



## ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ-2

### 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, весняний семестр
Обсяг дисципліни	6 кредитів ЄКТС (180 год)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	екзамен
Розклад занять	<a href="http://rozklad.kpi.ua">http://rozklad.kpi.ua</a>
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н, доц. Витязь Олег Олексійович, <a href="mailto:ovityaz-ee@iill.kpi.ua">ovityaz-ee@iill.kpi.ua</a> Лабораторні, практичні: к.т.н, доц. Саурова Тетяна Асадівна, <a href="mailto:saurowa-ee@iill.kpi.ua">saurowa-ee@iill.kpi.ua</a> к.т.н, доц. Казміренко Віктор Анатолійович, <a href="mailto:vk-ee@iill.kpi.ua">vk-ee@iill.kpi.ua</a>
Розміщення курсу	Igor Sikorsky Platform (Google Classroom, Moodle)

#### • Програма навчальної дисципліни

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

Кредитний модуль «Терія електронних кіл-2» є нормативним у циклі професійної підготовки.

Метою кредитного модуля є формування у студентів здатностей:

- математичного моделювання та аналізу електричних процесів в електронних колах;
- обчислення параметрів схемних моделей електронних компонентів;
- обчислення полюсних струмів та напруг в електронних схемах;
- визначення схемних функцій, характеристик схем та сигналів у часовій та частотній областях;
- перевірки результатів, отриманих теоретично, експериментальними методами;
- використання основних методів теорії електронних кіл для розв'язання різноманітних задач аналізу, синтезу та параметричної ідентифікації електронних кіл, схемні моделі яких є резистивно-реактивними.

Предметом дисципліни є методи математичного моделювання лінійних та нелінійних електронних кіл у часовій та частотній областях та їх застосування для автоматизації проектування мікро- та наносистемної техніки.

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 наносистемної 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'ютерний практикум)	СРС
1	2	3	4	5	6
Тема 1 Реактивні схеми першого порядку	20	8	2	4	6
Тема 2. Реактивні схеми довільного порядку	16	8	2		6
Тема 3. Аналіз періодичних режимів	23	10	2	4	7
Тема 4. Спектральний аналіз сигналів	14	6	2		6
Тема 5. Частотні характеристики схеми	16	4	2	4	6

Тема 6. Операторний метод	15	6	2		7
Тема 7. Кореляційний аналіз сигналів	12	4	2		6
Тема 8. Зворотній зв'язок	20	8	2	6	4
Модульна контрольна робота 1	4		1		3
Модульна контрольна робота 2	4		1		3
Разом	144	54	18	18	54
Екзамен	36				36
<b>Всього годин</b>	<b>180</b>	<b>54</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>90</b>

#### 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., Тимофєєв 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.
3. Витязь О.О., Саурова Т.А., Тимофєєв 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.
4. Теорія електронних кіл: Електричний резонанс [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» усіх спеціалізацій / О.О. Витязь ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 0,76 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 44 с.

###### Додаткова

5. Осадчук О. В. , Звягін О. С., Теорія електричних кіл і сигналів. ч. 1. Навчальний посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 153 с.
6. [www.everycircuit.com](http://www.everycircuit.com)

#### • Навчальний контент

#### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

<b>Лекції</b>
Назва теми лекції та перелік основних питань
<p><u>Тема 2.1. Реактивні схеми першого порядку</u></p> <p>Лекція 1. Реактивні двополюсники. Властивості реактивних двополюсників. Схеми з реактивними двополюсниками. Заряд ємності з нульовими початковими умовами. Енергетичні характеристики заряду ємності.</p> <p>Лекція 2. Розряд ємності. Енергетичні характеристики розряду ємності. Перехідні процеси в ємності з ненульовими початковими умовами. Початковий, перехідний, кінцевий, усталений стан. Вільний та примусовий режими. Реактивні системи першого порядку.</p>

### Лекція 3.

Одиничний ступінчатий сигнал та його властивості. Перехідна характеристика. Лінійні стаціонарні системи. Інтеграл Дюамеля. Одиничний імпульсний сигнал та його властивості. Імпульсна характеристика. Визчення реакції на довільний сигнал за інтегралом-згортокою. Схемні моделі реактивних двополюсників з ненульовими початковими умовами.

