



ТЕОРІЯ НЕЛІНІЙНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА МАГНІТНИХ КІЛ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (освітньо-науковий)
Галузь знань	14 Електрична інженерія
Спеціальність	141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма	«Енергетичний менеджмент, електропостачання та інжиніринг електротехнічних комплексів»
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	I курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	135 годин / 4,5 кредити ECTS (36 год. – лекцій, 18 год. – практичних занять, 81 год. – самостійна робота)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік/МКР/РР
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: докт. техн. наук, проф. Денисюк Сергій Петрович, spdens@ukr.net ; +38(050) 440-69-89 (Telegram) - у робочі години. Практичні заняття: докт. техн. наук, проф. Денисюк Сергій Петрович, spdens@ukr.net ; +38(050) 440-69-89 (Telegram) - у робочі години. Консультації: щовівторка, 16:00-17:00
Розміщення курсу	://classroom.google.com/c/NjI4MTgyNzc4MTM2?cjc=xtfhaxx

Програма навчальної дисципліни

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

Силабус навчальної дисципліни «Теорія нелінійних електричних і магнітних кіл» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки магістрів з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Мета навчальної дисципліни – опанування дисципліни є надання здобувачам, що проходять підготовку за другим магістерським рівнем вищої освіти, достатній обсяг теоретичних знань та практичних вмінь та навичок в області теорії нелінійних електричних і магнітних кіл та методів дослідження електромагнітних процесів.

Предмет навчальної дисципліни – формування у магістрантів компетенцій в області теорії нелінійних електричних і магнітних кіл та методів дослідження електромагнітних процесів.

Програмні результати навчання:

Загальні компетентності (ЗК): (ЗК1) Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу; (ЗК2) Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; (ЗК3) здатність до використання інформаційних і комунікаційних технологій; (ЗК4) Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях; (ЗК6) Здатність приймати обґрунтовані рішення

Фахові компетентності (ФК): (ФК4) Здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для використання в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці; (ФК10) Здатність демонструвати обізнаність з питань інтелектуальної власності та контрактів в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

Програмні результати навчання (ПРН): (ПРН5) Аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексах і системах; (ПРН7) Володіти методами математичного та фізичного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах у сфері інтелектуальних мереж та систем; (ПРН11) Обґрунтовувати вибір напрямку та методику наукового дослідження з урахуванням сучасних проблем в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки; (ПРН20) Виявляти основні чинники та технічні проблеми, що можуть заважати впровадженню сучасних методів керування електроенергетичними, електротехнічними та електромеханічними системами.

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

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти «Іноземною мовою для наукової діяльності», оскільки значна частина новітніх технологій описується в науковій літературі англійською мовою. Компетенції, знання, уміння та досвід, одержані в процесі вивчення кредитного модуля є необхідними для подальшого вивчення дисциплін «Математичне моделювання систем і процесів в енергетиці», а також для якісного виконання наукових досліджень за темою дисертації.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Базові характеристики теорії нелінійних електричних і магнітних кіл.

Тема 1. Загальна характеристика нелінійних електричних і магнітних кіл.

Загальна фізична основа завдань теорії електромагнітного поля та теорії електричних та магнітних ланцюгів.

Тема 2. Опис енергетичних процесів. Дисипативні та консервативні процеси. Обмінні процеси. Складові втрат енергії.

Розділ 2. Енергетичні характеристики та показники.

Тема 3. Баланс складових енергії в системах з нелінійними елементами. Енергетично-незмінні стани.

Тема 4. Оцінка ефективності процесів в системах з нелінійними елементами. Оцінка спотворень сигналів, обумовлених нелінійними елементами.

Тема 5. Генерація вищих гармонік струму в системах з вентильними перетворювачами електроенергії (пристроями силової електроніки) та нелінійними навантаженнями.

Розділ 3. Аналіз нелінійних електричних кіл при постійному та змінному струмі.

Тема 6. Аналіз нелінійних електричних кіл при постійному струмі.

Тема 7. Особливості побудови моделей та аналізу складних нелінійних електричних кіл при змінному струмі. Кусково-лінійні системи.

Тема 8. Розрахунок нелінійних кіл з вентильними елементами.

Розділ 4. Аналіз магнітних кіл при постійному та змінному струмі.

Тема 9. Нелінійні інерційні елементи. Характеристики та параметри.

Тема 10. Магнітні кола постійного струму. Особливості побудови та аналізу.

Тема 11. Магнітні кола змінного струму. Особливості побудови та аналізу.

Тема 12. Обертове магнітне поле.

Тема 13. Трансформатор з феромагнітним осердям. Керовані індуктивні елементи нелінійного кола.

Розділ 5. Моніторинг та діагностика параметрів нелінійних та магнітних кіл.

Тема 14. Моніторинг та діагностика параметрів нелінійних та магнітних кіл.

Розділ 6. Електротеплова аналогія. Теорія подібності.

Тема 15. Електротеплова аналогія. Теорія подібності.

Розділ 7. Чисельні методи аналізу. Комп'ютерне моделювання систем.

Тема 16. Чисельні методи аналізу.

Тема 17. Комп'ютерне моделювання систем з нелінійними елементами, зокрема, кусочно-лінійних систем

Розділ 8. Перспективи розвитку теорії та сфер застосування нелінійних та магнітних кіл.

Тема 18. Перспективи розвитку теорії та сфер застосування нелінійних та магнітних кіл.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Теорія електричних і магнітних кіл: Підручник / С. В. Панченко, О. М. Ананьєва, М. М. Бабаєв та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 246 с.
2. Гуржій А.М., Мещанінов С.К., Нельга А.Т., Співак В.М. Електротехніка та основи електроніки : Підручник. - Київ: «Літера ЛТД», 2020. - 288 с
3. Елементи теорії поля : навч. посібник / В. В. Бізюк ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 76 с
4. Хілов В.С. Теоретичні основи електротехніки: Дніпро: Національний технічний університет “Дніпровська політехніка”, 2021.- 433 с
5. Теоретичні основи електротехніки. Перехідні процеси в лінійних колах. Синтез лінійних кіл. Електричні та магнітні нелінійні кола : підручник / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук та ін.; за ред. проф. Ю. О. Карпова. – Стереотип, вид. – Херсон : ОЛДІ–ПЛЮС, 2019. – 456 с.

