічних систем. Класифікація систем. Структурна схема алгоритму чисельного інтегрування ЗДР. Формування матриці Фробеніуса. Аналіз системи за фазовим портретом.

Тема 7 Метод простору станів. Частина 2.

Матриця простору станів. Особливості застосування матриці простору станів при наявності у вхідній дії не тільки змінних, а також і їх похідних.

Тема 8 Матричний метод вузлових потенціалів при використанні оператора диференціювання.

Матричний метод вузлових потенціалів. Характеристики методу. Області застосування. Переваги та недоліки. Застосування компонентних рівнянь для видалення незручних складових в елементах матриць.

<p>Тема 9 Матричний метод контурних струмів при використанні оператора диференціювання.</p> <p>Матричний метод контурних струмів. Характеристики методу. Области застосування. Переваги та недоліки методу. Застосування компонентних рівнянь для видалення незручних складових в елементах матриць.</p>
<p>Тема 10 Основні характеристики динамічних систем.</p> <p>Спостережуваність, керованість, стійкість. Аналіз стійкості системи на основі обчислення коренів характеристичного рівняння. Критерії стійкості. Класифікація критеріїв стійкості. Алгебраїчні критерії. Критерій Гурвіца. Частотні критерії стійкості. Критерій Михайлова. Переваги та недоліки алгебраїчних та частотних критеріїв. Оцінка якості системи при гармонійних сигналах.</p>
<p>Тема 11 Використання оптимізації при моделюванні пристроїв та процесів. Частина 1.</p> <p>Введення в теорію оптимізації. Загальна постановка задач оптимізації, що використовується при дослідженні електронних пристроїв. Класифікація методів оптимізації, що застосовуються при аналізі, розрахунках та моделюванні електронних систем та вузлів.</p>
<p>Тема 12 Використання оптимізації при моделюванні пристроїв та процесів. Частина 2.</p> <p>Класичний метод пошуку оптимального рішення. Градієнтні методи оптимізації. Динамічне програмування. Пошукові методи оптимізації</p>

5. Очікувані результати навчання навчальної дисципліни

Після успішного вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти зможе:

PH1	Вміти застосовувати диференційні рівняння та методи чисельного інтегрування для складання та вирішення математичних моделей пристроїв електроніки, знати, розрізнити та правильно застосовувати аналітичні методи аналізу та розрахунку електронних схем, а також матричні методи обчислення моделей на ЕОМ.
PH2	Вміти застосовувати спеціалізовані програмні продукти для вирішення математичних моделей електронних пристроїв та систем. Опанувати навички комп'ютерного проектування (розрахунку та моделювання) електронних схем.
PH3	Складати математичні моделі при розробці нових складних електронних систем, вирішувати їх у комп'ютерному середовищі та вибрати оптимальне рішення.
PH4	Вміти аналізувати електричні схеми та процеси, що протікають в них; застосовувати математичний апарат при складанні моделей та макромоделей схем та процесів; розраховувати електричні схеми та процеси за допомогою складних моделей; проводити розрахунок моделей на ЕОМ, корегувати їх та формулювати рекомендації щодо їх практичного застосування.
PH5	Розумітися в експериментальних методах та знати порядок проведення експериментів для перевірки гіпотез та дослідження явищ електроніки; вміти аналізувати, моделювати та критично оцінювати отримані результати.

PH6	Складати та вирішувати математичні моделі в процесі розробки автоматизованих та роботизованих виробничих комплексів, вміти аналізувати результати проведеного моделювання та вибрати оптимальні схеми.
-----	--

6. Роль навчальної дисципліни у досягненні програмних результатів

Програмні результати навчання, досягнення яких забезпечує навчальна дисципліна.

Для спеціальності 171 Електроніка:

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.
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.
ПР8	Визначати та ідентифікувати математичні моделі технологічних об'єктів при розробці у комп'ютерному середовищі нових складних електронних систем та виборі оптимального рішення.
ПР16	Застосовувати розуміння теорії стохастичних процесів, методи статистичної обробки та аналізу даних при розв'язанні професійних завдань.
ПР17	Демонструвати навички проведення експериментальних досліджень, пов'язаних з професійною діяльністю; вдосконалювати методики вимірювання; контролювати достовірність отриманих результатів; систематизувати та аналізувати дані, отримані експериментальним шляхом.
ПР18	Застосовувати методи математичного моделювання і оптимізації електронних систем для розробки автоматизованих та роботизованих виробничих комплексів.