### Тема 2.2. Реактивні схеми довільного порядку.

#### Лекція 4.

Рівняння змінних стану. Аналітичний розв'язок рівнянь змінних стану. Незалежні топологічні рівняння. Складання рівнянь змінних стану. Топологічні виродження.

#### Лекція 5.

Фундаментальна матриця  $e^{At}$ . Вільний режим. Стійкість реактивних систем за Ляпуновим. Алгебраїчний критерій стійкості Рауса-Гурвіца. Вимушений режим.

#### Лекція 6.

Матрична імпульсна характеристика. Матрична перехідна характеристика. Числова апроксимація розв'язку рівнянь змінних стану.

### Тема 2.3. Аналіз періодичних режимів.

#### Лекція 6.

Гармонічний сигнал та його параметри. Гармонічний сигнал у найпростіших двополюсниках. Потужність при дії гармонічного сигналу.

#### Лекція 7.

Символічне зображення гармонічного сигналу. Найпростіші двополюсники в області  $j\omega$ . Топологічні рівняння в області  $j\omega$ . Метод комплексних амплітуд.

#### Лекція 8.

Схемні моделі реактивних двополюсників. Узгоджене навантаження. Векторні діаграми. Комплексна потужність. Електричний резонанс.

#### Лекція 9.

Повітряний трансформатор. Схемні функції повітряного трансформатора. Досконалий і ідеальний трансформатори. Періодичні негармонічні впливи.

### Тема 2.4. Спектральний аналіз сигналів.

#### Лекція 9.

Спектральна густина сигналу. Властивості спектральної густини сигналу. Подвійність прямого і зворотного перетворення Фур'є. Спектральні густини особливих сигналів.

#### Лекція 10.

Зв'язок між довжиною прямокутного імпульсу та шириною спектральної густини амплітуд. Енергетичні характеристики. Рівність Парсевалю. Спектральна густина енергії сигналу.

#### Лекція 11.

Енергетичні характеристики прямокутного імпульсу. Модульовані сигнали. Дискретизація сигналів. Теорема Котельникова. Ряд Котельникова.

## Тема 2.5. Частотні характеристики схеми.

### Лекція 11.

Схемні моделі компонентів у частотній області. Вузлова модель схеми у частотній області. Визначення частотних характеристик. Зв'язок між часовими і частотними характеристиками. Параметри частотних характеристик. Частотні характеристики ідеальної системи.

### Лекція 12.

Ідеальний низькочастотний фільтр. Імпульсна характеристика ідеального низькочастотного фільтру. Перехідна характеристика ідеального низькочастотного фільтру.

### Лекція 13.

Реакція ідеального низькочастотного фільтру на ідеальний прямокутний імпульс. Частотні характеристики послідовного коливального контуру.

## Тема 2.6. Операторний метод.

### Лекція 13.

Перетворення Лапласа та його властивості. Топологічні рівняння в операторній області. Операторні компонентні рівняння. Операторні схемні моделі. Вузлова модель схеми в операторній області. Аналіз перехідних процесів операторним методом.

### Лекція 14.

Операторні схемні функції. Нулі і полюси схемних функцій. Визначення оригіналу за теоремою лишків Карта нулів і полюсів.

### Лекція 15.

Визначення часових характеристик за картою нулів і полюсів. Визначення частотних характеристик за картою нулів і полюсів. Рівняння змінних стану в операторній формі. Алгоритм Фадєєва. Матричні операторні схемні функції.

## Тема 2.7. Кореляційний аналіз сигналів.

### Лекція 15.

Автокореляційна функція. Властивості автокореляційної функції. Зв'язок автокореляційної функції зі спектральною густиною енергії сигналу.

### Лекція 16.

Взаємно-кореляційна функція. Властивості взаємно-кореляційної функції. Зв'язок взаємно-кореляційної функції з спектральною густиною взаємної енергії сигналів.

## Тема 2.8. Зворотний зв'язок.

### Лекція 16.

Принцип зворотного зв'язку. Рівняння зворотного зв'язку. Зворотна різниця та зворотне відношення. Типи зворотного зв'язку. Генерування електричних коливань.