Додаткова література

(факультативно / ознайомлення)

6. Теоретичні основи електротехніки: підручник. Т. 2. Перехідні процеси у лінійних електричних колах, нелінійні електричні та магнітні кола. / за заг. ред. І. М. Чиженка, В. С. Бойко. - К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2008. – 224 с.
7. 2. Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами. – К.: Текст, 2010. – 264 с.
8. Кириленко О.В., Жуйков В.Я., Денисюк С.П., Рибіна О.Б. Системи силової електроніки та методи їх аналізу. – К.: Текст, 2006. – 488 с.
9. Булашенко А. В. Теорія електричних та магнітних кіл: навч. посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – 398 с.
10. Основи теорії електронних кіл: підручник / Ю.Я. Бобало, Б.А. Мандзій, П.Г. Стахів, Л.Д. Писаренко, Ю.І. Якименко / за ред. проф. Ю.Я. Бобала. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2008. – 332 с.
11. Математичні моделі та методи аналізу електронних кіл: навч. посібник / Ю.Я. Бобало, Р.І. Желяк, М.Д. Кіселичник, З.О. Колодій, Б.А. Мандзій, В.М. Якубенко; за ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.Я. Бобала та д-ра техн. наук, проф. Б.А. Мандзія. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 320 с.
12. Теоретичні основи електротехніки: Конспект лекцій з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки». Частина 1. / Уклад.: Є.А. Кудря, Л.Ю. Спінул, під ред. А.А. Щерби. – К.: Політехніка, 2012. – 150 с.
13. Форкун Я. Б. Конспект лекцій з курсу «Теорія електричних та магнітних кіл» (для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології) / Я. Б. Форкун, М. Л. Глебова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, – 2017. – 124 с.
14. Денисюк С.П. Аналіз та оптимізація енергопроцесів у розосереджених електроенергетичних системах // Технічна електродинаміка. – 2016. – № 4. – С. 62–64.

15. Теорія електричних кіл. Методичні вказівки до виконання курсової роботи для студентів напрямів підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи», всіх форм навчання / Уклад.: В.Я. Ромашко, Л.М. Батрак. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 38 с.
16. Теоретичні основи електротехніки: Конспект лекцій з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки». Частина 2. / Уклад.: Є.А. Кудря Є.А., Л.Ю. Спінул, М.А. Щерба. – К.: Політехніка, 2013. – 176 с.
17. Теорія електричних та магнітних кіл: конспект лекцій у п'яти частинах. Частина 5 / Укладач А.В. Булашенко. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 157с.
18. Теорія електричних та магнітних кіл: конспект лекцій у п'яти частинах. Частина 2. Складні лінійні та нелінійні електричні кола / Укладач А.В. Булашенко. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 175 с.
19. Шидловська Н.А. Аналіз нелінійних електричних кіл методом малого параметру. – К.: Видавництво «Євроіндекс», 1999. – 192 с.
20. Шидловська Н.А. Порівняльний аналіз аналітичного та чисельного методів розрахунку процесів у нелінійному електричному колі / Н.А. Шидловська, О.П. Кравченко, В.Г. Самойленко, І.М. Кучерява // Техн. електродинаміка. – 2009. – № 1. – С. 3–6.
21. Шидловська Н.А. Аналіз нелінійного кола за допомогою методу усереднення Боголюбова / Н.А. Шидловська, О.П. Кравченко, В.Г. Самойленко // Доповіді НАНУ. – 2006. – № 6. – С. 88–92.
22. Види комутації та енергетичні характеристики в електричних колах з ключовими елементами / Хворост М.В., Гончаров Ю.П., Панасенко М.В., Замаруєв В.В. та ін. // Електротехніка і Електромеханіка. – 2005. – №4. – С. 67–72.

Інформаційні ресурси

1. Перелік сайтів у сфері теоретичної електротехніки. – Режим доступу: <https://www.electrical4u.net/useful-information/top-10-electrical-website-for-electrical-engineering-students/>
2. Науково-прикладний журнал «Технічна електродинаміка» (входить до наукометричної бази Scopus). – Режим доступу: <http://techned.org.ua/>
3. Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія». – Режим доступу: <http://energy.kpi.ua/>
4. Національна бібліотека України імені В.І.Вернадського. – Режим доступу: <http://www.nbuv.gov.ua/>

Літературу, бібліографія якої подана із посиланням, можна знайти в інтернеті. Літературу, бібліографія якої не містить посилання, можна знайти в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Обов'язковим для прочитання є окремі розділи базової літератури [1]-[5]. Розділи базової літератури, що є обов'язковими для прочитання, а також зв'язок цих ресурсів з конкретними темами дисципліни наводиться нижче, в методиці опанування навчальної дисципліни. Усі інші літературні джерела є факультативними, з ними рекомендується ознайомитись.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Навчальна дисципліна охоплює 36 годин лекцій та 18 годин практичних занять, а також виконання модульної контрольної роботи (МКР), яка складається з двох частин (за темами) тривалістю 1 акад. год. Кожна та розрахункової роботи (РР).

Практичні заняття з дисципліни проводяться з метою закріплення теоретичних положень навчальної дисципліни і набуття студентами умінь і досвіду оперувати сучасними поняттями в області теорії нелінійних електричних і магнітних кіл. Виходячи з розподілу часу на вивчення дисципліни, рекомендується дев'ять практичних занять.

