



ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ-1

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

• Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	15 Автоматизація та приладобудування
Спеціальність	153 Мікро- та наносистемна техніка
Освітня програма	Електронні мікро- і наносистеми та технології
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	очна (денна)
Рік підготовки, семестр	II курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	5,5 кредитів ЄКТС (165 год.)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н, доц. Витязь Олег Олексійович, ovityaz-ee@ill.kpi.ua Лабораторні, практичні: к.т.н, доц. Саурова Тетяна Асадівна, saurowa-ee@ill.kpi.ua к.т.н, доц. Казміренко Віктор Анатолійович, vk-ee@ill.kpi.ua
Розміщення курсу	Igor Sikorsky Platform (Google Classroom, Moodle)

• Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Кредитний модуль «Теорія електронних кіл-1» є нормативним у циклі професійної підготовки.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів:

- навичок спрощення схемних моделей електронних кіл для розв'язання задач розрахунку та аналізу електронних схем;
- розуміння методики побудови, специфіки та властивостей основних математичних моделей електронних кіл та їх компонентів, які застосовуються для аналізу та проектування в електроніці;
- досвіду використання основних методів теорії електронних кіл для розв'язання різноманітних задач аналізу, синтезу та параметричної ідентифікації електронних кіл, схемні моделі яких є резистивними.

Предметом дисципліни є методи математичного моделювання резистивних лінійних та нелінійних електронних кіл та визначення їх характеристик та параметрів.

Дисципліна формує загальні та фахові компетентності:

ЗК1 – Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;

ЗК2 – Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності;

ЗК6 – Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;

ФК1 – Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки;

ФК3 – Здатність використовувати математичні принципи і методи для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки;

ФК5 – Здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у мікро- та наносистемній техніці за допомогою побудови і аналізу їх фізичних і математичних моделей.

Програмні результати навчання:

ПРН 2 Застосовувати знання і розуміння математичних методів для розв'язання теоретичних і прикладних задач мікро- та нано-системної техніки.

ПРН 14 Вміти засвоювати нові знання, прогресивні технології та інновації, знаходити нові нешаблонні рішення і засоби їх здійснення.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Кредитний модуль «Теорія електронних кіл-1» базується на таких дисциплінах як «Математичний аналіз», «Аналітична геометрія», «Фізика», «Інженерна та комп'ютерна графіка», «Інформатика», «Обчислювальна математика». Кредитний модуль «Теорія електронних кіл-1» є базовим для вивчення інших навчальних дисциплін, таких як: "Теорія сигналів", "Функціональна електроніка", "Схемотехніка", «Основи конструювання в електроніці»; використовується для розв'язування задач курсового та дипломного проектування.

3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин			
	Всього	у тому числі		
		Лекції	Практичні (семінарські)	Лабораторні (комп'ютерні практикуми)

1	2	3	4	5	6
Тема 1 Основні положення	12	4	2	4	2
Тема 2. Лінійні резистивні схеми	19	8	3	4	4
Тема 3. Вузловий метод	11	6	1		4
Тема 4. Системи з двома сторонами	18	8	2	4	4
Тема 5. Схеми з нелінійними двополюсниками	17	6	2	6	3
Тема 6. Схеми з багатополісними компонентами	18	10	2		4
Тема 7. Метод сигнальних графів	12	6	2		2
Тема 8. Гібридний метод	10	6			2

Контрольна робота 1	4		2		2
Контрольна робота 2	4		2		2
Разом	119	54	18	18	29
Розрахунково-графічна робота	26				26
Залік	20				20
Всього годин	165	54	18	18	75

4. Навчальні матеріали та ресурси

Рекомендована література

Базова

1. Мандзій Б.А., Писаренко Л.Д., Стахів П.Г. Основи теорії електронних кіл: (друге видання: доопрацьоване і доповнене) – К.: НТУУ "КПІ", 2013.- 416 с.
2. Витязь О.О., Саурова Т.А., Тимофеев В.І. Теорія електронних кіл: Резистивні схеми [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 104 с.
3. Витязь О.О., Тимофеев В.І., Саурова Т.А. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Теорія електронних кіл», частина 2 «Реактивні схеми».– К.: НТУУ«КПІ», 2015. – 98 с.