### Лекція 17.

Вплив зворотного зв'язку на стабільність передачі системи. Вплив зворотного зв'язку на частотні характеристики. Визначення типу зворотного зв'язку за частотними характеристикам. Еквівалентне навантаження. Каскадна модель петлі зворотного зв'язку.

### Лекція 18.

Вплив зворотного зв'язку на стійкість системи. Структурні схеми систем зі зворотнім зв'язком. Вплив зворотного зв'язку на вхідний імпеданс системи. Синтез генератора

гармонічних коливань.

### Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять полягають у набутті практичних навичок застосування теорії електронних кіл

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1.	Аналіз схем першого порядку при комутації ключа. Реакція реактивної схеми на сигнал довільної форми.
2.	Укладання рівнянь змінних стану гібридним методом. Укладання рівнянь змінних стану топологічним методом.
3.	Стійкість системи. Матричні часові характеристики системи.
4.	Метод комплексних амплітуд. Спектри періодичних сигналів
5.	Визначення впливу навантаження на параметри коливального контуру.
6.	Спектральні характеристики одиночних сигналів. Енергетичні характеристики сигналів.
7.	Визначення та аналіз частотних характеристик схеми.
8.	Операторний метод. Визначення часових та частотних характеристик операторним методом.
9.	Синтез генератора гармонічних коливань

### Лабораторні заняття

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	Часові характеристики лінійних реактивних кіл	4
2	Дослідження одиночного коливального контуру	4
3	Частотні характеристики пасивних фільтрів	4
4	Генерування електричних коливань	6

#### 6. Самостійна робота студента

На самостійну роботу студента відводиться 90 годин, розподіл яких наведений у розділі 3, які витрачаються на підготовку до практичних занять, модульних контрольних робіт, лабораторних робіт та обробку результатів лабораторних вимірювань.

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

## 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;
- студент має можливість впевнитись у правильності отриманих результатів за допомогою симулятора EveryCircuit, для використання якого надана відповідна ліцензія ([www.everycircuit.com](http://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 (PCO)

Поточний контроль: експрес-опитування за темою практичного заняття, дві модульні контрольні роботи (МКР), захист лабораторних робіт.

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

Семестровий контроль: екзамен.

Стартовий рейтинг  $R_c$  складається з балів, що отримуються за:

- 2 модульні контрольні роботи  $\tilde{r}_1 = 2 \times 10 = 20$  балів;
- 4 лабораторні роботи  $\tilde{r}_2 = 4 \times 10 = 40$  балів.

Система оцінювання модульної контрольної роботи:

- ✓ “відмінно”, повністю виконане завдання з обґрунтуванням дій – 10-9 балів;
- ✓ “добре”, завдання виконане правильно, є неточності, необґрунтовано виконані дії – 8-7 балів;
- ✓ “задовільно”, завдання виконане не до кінця, є несуттєві помилки – 6-5 балів.
- ✓ “незадовільно”, завдання виконане невірно, є деякі вірні кроки, відповідь не отримана – 4-1 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 – 10-9 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 – 8-7 балів;

- ✓ “ задовільно ” , повністю виконана програма лабораторної роботи, не всі вимірювання або обчислення зроблені вірно, не всі висновки правильні, не нада відповідь на деякі контрольні запитання – 6-5 балів.
- ✓ “ незадовільно ” , програма роботи виконана не повністю, отримані результати з помилками, зроблені невірні висновки, не надано відповіді на контрольні запитання – 4-1 бал.

Умови допуску до семестрового контролю: виконані усі лабораторні роботи, написані модульні контрольні роботи та стартовий рейтинг  $R_c$  не менше 36 балів.

**Максимальний рейтинг  $R$ :**

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

$$R_c = \tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 = 20+40 = 60 \text{ балів};$$

$$R_3 = 40 \text{ балів};$$

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

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

**Система оцінювання відповіді на екзамені:**

- “ 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:

Кількість балів $R$	Оцінка
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 комплектуються електронні системи, неможлива без використання систем автоматизованого проектування. Такі системи поєднують швидкодію обчислювальної техніки з можливостями обчислювальної математики і дозволяють інженеру довести проект 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 складових, однією 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 12,5 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 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- і 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.)