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
Розділ 1. Базові характеристики теорії нелінійних електричних і магнітних кіл	
1	<p>Тема 1. Загальна характеристика нелінійних електричних і магнітних кіл. Основні поняття та закони теорії електричних магнітних ланцюгів. Загальна фізична основа завдань теорії електромагнітного поля та теорії електричних та магнітних ланцюгів. Заряджені елементарні частинки та електромагнітне поле як особливі види матерії. Зв'язок між електричними та магнітними явищами. Електричне та магнітне поле як дві сторони єдиного електричного поля. (самостійне вивчення)</p> <p>Характеристика нелінійних електричних та магнітних елементів. Особливості побудови та функціонування нелінійних електричних і магнітних кіл. Вищі гармоніки. Вольт-амперна характеристика. Моделі нелінійних та магнітних елементів та систем: нелінійні, параметричні, залежні від часу, у т.ч. детерміновані та стохастичні, різкозмінні; їх параметри, конфігурація систем. Типи моделей: планарні та тривимірні моделі. Моделі керованих та некерованих вентильних елементів. Функціональні моделі вентильних елементів. Ключові моделі вентилів. S- та R-моделі вентильних елементів.</p> <p>Літературні джерела: [1 – 3]</p>
2	<p>Тема 2. Опис енергетичних процесів. Дисипативні та консервативні процеси. Обмінні процеси. Складові втрат енергії.</p> <p>Дисипативні та консервативні процеси. Коефіцієнт потужності при живленні нелінійного кола від джерела синусоїдальної напруги. Складові втрат енергії. Реактивна потужність Фризе Q_{Φ}, переваги застосування, модифікації реактивної потужності Фризе. Обмінні процеси. Обмінна потужність $Q_{об}$, переваги застосування, типи обмінної потужності, аналіз взаємного впливу. Обмінна потужність $Q_{об}$ в системах з магнітними елементами.</p> <p>Літературні джерела: [1 – 3]</p>
Розділ 2. Енергетичні характеристики та показники	
3	<p>Тема 3. Баланс складових енергії в системах з нелійними елементами. Енергетично-незмінні стани.</p> <p>Типи балансів. Баланс на основі миттєвих процесів. Баланс інтегральних характеристик на основі ортогонального розвитку. Теорема Телледжена. Баланс на основі обмінних процесів, енергетично незмінні стани. Алгоритми підведення балансу.</p> <p>Літературні джерела: [3]</p>
4	<p>Тема 4. Оцінка ефективності процесів в системах з нелійними елементами. Оцінка спотворень сигналів, обумовлених нелійними елементами.</p> <p>Ефективність процесів. Критерії оцінки. Система оцінки ефективності енергетичних процесів. Показники оцінки спотворень сигналів.</p> <p>Літературні джерела: [2, 3]</p>
5	<p>Тема лекції 5. Генерація вищих гармонік струму в системах з вентильними перетворювачами електроенергії (пристроями силової електроніки) та нелійними навантаженнями.</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
	<p>Технологічні установки як джерела вищих гармонік. Коефіцієнт нелінійних спотворень (КНС, THD), коефіцієнт гармонічних спотворень (КГС, Кг, THDr). Якість електроенергії та її вплив на електроспоживання і надійність роботи електроустаткування. Якість електричної енергії – стандарти та нормативи. Оцінка впливу вищих гармонік на роботу електрообладнання (довідково).</p> <p>Літературні джерела: [1,2,5]</p>
Розділ 3. Аналіз нелінійних електричних кіл при постійному та змінному струмі	
6	<p>Тема 6. Аналіз нелінійних електричних кіл при постійному струмі. Розрахунок нелінійних електричних кіл при постійному струмі. Послідовне, паралельне та змішане з'єднання ділянок електричного кола, які містять нелінійні елементи та не містять джерела ЕРС. Послідовне, паралельне та змішане з'єднання ділянок електричного кола, що містять нелінійні елементи та джерела ЕРС.</p> <p>Літературні джерела: [1,4,5-4]</p>
7	<p>Тема 7. Особливості побудови моделей та аналізу складних нелінійних електричних кіл при змінному струмі. Кусково-лінійні системи. Макромоделі та макромодельовання. Діакоптика (декомпозиція), редукція, масштабованість. Схемні моделі. Метод підсхем. Кусково-лінійна апроксимація характеристик нелінійних елементів. Особливості формування та опис кусково-лінійних систем. Аналітичний, чисельний, чисельно-аналітичний, графічний (як основи чисельних методів вирішення нелінійних та диференціальних рівнянь) методи аналізу. Розрахунок процесів у колі методом поєднання інтервалів при кусково-лінійній апроксимації характеристик нелінійних елементів.</p> <p>Літературні джерела: [2,3]</p>
8	<p>Тема 8. Розрахунок нелінійних кіл з вентильними елементами. Розрахунок нелінійних кіл з вентильними елементами при випрямленні змінного струму та перетворенні постійного струму на змінний. Рівні ідеалізації схемних моделей. Загальна характеристика методів аналізу процесів у перетворювачах електроенергії. Методи аналізу перетворювачів електроенергії постійної та змінної структури. Розрахунок перетворювачів електроенергії класичними методами. Методи розрахунку схем перетворювачів зі співпадаючими періодами роботи генератора та навантаження.</p> <p>Літературні джерела: [1,3]</p>
Розділ 4. Аналіз магнітних кіл при постійному та змінному струмі.	
9	<p>Тема 9. Нелінійні інерційні елементи. Характеристики та параметри. Джерела ЕРС та джерела струму з нелійними характеристиками. Нелінійні властивості феромагнітних матеріалів. Нелінійні характеристики та параметри котушки із осердям з феромагнітного матеріалу. Конденсатори з нелінійною характеристикою.</p> <p>Літературні джерела: [1,4,5]</p>
10	<p>Тема 10. Магнітні кола постійного струму. Особливості побудови та аналізу. Закони та параметри магнітних кіл. Розрахунок магнітного кола з</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
	<p>послідовним з'єднанням елементів. Розрахунок розгалужених магнітних кіл. Розрахунок постійних магнітів. Розрахунок магнітних кіл з постійними магнітами.</p> <p>Літературні джерела: [1,4,5]</p>
11	<p>Тема 11. Магнітні кола змінного струму. Особливості побудови та аналізу. Форми кривих струму, магнітного потоку та ЕРС у котушці з феромагнітним осердям. Втрати в осердях з феромагнітного матеріалу. Еквівалентні синусоїди та залежність між потокозчепленням і струмом. Рівняння, векторна діаграма та еквівалентна схема котушки з феромагнітним осердям. Комплексний магнітний опір магнітного кола.</p> <p>Літературні джерела: [1,4,5]</p>
12	<p>Тема 12. Обертове магнітне поле. Загальна характеристика обертового магнітного поля. Формування магнітного поля. Обертове магнітне поле. Визначення послідовності фаз. Асинхронний двигун. Синхронний електродвигун.</p> <p>Літературні джерела: [1,4,5]</p>
13	<p>Тема 13. Трансформатор з феромагнітним осердям. Керовані індуктивні елементи нелінійного кола. Взаємна індуктивність в електричних колах. Магнітні властивості феромагнетиків. Ферорезонанс в нелінійних колах. Трансформатор з феромагнітним осердям. Приведений трансформатор. Магнітний підсилювач. Феромагнітні стабілізатори напруги.</p> <p>Літературні джерела: [1,4,5].</p>
Розділ 5. Моніторинг та діагностика параметрів нелінійних та магнітних кіл	
14	<p>Тема 14. Моніторинг та діагностика параметрів нелінійних та магнітних кіл. Сучасні бізнес-моделі функціонування мікромереж (Microgrid) на основі нелінійних та магнітних кіл. Особливості моніторингових задач локальних електроенергетичних та електротехнічних систем. Техніко-економічні характеристики функціонування локальних електроенергетичних систем. Оцінка особливостей основних завдань та процедур моніторингу в електроенергетиці. Організація систем WAMS та технології синхрофазора. Система моніторингу Microgrid.</p> <p>Літературні джерела: [2,3].</p>
Розділ 6. Електротеплова аналогія. Теорія подібності	
15	<p>Тема 15. Електротеплова аналогія Теорія подібності. Метод аналогій. Електричні аналоги теплових величин. Аналіз систем з використанням електротеплової аналогії. Основні положення теорії подібності. Критерії подібності. Аналіз кіл з використанням критеріїв подібності.</p> <p>Подібність структур та режимів роботи перетворювачів електроенергії. Основні складові системного аналізу нелінійних кіл. Основні положення та задачі теорії подібності. Теореми та критерії подібності. Визначення критеріїв подібності. Особливості використання теорії подібності для аналізу структур та режимів роботи перетворювачів електроенергії. (самостійне вивчення).</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
	Літературні джерела: [2,3]
Розділ 7. Чисельні методи аналізу. Комп'ютерне моделювання систем	
16	<p>Тема 16. Чисельні методи аналізу. Чисельні моделі. Різницеві методи розв'язання рівнянь; вибір бази змінних; вибір чисельних методів вирішення диференціальних рівнянь; вибір кроку інтегрування; розріженості матриць, їх переконфігурація; перехідні та усталені процеси; стійкість методу; стійкість виходу на усталений режим; методи розв'язання жорстких задач; обробка результатів (Парето, регресія, верифікація даних, точність). Коректні та некоректні умови комутації реактивних елементів (комутації ключових елементів). Вибір h-кроку інтегрування: розгін та сповільнення кроку інтегрування; вибір сценарію інтегрування жорстких систем. Літературні джерела: [1–3]</p>
17	<p>Тема 17. Комп'ютерне моделювання систем з нелінійними елементами, зокрема, кусочно-лінійних систем Стратегії комп'ютерного моделювання нелінійних та магнітних кіл: вибір методу (алгоритму) інтегрування електромагнітних процесів; поєднання розрахунку процесів у силових схемах та системах керування (контроль стану вентиля, реконфігурація системи рівнянь тощо). Оцінка складності алгоритмів і обчислень. Поєднання в програмних засобах аналізу, електричних та теплових процесів, аналіз механічних конструкцій та масо-габаритних показників. Розрахунки в режимі он-лайн та оф-лайн. Літературні джерела: [1–3]</p>
Розділ 6. Перспективи розвитку теорії та сфер застосування нелінійних та магнітних кіл	
18	<p>Тема 18. Перспективи розвитку теорії та сфер застосування нелінійних та магнітних кіл. Значення нелінійних електричних та магнітних кіл у сучасній електроенергетиці. Розвиток теорії нелінійних та магнітних кіл. Практичне застосування нелінійних елементів, зокрема, генераторів. Перспективні сфери застосування нелінійних та магнітних кіл. Магнетизм в промисловості, прикладне застосування. Літературні джерела: [1–3]</p>