Додаткова

4. Осадчук О. В. , Звягін О. С., Теорія електричних кіл і сигналів. ч. 1. Навчальний посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 153 с.
5. www.everycircuit.com

• Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекції
Назва теми лекції та перелік основних питань
<p><u>Тема 1.1. Основні положення.</u></p> <p>Лекція 1. Електричні та електронні кола. Електричні сигнали. Компоненти електронних кіл. Ідеальні двополюсники. Схемна модель кола. Топологічна модель кола.</p> <p>Лекція 2. Топологічні рівняння та їх узагальнення. Кола з зосередженими параметрами. Повна система рівнянь. Принцип дуальності.</p> <p><u>Тема 1.2. Лінійні резистивні схеми</u></p> <p>Лекція 3. Еквівалентні перетворення схем. Послідовно-паралельні схеми. Дільник струму. Дільник напруги. Схеми з потенціометром.</p> <p>Лекція 4. Перетворення "зірка-трикутник". Перетворення "трикутник-зірка". Перетворення схем з ідеальними джерелами.</p> <p>Лекція 5. Перетворення реальних джерел. Схемні моделі резистивних двополюсників. Теорема про еквівалентне джерело.</p>

Лекція 6.

Метод суперпозиції. Теорема компенсації. Узгоджене навантаження. Дуальні величини та поняття

Тема 1.3. Вузловий метод

Лекція 7.

Структурна матриця. Зв'язок вектора полюсних напруг з вектором вузлових напруг. Теорема про баланс потужностей (теорема Телегена).

Лекція 8.

Матричний метод укладання вузлових рівнянь. Прямий метод запису матрично-векторних параметрів вузлової моделі.

Лекція 9.

Врахування ідеального джерела напруги у вузловій моделі. Сумарні алгебраїчні доповнення. Визначення параметрів еквівалентних джерел через вузлову модель. Розширення і скорочення вузлової моделі.

Тема 1.4. Системи з двома сторонами

Лекція 10.

Системи з двома сторонами. Математична модель системи з двома сторонами. Зв'язок між параметрами системи з двома сторонами. Експериментальне визначення параметрів системи.

Лекція 11.

Врівноважений чотириполюсник. Схемні функції. Обчислення параметрів системи. Визначення схемних функцій по матриці провідності внутрішньої частини системи.

Лекція 12.

Прохідна система. Схемні функції прохідної системи. Визначення імпедансів системи з двома сторонами.

Лекція 13.

Логарифмічні одиниці. Властивість взаємності. Ознака симетрії. Вимірювальний міст. Системи з багатьма входами.

Тема 1.5. Схеми з нелінійним двополюсником

Лекція 14.

Характеристики і параметри нелінійних резистивних двополюсників. Типи нелінійних двополюсників. Режими роботи нелінійних схем (статичний, квазілінійний, нелінійний). Нелінійний опір в режимі великого сигналу.

Лекція 15.

Еквівалентні перетворення паралельно - послідовних нелінійних схем. Модель нелінійного опору в квазілінійному режимі. Кусково-лінійні моделі нелінійних двополюсників.

Лекція 16.

Ідеальний діод. Схемні моделі нелінійних ідеальних двополюсників на основі ідеального діода. Графо-аналітичний метод. Застосування метода Ньютона-Рафсона для аналізу схем з нелінійним двополюсником.

Тема 1.6. Схеми з багатополіусними компонентами

Лекція 17.

Рівняння і параметри узагальненого лінійного трьохполюсника. Вимірювання

параметрів трьохполюсника. Визначення параметрів трьохполюсника через його матрицю провідності.

Лекція 18.

Урахування трьохполюсника у вузловій моделі. Схемні моделі зворотнього і незворотнього трьохполюсника. Типи залежних джерел. Моделі з двома залежними джерелами.

Лекція 19.

Урахування в вузловій моделі залежних джерел чотирьох типів. Нелінійні трьохполюсники. Вхідні та вихідні характеристики.

Лекція 20.