7. Роль освітнього компонента у формуванні соціальних навичок

Загальні компетентності та соціальні навички, формування яких забезпечує навчальна дисципліна:

СН1	Здатність аналізувати, оцінювати та об'єктивно інтерпретувати інформацію, робити обґрунтовані судження та вирішувати складні проблеми шляхом логічного обґрунтування та прийняття рішень на основі доказів (критичне мислення)
СН2	Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.
СН3	Здатність до навчання впродовж життя (прагнення постійного особистого та професійного розвитку, активний пошук нових знань, набуття нових навичок та адаптація до нових тенденцій і технологій)

СН4	Здатність мислити креативно, генерувати нові ідеї та підходити до викликів із свіжими поглядами, що веде до інноваційних рішень та здатності адаптуватися до середовища, яке швидко змінюється (креативність)
-----	---

8. Види навчальних занять

Тема 1. Застосування метода моделювання до аналізу електронних схем.	
Лк1 "Застосування метода моделювання до аналізу електронних схем."	Основні етапи та процедури моделювання. Види моделей. Макро- та мікромоделювання. Моделі та макромоделі електронних компонентів. Моделі біполярного та польового транзисторів, електровакуумного тріода, інтегрального операційного підсилювача, індуктивно зв'язних котушок, трансформатору.
Лб1 "Застосування метода моделювання до аналізу електронних схем."	Моделювання пасивних елементів.
Лб2 "Застосування метода моделювання до аналізу електронних схем."	Моделювання діодів та стабілітронів.
Лб3 "Застосування метода моделювання до аналізу електронних схем."	Моделі транзисторів для малого сигналу.
Лб4 "Застосування метода моделювання до аналізу електронних схем."	Моделі транзисторів для великого сигналу.
Лб5 "Застосування метода моделювання до аналізу електронних схем."	Моделі операційних підсилювачів.
Лб6 "Застосування метода моделювання до аналізу електронних схем."	Аналіз полосового фільтру.
Лб7 "Застосування метода моделювання до аналізу електронних схем."	Моделі керованих ключів.
Лб8 "Застосування метода моделювання до аналізу електронних схем."	Моделювання тиристорів, IGBT – транзисторів.
Тема 2. Програмні пакети для моделювання електронних схем.	
Лк2 "Програмні пакети для моделювання електронних схем."	Ознайомлення з сучасними програмними пакетами загального (MATLAB, MATCAD) та спеціального (EWB, Proteus, Multisim, Micro-CAP, Spice) призначення для аналізу, розрахунку та моделювання електронних схем.

<p>Лб9 "Програмні пакети для моделювання електронних схем." Дослідження перехідних процесів в електронних колах, використовуючи програмні комплекси Electronics WorkBench та Multisim.</p>
<p>Лб10 "Програмні пакети для моделювання електронних схем." Моделювання простих логічних схем.</p>
<p>Тема 3. Аналіз електронних схем у часовому просторі.</p>
<p>Лк3 "Аналіз електронних схем у часовому просторі." Алгоритм визначення часових характеристик. Застосування звичайних диференційних рівнянь (ЗДР) для аналізу, розрахунку та моделювання перехідних процесів в електронних пристроях. Формування передаточної функції електронного кола. Диференційні рівняння електронних кіл. Рішення для вільної та вимушеної складових. Зв'язок коренів допоміжного рівняння з характером перехідного процесу. Алгоритм розв'язання процесу та виведення графіка на екран ЕОМ. Рішення диференційних рівнянь n-го порядку с постійними коефіцієнтами.</p>
<p>Лб11 "Аналіз електронних схем у часовому просторі." Математичні моделі перехідних процесів в пристроях електроніки на основі розв'язання звичайних диференційних рівнянь.</p>
<p>Лб12 "Аналіз електронних схем у часовому просторі." Побудова та вирішення математичної моделі для пристрою довільної структури на основі застосування звичайних диференційних рівнянь.</p>
<p>Тема 4. Моделі електронних пристроїв в частотній області.</p>
<p>Лк4 "Моделі електронних пристроїв в частотній області." Амплітудно-частотна та фазочастотна характеристики лінійних неперервних пристроїв електроніки. Порядок формування амплітудно-частотних та фазочастотних характеристик лінійних неперервних пристроїв електроніки.</p>
<p>Лб13 "Моделі електронних пристроїв в частотній області." Побудова часових та частотних характеристик електричних кіл в середовищі Electronics WorkBench та Multisim.</p>
<p>Тема 5. Чисельні методи побудови перехідних процесів в електронних пристроях.</p>
<p>Лк5 "Чисельні методи побудови перехідних процесів в електронних пристроях." Чисельне інтегрування диференційних рівнянь. Метод прямокутників. Метод Ейлера. Метод трапецій. Метод Рунге-Кута. Формули Рунге-Кута другого та четвертого порядку. Точність методу. Порядок підготовки вихідних даних при формуванні моделі перехідного процесу на основі методу Рунге-Кута.</p>
<p>Тема 6. Метод простору станів. Частина 1.</p>