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1	<p>Практичне заняття №1. Розклад в ряди Фур'є складних функцій нелінійних сигналів. Апроксимація характеристик нелінійних елементів. Характеристики нелінійних електричних та магнітних елементів. Особливості побудови та функціонування нелінійних електричних і магнітних кіл. Вищі гармоніки струму та напруги. Розклад в гармонічні ряди Фур'є складних функцій нелінійних сигналів. Апроксимація характеристик нелінійних елементів. Літературні джерела: [1, 2, 5]</p>

№ з/п	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
2	<p>Практичне заняття №2. Особливості використання моделей нелінійних елементів</p> <p>Області прийнятності використання моделей (моделі керованих та некерованих вентильних нелінійних елементів; функціональні моделі вентильних елементів; ключові моделі вентилів), точність, некоректні умови комутації, точність апроксимації.</p> <p>Літературні джерела: [1, 3, 4]</p>
3	<p>Практичне заняття №3. Вищі гармоніки в системах електроживлення та електротехнологіях з нелінійними елементами.</p> <p>Технологічні установки як джерела вищих гармонік. Коефіцієнт нелінійних спотворень (КНС, THD), коефіцієнт гармонічних спотворень (КГС, Кг, THDr). Якість електроенергії та її вплив на електроспоживання і надійність роботи електроустаткування. Якість електричної енергії – стандарти та нормативи. Оцінка впливу вищих гармонік на роботу електрообладнання.</p> <p>Літературні джерела: [1 – 3, 5]</p>
4	<p>Практичне заняття №4. Графо-аналітичний метод аналізу нелінійних кіл. Метод Папалексі. Побудова різницевих схем параметрів генератора та навантаження.</p> <p>Аналітичний, чисельний, чисельно-аналітичний, графічний (як основи чисельних методів вирішення нелінійних та диференціальних рівнянь) методи аналізу. Розрахунок процесів у колі методом поєднання інтервалів при кусково-лінійній апроксимації характеристик нелінійних елементів. Побудова різницевих схем параметрів генератора та навантаження.</p> <p>Літературні джерела: [1, 3]</p>
5	<p>Практичне заняття №5. Кусочно-лінійні системи нелінійних елементів. Модульна контрольна № 1.</p> <p>Загальна характеристика методів аналізу процесів у кусочно-лінійних системах нелінійних елементів (перетворювачах електроенергії). Методи аналізу перетворювачів електроенергії постійної та змінної структури. Розрахунок перетворювачів електроенергії класичними методами.</p> <p>Літературні джерела: [1, 3]</p>
6	<p>Практичне заняття №6. Розрахунок процесів в магнітних колах постійного струму.</p> <p>Закони та параметри магнітних кіл постійного струму. Розрахунок магнітного кола з послідовним з'єднанням елементів. Розрахунок розгалужених магнітних кіл. Розрахунок постійних магнітів. Розрахунок магнітних кіл з постійними магнітами.</p> <p>Літературні джерела: [1, 2, 4, 5]</p>
7	<p>Практичне заняття №7. Розрахунок процесів в магнітних колах змінного струму.</p> <p>Аналіз форм кривих струму, магнітного потоку та ЕРС у котушці з ферромагнітним осердям. Втрати в осердях з ферромагнітного матеріалу. Еквівалентні синусоїди та залежність між потокозчепленням і струмом. Рівняння, векторна діаграма та еквівалентна схема котушки з ферромагнітним осердям. Комплексний магнітний опір магнітного кола.</p> <p>Літературні джерела: [1, 4, 5]</p>
8	<p>Практичне заняття №8. Електротеплова аналогія. Модульна контрольна № 2.</p>