Лінеаризовані моделі нелінійного трьохполюсника. Визначення динамічних параметрів трьохполюсника. Обчислення номіналів кола зміщення робочої точки транзистора.

Лекція 21.

Лінійні моделі операційного підсилювача. Урахування досконалого і ідеального операційного підсилювача у вузловій моделі. Схеми з операційними підсилювачами.

Тема 1.7. Метод сигнальних графів

Лекція 22.

Сигнальний граф. Причинно-наслідкові залежності. Передача графа. Еквівалентні перетворення сигнальних графів.

Лекція 23.

Визначення передачі сигнального графа за формулою Мезона. Заміна джерела. Інверсія графа.

Лекція 24.

Нормалізований сигнальний граф схеми. Нормалізований сигнальний граф системи з двома сторонами. Сигнальні графи багатополюсних компонентів.

Тема 1.8. Гібридний метод

Лекція 25.

Нелінійні схеми як системи з багатьма сторонами. Залежні та незалежні електричні змінні. Гібридні рівняння системи. Вимірювання гібридних параметрів системи. Обчислення гібридних параметрів системи.

Лекція 26.

Алгоритм укладання гібридної моделі. Числовий аналіз гібридної моделі.

Лекція 27.

Лінеаризація гібридної моделі. Аналіз кусково-лінійної гібридної моделі.

№ з/п	Практичні заняття Назва теми заняття та перелік основних питань
1.	Фізичні основи теорії електричних та електронних кіл. Основні електрофізичні величини і співвідношення. Закони Кірхгофа та їх узагальнення. Повна система рівнянь.
2.	Еквівалентні перетворення схем. Метод суперпозиції. Схемні моделі лінійних двополюсників. Вимірювання параметрів схемних моделей двополюсника. Баланс потужності.
3.	Прямий метод укладання вузлової моделі. Аналіз вузлової моделі. Визначення параметрів еквівалентних джерел вузловим методом. Аналіз схем з ідеальними

	джерелами напруги вузловим методом.
4.	Вимірювання параметрів системи з двома сторонами. Обчислення параметрів і схемних функцій системи з двома сторонами. Визначення схемних функцій через матрицю провідності системи з двома сторонами.
5.	Графо-аналітичний метод. Числове визначення координат робочої точки нелінійного опору. Кусково-лінійна апроксимація вольт-амперної характеристики нелінійного опору.
6.	Урахування триполюсника у вузловій моделі. Аналіз схем із залежними джерелами вузловим методом. Аналіз схем з операційними підсилювачами.
7.	Аналіз схем методом сигнальних графів. Єквівалентні перетворення сигнального графа. Застосування формули Мезона. Заміна джерела сигнального графа.

Лабораторні роботи виконуються у вигляді комп'ютерного практикуму із застосуванням ліцензійного симулятора EveryCircuit компанії MuseMaze (США) для перевірки теоретичних положень дисципліни, для визначення характеристик і параметрів електричних та електронних кіл, з'ясування причин можливих розбіжностей між теоретичними і практичними результатами, закріплення навичок роботи з вимірювальними приладами та іншим допоміжним обладнанням.

№ з/п	Комп'ютерний лабораторний практикум у симуляторі EveryCircuit	Кількість ауд. годин
1	Основні закони електричних кіл	4
2	Дослідження властивостей резистивного двополюсника	4
3	Системи з двома сторонами	4
4	Нелінійний двополюсник	6

6. Самостійна робота студента

На самостійну роботу студента відводиться 75 годин, розподіл яких наведений у розділі 3, які витрачаються на підготовку до практичних занять, модульних контрольних робіт, лабораторних робіт та обробку результатів лабораторних вимірювань.

Для якісного вивчення дисципліни передбачено виконання індивідуального семестрового завдання у формі розрахунково-графічної роботи (РГР). Мета РГР: отримання навичок застосування основних методів теорії електронних кіл для розв'язання задач розрахунку характеристик та параметрів резистивних електронних кіл у статичному, динамічному режимах та режимі малого сигналу, виконання практичних розрахунків та аналізу отриманих результатів.