<p>Лк6 "Метод простору станів. Частина 1."</p> <p>Змінні станів систем та вузлів та задачі, що вирішуються з їх допомогою. Основні рівняння змінних станів динамічних систем. Класифікація систем. Структурна схема алгоритму чисельного інтегрування ЗДР. Формування матриці Фробеніуса. Аналіз системи за фазовим портретом.</p>
<p>Лб14 "Метод простору станів. Частина 1."</p> <p>Чисельне вирішення диференціальних рівнянь на основі матриці Фробеніуса. Отримання та розрахунок математичної моделі та вирішення її методом простору станів. Побудова матриці Фробеніуса.</p>
<p>Лб15 "Метод простору станів. Частина 1."</p> <p>Дослідження математичної моделі пристрою, умова функціонування якого подана у вигляді передавальної функції.</p>
<p>Тема 7. Метод простору станів. Частина 2.</p>
<p>Лк7 "Метод простору станів. Частина 2."</p> <p>Матриця простору станів. Особливості застосування матриці простору станів при наявності у вхідній дії не тільки змінних, а також і їх похідних.</p>
<p>Лб16 "Метод простору станів. Частина 2."</p> <p>Отримання та розрахунок математичної моделі та вирішення її методом простору станів. Побудова матриці станів. Особливості застосування матриці простору станів при наявності у вхідній дії не тільки змінних, а також і їх похідних. Застосування методу перетворення структурних схем.</p>
<p>Лб17 "Метод простору станів. Частина 2."</p> <p>Застосування методу простору станів для аналізу пристрою довільної структури.</p>
<p>Тема 8. Матричний метод вузлових потенціалів при використанні оператора диференціювання.</p>
<p>Лк8 "Матричний метод вузлових потенціалів при використанні оператора диференціювання."</p> <p>Матричний метод вузлових потенціалів. Характеристики методу. Області застосування. Переваги та недоліки. Застосування компонентних рівнянь для видалення незручних складових в елементах матриць.</p>
<p>Лб18 "Матричний метод вузлових потенціалів при використанні оператора диференціювання."</p> <p>Отримання моделі пристрою, що моделюється на основі матричного методу вузлових потенціалів.</p>
<p>Тема 9. Матричний метод контурних струмів при використанні оператора диференціювання.</p>

<p>Лк9 "Матричний метод контурних струмів при використанні оператора диференціювання."</p> <p>Матричний метод контурних струмів. Характеристики методу. Области застосування. Переваги та недоліки методу. Застосування компонентних рівнянь для видалення незручних складових в елементах матриць.</p>
<p>Лб19 "Матричний метод контурних струмів при використанні оператора диференціювання."</p> <p>Отримання моделі пристрою, що моделюється на основі матричного методу контурних струмів.</p>
<p>Лб20 "Матричний метод контурних струмів при використанні оператора диференціювання."</p> <p>Вибір та обґрунтування побудови математичної моделі для пристрою довільної структури.</p>
<p>Тема 10. Основні характеристики динамічних систем.</p>
<p>Лк10 "Основні характеристики динамічних систем."</p> <p>Спостережуваність, керованість, стійкість. Аналіз стійкості системи на основі обчислення коренів характеристичного рівняння. Критерії стійкості. Класифікація критеріїв стійкості. Алгебраїчні критерії. Критерій Гурвіца. Частотні критерії стійкості. Критерій Михайлова. Переваги та недоліки алгебраїчних та частотних критеріїв. Оцінка якості системи при гармонійних сигналах.</p>
<p>Тема 11. Використання оптимізації при моделюванні пристроїв та процесів. Частина 1.</p>
<p>Лк11 "Використання оптимізації при моделюванні пристроїв та процесів. Частина 1."</p> <p>Введення в теорію оптимізації. Загальна постановка задач оптимізації, що використовується при дослідженні електронних пристроїв. Класифікація методів оптимізації, що застосовуються при аналізі, розрахунках та моделюванні електронних систем та вузлів.</p>
<p>Тема 12. Використання оптимізації при моделюванні пристроїв та процесів. Частина 2.</p>
<p>Лк12 "Використання оптимізації при моделюванні пристроїв та процесів. Частина 2."</p> <p>Класичний метод пошуку оптимального рішення. Градієнтні методи оптимізації. Динамічне програмування. Пошукові методи оптимізації.</p>