№ з/п	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
	Метод аналогій. Електричні аналоги теплових величин. Аналіз систем з використанням електротеплової аналогії. Основні положення теорії подібності. Критерії подібності. Аналіз кіл з використанням критеріїв подібності. Літературні джерела: [1, 3, 5]
9	Практичне заняття №9. Комп'ютерне моделювання нелінійних та магнітних кіл. Алгоритми комп'ютерного моделювання нелінійних та магнітних кіл: вибір методу (алгоритму) інтегрування електромагнітних процесів; поєднання розрахунку процесів у силових схемах та системах керування (контроль стану вентиля, реконфігурація системи рівнянь тощо). Оцінка складності алгоритмів і обчислень. Поєднання в програмних засобах аналізу, електричних та теплових процесів, аналіз механічних конструкцій та масо-габаритних показників. Розрахунки в режимі он-лайн та оф-лайн. Літературні джерела: [1, 2, 5]

Розрахункова робота

У якості індивідуального завдання студенти виконують розрахункову роботу (РР), метою якої є закріплення студентами практичних знань з аналізу енергетичних процесів в колах з нелінійними, нестационарними елементами. Передбачено виконання п'яти взаємопов'язаних завдань: № 1 «Розрахунок інтегральних характеристик енергетичних процесів»; № 2 «Виділення активного $i_A(t)$ та реактивного $i_P(t)$ струмів в перетинах кола»; № 3 «Складові додаткових втрат, обумовлені різними факторами неякісності електроенергії»; № 4 «Аналіз складових додаткових втрат електроенергії на довільному інтервалі»; № 5 «Аналіз режимів споживання реактивної потужності на довільному інтервалі».

Самостійна робота студента

Самостійна робота студента (СРС) є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від навчальних занять час і включає: опрацювання навчального матеріалу, підготовку до аудиторних занять, виконання домашніх завдань, виконання розрахункової роботи, до виконання МКР і заліку.

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	36
2	Тема Д1. Розклад в ряди Фур'є складних функцій нелінійних сигналів. Апроксимація характеристик нелінійних елементів	4
3	Тема Д2. Особливості використання моделей нелінійних елементів	4
4	Тема Д3. Вищі гармоніки в системах електроживлення та електротехнологіях з нелінійними елементами	3
5	Тема Д4. Графо-аналітичний метод аналізу нелінійних кіл. Метод Папалексі. Побудова різницевої схем параметрів генератора та навантаження	4
6	Тема Д5. Розрахунок процесів в магнітних колах постійного струму	3
7	Тема Д6. Розрахунок процесів в магнітних колах змінного струму	3
8	Виконання розрахункової роботи	14

9	Підготовка до МКР	4
10	Підготовка до заліку	6

Контрольні роботи

Метою контрольних робіт є закріплення та перевірка теоретичних знань із кредитного модуля, набуття студентами практичних навичок самостійного вирішення задач.

Одна модульна контрольна робота (МКР) розбивається на дві контрольні роботи тривалістю в одну годину кожна. Кожен студент отримує індивідуальне завдання, на яке необхідно надати письмові відповіді. Перша контрольна робота проводиться після вивчення тем за №№ 1 – 8 і присвячена теорії нелінійних кіл. Друга контрольна робота проводиться після вивчення тем за №№ 9–13 і присвячена теорії магнітних кіл.

Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- **Правила відвідування занять:** Відвідування занять є складовою вивчення матеріалу. Рейтинг студента формується через активну участь на практичних заняттях, а саме у вирішенні практичних завдань та індивідуальної домашньої роботи. Відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях.

На момент проведення кожного заняття, як лекційного, так і практичного, у студента на пристрої, з якого він працює, має бути встановлено додаток Zoot (у випадку дистанційного навчання), а також відкрито курс «Теорія нелінійних електричних і магнітних кіл» на платформі «Сікорський» (код доступу до курсу надається на першому занятті згідно з розкладом). Силабус; лекційний матеріал; практикум; завдання до кожного практичного заняття; варіанти модульної контрольної роботи; перелік питань до залікової роботи розміщено на платформі «Сікорський» та у системі «Електронний Кампус КПІ».