Методичні матеріали розміщуються у Google Classroom та в електронному кампусі НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

• Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог:

- відвідування лекційних, практичних та лабораторних занять є обов'язковим;

- для виконання лабораторної роботи надається протокол, в якому зазначена назва та мета лабораторної роботи, накреслена схема досліджуваного кола, виконане домашнє завдання, накреслені таблиці та координатні осі для внесення вимірних даних та побудови графіків, відповідно;
- для захисту лабораторної роботи надається протокол лабораторної роботи, який має містити таблиці з вимірними величинами, побудовані графіки, виконані обчислення, висновки щодо досягнення поставленої мети, відповідності отриманих результатів теоретичним положенням та опис причин можливих розбіжностей;
- індивідуальні завдання (РГР) виконуються по пунктах, які подаються на перевірку впродовж семестрв за графіком, призначеним викладачем;
- невчасне виконання кожного пункта призводить до зниження оцінки на 1 бал за тиждень запізнення;
- можливі помилки в індивідуальних завданнях, поданих на перевірку до встановленого терміну, можуть бути виправлені без зниження оцінки;
- студент має можливість впевнитись у правильності отриманих результатів за допомогою симулятора EveryCircuit, для використання якого надана відповідна ліцензія (www.everycircuit.com)
- усі роботи мають виконуватися самостійно після засвоєння відповідного теоретичного матеріалу згідно з правилами академічної доброчесності.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання

Поточний контроль: експрес-опитування, опитування за темою практичного заняття, дві модульні контрольні роботи (МКР), поточна перевірка виконання заданих пунктів розрахунково-графічної роботи.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Позитивну атестацію отримують студенти, які набрали не менше 50% балів, від максимально можливих на момент календарного контролю.

Семестровий контроль: залік.

Стартовий рейтинг R_c складається з балів, що отримуються за:

- 2 модульні контрольні роботи $\tilde{r}_1 = 2 \times 5 = 10$ балів;
- 4 лабораторні роботи $\tilde{r}_2 = 4 \times 5 = 20$ балів;
- розрахунково-графічну роботу $\tilde{r}_3 = 30$.

Система оцінювання модульної контрольної роботи:

- ✓ “відмінно”, повністю виконане завдання з обґрунтуванням дій – 5 балів;
- ✓ “добре”, завдання виконане правильно, є неточності, необґрунтовано виконані дії – 4 бали;
- ✓ “задовільно”, завдання виконане не до кінця, є несуттєві помилки – 3 бали.
- ✓ “незадовільно”, завдання виконане невірно, є грубі помилки, відповідь не отримана – 2-1 бал.

Система оцінювання лабораторної роботи:

- ✓ “відмінно”, повністю виконана програма лабораторної роботи, результати вимірювання оброблені, акуратно оформлений протокол, зроблені висновки

щодо досягнення мети лабораторної роботи, надано відповіді на контрольні запитання – 5 балів;

- ✓ “ добре ”, повністю виконана програма лабораторної роботи, результати вимірювання оброблені з деякими помилками або недбало, протокол оформлений та зроблені висновки щодо досягнення мети лабораторної роботи, надано відповіді на контрольні запитання – 4 бали;
- ✓ “ задовільно ”, повністю виконана програма лабораторної роботи, не всі вимірювання або обчислення зроблені вірно, не всі висновки правильні, не нада відповідь на деякі контрольні запитання – 3 бали.
- ✓ “ незадовільно ”, програма роботи виконана з грубими помилками, отримані результати невірні, зроблені невірні висновки, не надано відповіді на контрольні запитання – 2-1 бал.

Система оцінювання розрахунково-графічної роботи:

- ✓ повністю зроблені усі пункти роботи з необхідними коментарями, надана відповідь на контрольні запитання містить не менше 95% необхідної інформації – 26-30 балів;
- ✓ зроблені усі пункти роботи, не всі дії достатньо прокоментовані, надані відповіді на контрольні запитання в об'ємі не менше 85 % потрібної інформації – 21-25 балів;
- ✓ зроблені усі пункти роботи, допущені несуттєві помилки чи неточності, надано не менше 75% інформації у відповіді на контрольні запитання – 16-20 балів;
- ✓ усі пункти роботи виконані, але допущені помилки, робота оформлена недбало, надано не менше 65% потрібної інформації у відповіді на контрольні запитання – 11-15 балів.
- ✓ зроблені усі пункти роботи, допущені грубі помилки, у відповідях на контрольні запитання надано менше 60 % потрібної інформації – 1-10 балів.