9. Стратегія викладання та навчання

9.1 Методи викладання та навчання

Дисципліна передбачає навчання через:

МН1	Лекційне навчання
МН2	Практикоорієнтоване навчання
МН3	Самостійне навчання

Лекції надають студентам теоретичні знання про математичні та імітаційні моделі та

програмні засоби для їх реалізації. На лекціях докладно розглядаються сучасні методи аналізу та розрахунку електронних схем з використанням комп'ютерних інформаційних технологій, методи розробки математичних моделей електронних компонентів та пристроїв, визначення параметрів цих моделей та розрахунки характеристик моделей на ЕОМ. Це є основою для самостійного навчання здобувачів вищої освіти (PH1, PH2, PH4, PH5). Лекції доповнюються лабораторними роботами, що надають студентам можливість застосовувати теоретичні знання на практичних прикладах та сформулювати будувати та вирішувати математичні та імітаційні моделі для пристроїв електроніки довільної структури. (PH3, PH6).

Самостійному навчанню сприятиме підготовка до лекцій та лабораторних робіт. Під час підготовки звітів та їх презентацій за результатами виконання пошукових лабораторних робіт студенти розвиватимуть навички самостійного навчання на основі досвіду, критичного мислення, синтезу та аналітичного підходу до отриманих результатів. В результаті активного самостійного навчання студенти набудуть здатності ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у приладах, пристроях та системах електроніки за допомогою аналітичних методів, засобів моделювання, дослідних зразків та результатів експериментальних досліджень.

9.2 Види навчальної діяльності

НД1	Інтерактивні лекції
НД2	Підготовка до лабораторних робіт
НД3	Підготовка та презентація доповіді

10. Методи та критерії оцінювання

10.1. Критерії оцінювання

Визначення	Чотирибальна національна шкала оцінювання	Рейтингова бальна шкала оцінювання
Відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок	5 (відмінно)	$90 \leq RD \leq 100$
Вище середнього рівня з кількома помилками	4 (добре)	$82 \leq RD < 89$
Загалом правильна робота з певною кількістю помилок	4 (добре)	$74 \leq RD < 81$
Непогано, але зі значною кількістю недоліків	3 (задовільно)	$64 \leq RD < 73$
Виконання задовольняє мінімальним критеріям	3 (задовільно)	$60 \leq RD < 63$
Можливе повторне складання	2 (незадовільно)	$35 \leq RD < 59$
Необхідний повторний курс з навчальної дисципліни	2 (незадовільно)	$0 \leq RD < 34$

10.2 Методи поточного формативного оцінювання

	Характеристика	Дедлайн, тижні	Зворотний зв'язок

МФО1 Опитування та усні коментарі викладача за його результатами	Призначені для закріплення теоретичних знань, отриманих протягом лекційного заняття. Питання засновані на матеріалі поточного лекційного заняття.	Протягом лекційного заняття	Google Meet
МФО2 Перевірка та оцінювання звітів про виконання лабораторних робіт.	Призначені для закріплення практичних знань та навичок, отриманих протягом поточного лабораторного заняття. Звіти засновані на матеріалі поточного лабораторного заняття.	Протягом лабораторного заняття	Google Meet
МФО3 Захист презентації	Призначені для закріплення теоретичних знань, отриманих при підготовці заздалегідь заданої теми. Протягом лекційного заняття. Питання засновані на матеріалах доповіді студента.	Протягом лекційного заняття	Google Meet