- **Правила поведінки на заняттях:** Студенти мають дотримуватись правил поведінки на заняттях, відповідно до Положення про організацію освітнього процесу в КПІ ім. Ігоря Сікорського (<https://kpi.ua/regulations>) та Принципів академічної доброчесності або морально-етичних норм поведінки (<https://kpi.ua/academicintegrity>), відповідно до нормативно-правових документів Університету і Правил навчання і поведінки в «КПІ» ім. Ігоря Сікорського», що представлені на сайті Університету та за посиланням: <https://pbf.kpi.ua/ua/2017/09/04/rules/>. У разі порушення правил поведінки на заняттях, відповідно до Положення про організацію освітнього процесу в КПІ ім. Ігоря Сікорського, Принципів академічної доброчесності або морально-етичних норм поведінки, невиконанні умов допуску до семестрового контролю, термінів виконання завдань з неповажних причин, студенту може бути виставлено оцінку: «Усунено». На лекції викладач користується власним презентаційним матеріалом; використовує Google Клас для викладання матеріалу поточної лекції, додаткових ресурсів та інше; викладач відкриває доступ до певної директорії Google Класу для надсилання відповідей на МКР. Студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в Інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача.

- **Модульні контрольні роботи** пишуться на практичних заняттях без застосування допоміжних засобів (мобільні телефони, планшети та ін.); результат пересилається у файлі до відповідної директорії Google Класу. Якщо контрольні заходи (захист РР + залік) пропущені з поважних причин (хвороба або вагомі життєві обставини), студенту надається можливість додатково скласти контрольне завдання протягом найближчого тижня.

- **Заохочувальні бали** виставляються за: активну участь на лекціях; підготовка оглядів наукових праць; презентацій по одній із тем СРС дисципліни тощо. Заохочувальні та штрафні бали не входять до основної шкали РСО, а їх сума не перевищує 10% від максимальної кількості балів. Загальна сума заохочувальних балів не може перевищувати 10 балів. Заохочувальні бали нараховують за участь у наукових конференціях, студентських конкурсах та олімпіадах, за написання статті та її публікацію. За написання статті та її публікацію студенту нараховується 10 балів (видання, що входить до Scopus або Web of Science) або 8 балів (фахове видання України). За публікацію тез доповіді на науковій конференції – 5 балів.

- **Штрафні бали** не виставляються.

- **Політика дедлайнів та перескладань** формується відповідно до затвердженого графіку навчального процесу в Університеті (<https://kpi.ua/year>) та Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського (https://kpi.ua/document_control). Графік дедлайнів та перескладань з навчальної дисципліни представлено в Електронному кампусі (<https://ecampus.kpi.ua/>) та в деканаті інституту. Політика дедлайнів та перескладань: кожен студент зобов'язаний дотримуватися термінів виконання завдань у межах розкладу проведення аудиторних занять з дисципліни. Обов'язковими контрольними заходами до семестрового контролю є захист РР та написання МКР. Студент, що з поважної причини (лікарняний, академічна мобільність тощо) не написав МКР, має право зробити це під час регулярних консультацій викладача згідно розкладу.

- **Політика щодо академічної доброчесності:** Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, у тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Теорія нелінійних та магнітних кіл». Студенти, що вивчають дану дисципліну, зобов'язані дотримуватися положень прийнятого в університеті Кодексу честі. Політика щодо академічної доброчесності здобувачами передбачає, зокрема: самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового, контролю результатів навчання (для осіб з особливими освітніми потребами ця вимога застосовується з урахуванням їхніх індивідуальних потреб і можливостей); посилання на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей; дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права; надання достовірної інформації про результати власної (наукової, творчої) діяльності, використанні методики досліджень і джерела інформації.

- **При використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем** (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соціальних мережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема, бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

- **Інклюзивне навчання.** Засвоєння знань та умінь в ході вивчення дисципліни може бути доступним для більшості осіб з особливими освітніми потребами, окрім здобувачів з серйозними вадами зору, які не дозволяють виконувати завдання за допомогою персональних комп'ютерів, ноутбуків та/або інших технічних засобів.

- **Навчання іноземною мовою.** У ході виконання завдань студентам може бути рекомендовано звернутися до англомовних джерел.

7. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Поточний контроль: виконання завдань до практичних занять, РР та МКР.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: виконання завдань до практичних занять, РР та МКР та поточний рейтинг 60 балів і більше.

Загальна рейтингова оцінка студента після завершення семестру складається з балів, отриманих за:

- виконання завдань до практичних занять;
- виконання та захист розрахункової роботи;
- виконання модульних контрольних робіт (МКР);
- виконання додаткових завдань (заохочувальні бали; не входять в загальний рейтинг).

Практичні заняття	Розрахункова робота	МКР 1	МКР 2
30	42	16	12

Практичні заняття

Ваговий бал – 5. Максимальна кількість балів за всі практичні заняття – 5 бали * 6 занять = 30 балів.

На практичних заняттях студенти разом із викладачем розв'язують завдання за тематикою практичного заняття. Після кожного практичного заняття (крім практичних занять, на яких студенти виконують МКР, та останнього, студенти отримують домашнє завдання, яке необхідно вирішити та надати на перевірку викладачу до початку наступного заняття (зазвичай це 2 тижні, однак іноді цей час може бути змінений викладачем у деяких конкретних випадках).

Критерії оцінювання

- домашнє завдання вирішено вірно та здано протягом 2-х тижнів після практичного заняття – 4,5-5 бали;
- домашнє завдання вирішено вірно, але здано протягом більш ніж 2-х тижнів після практичного заняття – 3,5-4 бал;
- домашнє завдання вирішено із незначними помилками та здано протягом 2-х тижнів після практичного заняття – 2,5-3 бали;
- домашнє завдання вирішено із незначними помилками та здано протягом більш ніж 2-х тижнів після практичного заняття – 2 бали;
- домашнє завдання вирішено із значними помилками – повертається на доопрацювання.

Розрахункова робота

Ваговий бал – 42.

Розрахункова робота (РР) оформлюється та здається у визначений лектором термін.

До захисту на максимальний бал допускаються студенти, які у визначений викладачем термін виконали РР та оформили її у відповідності до встановлених вимог. При здачі РР на перевірку після встановленого терміну максимальний бал за захист РР зменшується вдвічі. Захист РР складається з двох етапів: усний та письмовий. Під час усного захисту викладач задає питання по змістовній частині РР для визначення у студента рівня знать теоретичної частини та його розуміння методів вирішення завдань. Після успішного усного захисту студент отримує письмове завдання, яке він повинен вирішити за визначений час. Час, необхідний для його вирішення, зазвичай складає 30 хвилин, але може бути змінений викладачем, що приймає РР. Кожному студенту надається одна спроба для вирішення задачі.