Умови допуску до семестрового контролю: виконані усі лабораторні роботи, модульні контрольні роботи, розрахунково-графічна робота та стартовий рейтинг R_c не менше 36 балів.

Максимальний рейтинг R :

Максимальна сума балів стартової складової дорівнює $R_c = 60$. На заліку студент має можливість набрати 40 балів. Максимальний рейтинг R обчислюється наступним чином:

$$R_c \leq \sum_{k=1}^3 \tilde{r}_k = 10+20+30 = 60 \text{ балів};$$

$$R_3 \leq 40 \text{ балів};$$

$$R = R_c + R_3 = 100;$$

На заліку студент готує відповідь у письмовій формі. Завдання складається з теоретичного питання і задачі. Перелік теоретичних питань наводиться на початку семестру в електронному Кампусі та Google Classroom.

Система оцінювання залікового завдання:

- “відмінно”, повна відповідь (надано не менше 95 % потрібної інформації) – $R_3=36-40$ балів;
- “ дуже добре ”, достатньо повна відповідь (надано не менше 85 % потрібної інформації) – $R_3 =31-35$ балів;

- “ добре ” , недостатньо повна відповідь (надано не менше 75 % потрібної інформації) – $R_3 = 26-30$ балів;
- “ задовільно ” , неповна відповідь (надано не менше 65 % потрібної інформації та допущені деякі помилки) – $R_3 = 21-25$ балів.
- “ достатньо ” , неповна відповідь (надано не менше 60 % потрібної інформації та допущені суттєві помилки) – $R_3 = 16-20$ балів.
- “ незадовільно ” , неповна відповідь (надано менше 60 % потрібної інформації) – $R_3 = 1-15$ балів.

Для отримання студентом відповідної семестрової оцінки його рейтинг R має бути:

<i>Кількість балів R</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Виробники сучасної техніки у різних галузях з метою підтримання високого рівня конкурентоздатності на ринку вимушені регулярно оновлювати модельний ряд своєї продукції, підвищуючи її технічні характеристики та функціональні можливості. Розробка у стислі терміни сучасних електронних пристроїв, наприклад, мобільних телефонів, комп'ютерів, засобів медичної діагностики, мікросхем та інших електронних приладів, з яких вони комплектуються, неможлива без використання систем автоматизованого проектування. Такі системи поєднують швидкодію обчислювальної техніки з можливостями обчислювальної математики і дозволяють інженеру довести проєкт до стадії виробництва, працюючи на своєму комп'ютеризованому робочому місці. Освіта фахівців, які розробляють та використовують системи автоматизованого проектування у приладобудуванні, потребує декількох невід'ємних складників, одним з яких є теорія електронних кіл.

Теорія електронних кіл викладається на кафедрі електронної інженерії у рамках програми підготовки бакалаврів за спеціальністю 153 Мікро- та наносистемна техніка та складається з трьох модулів. Її об'єм складає 12 кредитів. Дисципліна викладається на другому курсі у третьому та четвертому семестрах. Третій семестр завершується заліком, а четвертий – екзаменом з дисципліни та захистом курсової роботи. Базовими знаннями для успішного освоєння дисципліни є знання з математичного аналізу та таких розділів фізики як електрика і магнетизм. Студенту надаються всі необхідні методичні матеріали та консультації досвідчених викладачів. Оволодівши теорією електронних кіл, студент стає на тверде підґрунтя для здобуття вищої освіти у галузі мікро- та наносистемної техніки.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри електронної інженерії, к.т.н, доц. Витязем О.О.

Ухвалено кафедрою електронної інженерії (протокол № 31 від 21 червня 2023 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 06/2023 від 29 червня 2023 р.)