10.3 Методи підсумкового сумативного оцінювання

	Характеристика	Дедлайн, тижні	Зворотний зв'язок
МСО1 Звіт за результатами виконання лабораторних робіт	Сумативне оцінювання засвоєння практичного матеріалу та оволодіння практичними навичками по розробці, розрахунку та аналізу математичних моделей	Згідно графіку	Google Meet
МСО2 Захист презентації	Сумативне оцінювання рівня засвоєння лекційного матеріалу.	Згідно розкладу	Google Meet
МСО3 Проміжний модульний контроль	Сумативне оцінювання рівня засвоєння лекційного матеріалу.	Згідно розкладу	Google Meet
МСО4 Підсумковий контроль: екзамен	Сумативне оцінювання рівня засвоєння теоретичного та практичного матеріалу дисципліни.	Згідно розкладу	Google Meet

Контрольні заходи:

		Максимальна кількість балів	Можливість перескладання з метою підвищення оцінки
Семестр викладання		100 балів	
МСО1. Звіт за результатами виконання лабораторних робіт		20	
	4x5	20	Так
МСО2. Захист презентації		20	
		20	Ні
МСО3. Проміжний модульний контроль		20	
	2x10	20	Ні
МСО4. Підсумковий контроль: екзамен		40	
		40	Ні

Оцінювання протягом семестру проводиться у формі перевірки звітів за результатами виконання лабораторних робіт, захисту презентації (підготовка мультимедійних презентацій доповідей з запропонованого викладачем списку актуальних тем) та проміжних модульних контролів. Всі роботи повинні бути виконані самостійно. Форма підсумкового контролю – іспит, що проводиться у письмовій формі. Студент допускається до іспиту за умови виконання: не менше ніж 80% лабораторних робіт з дисципліни та отриманні позитивної оцінки за усіма заходами контролю.

11. Ресурсне забезпечення навчальної дисципліни

11.1 Засоби навчання

ЗН1	Мультимедіа, відео- і звуковідтворювальна, проєкційна апаратура (відеокамери, проєктори, екрани, смартдошки тощо)
ЗН2	Бібліотечні фонди
ЗН3	Прикладне програмне забезпечення (перелік конкретизується викладачем) Multisim, EWB

11.2 Інформаційне та навчально-методичне забезпечення

Основна література	
1	Моделювання схем в програмному середовищі Electronic Workbench : навч. посібник / О. О. Петрова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 128 с.
2	Бондаренко І. М. Моделювання в електроніці : навч. посібник для студентів спеціальностей 153 – Мікро- та наноелектроніка, 171 – Електроніка / І. М. Бондаренко, Л. І. Свідерська, О. В. Грицунов ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2020. – 163 с.

3	Методичні вказівки до самостійного вивчення окремих розділів курсу «Математичне моделювання в електроніці» Тема: Формалізація законів Ома і Киргофа в математичних моделях електронних систем для здобувачів вищої освіти другого (магіс-терського) рівня зі спеціальності 171 Електронік / Укладач:к.т.н., доц. Трикіло А.І.,-Кам'янське,: ДДТУ, 2023.- 26 с.
4	Амосов В.В., Сало В.М., Свірень М.О. Математичне моделювання процесів і машин : навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2022. – 218 с.: іл.
Допоміжна література	
1	Математичне моделювання: підручник / А.М. Самойленко, К.К. Кенжебаєв, О.М. Станжицький, Є.Ю. Таран. – К.: Наук. Думка, 2015. – 328 с.
2	Моделювання в електроніці: навчальний посібник / М74 К. В. Огородник, Б. П. Книш, П. М. Ратушний, О. О. Лазарев. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 116 с.
3	Оброблення сигналів на базі операційних підсилювачів. Схемотехніка. Розрахунки: Навч. посіб. / Сергій Олексійович Седов. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 132 с.
Інформаційні ресурси в Інтернеті	
1	Best Free electronics Circuit Simulation Software https://microcontrollerslab.com/circuit-simulation-software-free/
2	Crash Course Electronics and PCB Desing Learn Electronics and PCB Design from the Ground up with Altium Circuit Maker and Labcenter Proteus https://www.udemy.com/course/crash-course-electronics-and-pcb-design