Критерії оцінювання усного етапу РР:

- своєчасна здача роботи, розуміння представленого матеріалу, повні відповіді на запитання до захисту – 24-30 балів;
- своєчасна здача роботи, розуміння представленого матеріалу, відповіді на запитання до захисту з деякими неточностями – 16-23 балів;

- своєчасна задача роботи, не повне розуміння представленого матеріалу, відповіді на запитання до захисту з деякими неточностями – 8-15 балів.
- своєчасна задача роботи, не повне розуміння представленого матеріалу, відповіді на запитання до захисту з значними неточностями – 1-7 балів.
- робота виконана, але студент взагалі не орієнтується у матеріалі/робота виконана із значними помилками – на доопрацювання.

Критерії оцінювання письмового етапу РР:

- задача вирішена вірно з несуттєвими помилками – 10-12 балів;
- задача вирішена частково та (або) із деякими помилками – 5-9 балів;
- задача майже не вирішена, або вирішена із суттєвими помилками – 1-4 балів.
- задача взагалі не вирішена – 0 балів*

* У випадку отримання 0 балів за письмовий етап РР студент має право попросити у викладача, що приймає РР додаткову спробу, проте при цьому максимальний бал за письмовий етап зменшується вдвічі.

Модульна контрольна робота

Ваговий бал за одну МКР – 16 балів, а другу МКР – 12 балів. Максимальний бал за 2 МКР складає 28 бали.

Критерії оцінювання

На першій модульній контрольній роботі студент має виконати 4 завдання. Завдання оцінюються від 0 до 4 балів в залежності від правильності вирішення. На другій модульній контрольній роботі студент виконує 3 завдання. Завдання оцінюються від 0 до 4 балів в залежності від правильності вирішення. Критерії оцінки кожного завдання:

- повна відповідь – 4 бали;
- достатньо повна відповідь з незначними помилками - 3 бали;
- неповна, але на високому рівні відповідь – 2,5 бали;
- відповідь на задовільному рівні – 2 бали;
- достатня відповідь – 1 бал.

Календарний контроль базується на поточній рейтинговій оцінці. Умовою позитивної атестації є значення поточного рейтингу студента не менше 50% від максимально можливого на час атестації.

Додаткові (бонусні) бали

Рейтинговою системою оцінювання передбачені додаткові бали за виконання додаткових завдань. Один студент не може отримати більше ніж 10 бонусних балів у семестрі. При отриманні більш ніж 10 балів, вони обмежуються на рівні 10. Бонусні бали можуть бути отримані за такі види робіт: «Івенти», «Додаткові лекції» та «Завдання до лекцій».

Івенти. Івенти - це спеціальні події для студентів, які хочуть отримати додаткові бали за вирішення ускладнених завдань. Івенти активуються у визначений час і активні обмежений час. Додаткові бали отримують тільки ті студенти, які надали правильну відповідь вчасно її завантажили. Кількість балів за додаткові завдання визначає кожен івент окремо. Один студент не може отримати більш ніж 10 балів за івенти.

Додаткові лекції. Самостійна робота студентів передбачає до 10 додаткових лекцій, які студенти повинні опрацювати та законспектувати. За опрацювання однієї лекції вигляді у конспекту нараховується 1 бал. Максимальна кількість балів, що можна отримати за опрацювання додаткових лекцій складає 5 балів.

Завдання до лекцій. Студенти, за бажанням, можуть виконувати додаткові завдання за матеріалами лекцій (розв'язати приклад, зробити схему тощо). За одне додаткове завдання

нараховується 0,5 бали. Максимальна кількість балів, що можна отримати за завдання до лекцій складає 5 балів.

Форма семестрового контролю – залік

Максимальна сума балів складає 100. Необхідною умовою допуску до заліку є зараховані обидві частини РР та здані усі завдання до практичних занять. Для отримання заліку з навчальної дисципліни «автоматом» потрібно мати рейтинг не менше 60 балів, а також виконані умови допуску до заліку.

Студенти, які наприкінці семестру мають рейтинг менше 60 балів, а також ті, хто хоче підвищити свою оцінку в системі ECTS, виконують залікову контрольну роботу. При цьому набрані бали студентом анулюються, а оцінка за залікову контрольну роботу є остаточною.

Залікова робота. Залікова робота проводиться на останньому лекційному занятті. Студент проходить тестування. На тестування пропонується 100 тестових, кожне з яких оцінюється в 1 бал. Для отримання позитивної оцінки необхідно набрати 60 балів і вище. Час тестування зазвичай складає 100 хвилин, але може бути скоригований лектором та (або) викладачем, що приймає залік.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	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

8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль:

1. Фізична характеристика нелінійних електричних та магнітних елементів.
2. Особливості побудови та функціонування нелінійних електричних і магнітних кіл. Вищі гармоніки.
3. Вольт-амперна характеристика. Планарні та тривимірні моделі.
4. Моделі нелінійних та магнітних елементів та систем: нелінійні, параметричні, залежні від часу, у т.ч. детерміновані та стохастичні, різкозмінні; їх параметри, конфігурація систем.
5. Типи моделей: діакоптика (декомпозиція), редукація, масштабованість.
6. Загальна фізична основа завдань теорії електричних і магнітних кіл та теорії електромагнітного поля.
7. Заряджені елементарні частинки та електромагнітне поле як особливі види матерії.
8. Зв'язок між електричними та магнітними явищами.
9. Електричне та магнітне поле як дві сторони єдиного електричного поля.
10. Властивості нелінійних електричних кіл. елементи електричного кола з нелійними опорами, їх параметри та характеристики. симетричні та несиметричні характеристики елементів з нелійними опорами.
11. Інерційні та безінерційні елементи з нелійними опорами.
12. Характеристики елементів з нелійними опорами, які дозволяють здійснити стабілізацію струму та напруги.
13. Параметри елементів нелінійних електричних кіл.
14. Напівпровідникові діоди як нелінійні елементи електричного кола.

15. Керовані нелінійні елементи. Іонний прилад з керуючим електродом, триелектродна електронна лампа як елемент електричного кола.
16. Керовані твердотільні нелінійні елементи. Напівпровідникові транзистори та тиристоры.
17. Апроксимація вольт-амперних характеристик.
18. Нелінійні властивості феромагнітних матеріалів.
19. Нелінійні характеристики та параметри котушки із осердям з феромагнітного матеріалу.
20. Конденсатори з нелінійною характеристикою.
21. Джерела ЕРС та джерела струму з нелійними характеристиками.
22. Розрахунок нелінійних електричних кіл при постійному струмі.
23. Послідовне, паралельне та змішане з'єднання ділянок електричного кола, що містять нелінійні елементи та джерела ЕРС.
24. Розрахунок складного електричного кола з одним, двома та трьома нелійними елементами.
25. Розрахунок складного нелінійного кола постійного струму чисельними методами.
26. Складання системи нелінійних рівнянь електричного кола постійного струму за умови забезпечення єдиного рішення.
27. Аналітичне дослідження особливих властивостей нелінійних електричних кіл постійного струму при малих відхиленнях від заданого режиму.
28. Закони та параметри магнітних кіл.
29. Розрахунок магнітного кола з послідовним з'єднанням елементів.
30. Розрахунок розгалужених магнітних кіл.
31. Розрахунок постійних магнітів.
32. Розрахунок магнітних кіл з постійними магнітами
33. Особливості періодичних процесів у електричних колах з інерційними та неінерційними нелійними елементами.
34. Форми кривих струму та напруги в нелінійних колах.
35. Особливості періодичних процесів у колах із безінерційними нелійними елементами.
36. Процеси та кола з індуктивним інерційним електромеханічним елементом.
37. Метод еквівалентних синусоїд.
38. Методи гармонійного балансу та кусково-лінійної апроксимації нелінійних характеристик.
39. Форми кривих струму, магнітного потоку та ЕРС у котушці з феромагнітним осердям.
40. Втрати в осердях з феромагнітного матеріалу.
41. Еквівалентні синусоїди та залежність між потокозчепленням і струмом.
42. Рівняння, векторна діаграма та еквівалентна схема котушки з феромагнітним осердям.
43. Комплексний магнітний опір магнітного кола.
44. Рівняння, векторна діаграма та еквівалентна схема трансформатора з феромагнітним осердям.
45. Графічний метод розрахунку, заснований на введенні еквівалентних синусоїд.
46. Метод гармонійного балансу для розрахунку періодичних процесів у нелінійних колах.
47. Нелінійні властивості феромагнітних матеріалів.
48. Котушка та трансформатор з феромагнітним осердям, явище ферорезонансу.
49. Явище ферорезонансу при послідовному та паралельному з'єднанні котушки з феромагнітним осердям та конденсатором.
50. Феромагнітні стабілізатори напруги. Феромагнітний підсилювач потужності.
51. Виділення вищих гармонік у нелінійних колах з метою перетворення частоти.
52. Збільшення частоти за допомогою феромагнітних елементів, засноване на виділенні гармонік нульової послідовності.
53. Макромоделі та макромодельовання.

54. Аналітичний, чисельний, чисельно-аналітичний, графічний (як основи чисельних методів вирішення нелінійних та диференціальних рівнянь) методи аналізу.

55. Розрахунок процесів у колі методом поєднання інтервалів при кусково-лінійній апроксимації характеристик нелінійних елементів.

56. Моделі вентильних елементів.

57. Розрахунок нелінійних кіл з вентильними елементами при випрямленні змінного струму та перетворенні постійного струму на змінний.

58. Конденсатори з нелійними характеристиками кола змінного струму.

59. Особливості коливальних процесів у нелінійних електричних колах.

60. Методи розрахунку перехідних процесів у нелінійних електричних колах.

61. Метод графічного інтегрування для розрахунку перехідного процесу в нелінійному колі.

62. Аналітичний метод розрахунку перехідних процесів, що ґрунтується на наближеному аналітичному представленні характеристик нелінійного елемента.

63. Метод послідовних інтервалів для розрахунку перехідних процесів у нелінійному колі.

64. Метод розрахунку перехідних процесів у нелінійному колі, що базується на умові лінеаризації рівнянь кола.

65. Дисипативні та консервативні процеси.

66. Коефіцієнт потужності при живленні нелінійного кола від джерела синусоїдальної напруги.

67. Складові втрат енергії. Реактивна потужність Фризе Q_F , переваги застосування, модифікації реактивної потужності Фризе.

68. Обмінні процеси. Обмінна потужність Q_{OB} , переваги застосування, типи обмінної потужності, аналіз взаємного впливу.

69. Обмінна потужність Q_{OB} в системах з магнітними елементами.

70. Аналіз показників якості електроенергії.

71. Принципи функціонування та основні характеристики системи моніторингу.

72. Моніторингове вимірювання параметрів нелінійних та магнітних кіл.

73. Системи діагностики параметрів нелінійних та магнітних кіл.

74. Апаратно-програмні комплекси моніторингу та діагностики.

75. Стратегії комп'ютерного моделювання нелінійних та магнітних кіл.

76. Поєднання розрахунку процесів у силових схемах та системах керування (контроль стану вентилля, реконфігурація системи рівнянь тощо). Оцінка складності алгоритмів і обчислень.

77. Коректні та некоректні умови комутації реактивних елементів (комутації ключових елементів).

78. Вибір h -кроку інтегрування: розгін та сповільнення кроку інтегрування; вибір сценарію інтегрування жорстких систем.

79. Поєднання в програмних засобах аналізу, електричних та теплових процесів, аналіз механічних конструкцій та масо-габаритних показників. Розрахунки в режимі он-лайн та оф-лайн.

80. Значення нелінійних електричних та магнітних кіл у сучасній електроенергетиці.

81. Розвиток нелінійних та магнітних кіл. Прикладне застосування.

82. Перспективні сфери застосування нелінійних та магнітних кіл. Прикладне застосування.

Здобувач вищої освіти має можливість пройти онлайн курс(и) за однією або декількома темами, передбаченими робочою програмою навчальної дисципліни. Онлайн курс здобувач може обрати самостійно або за рекомендацією викладача. 1 год прослуханого курсу оцінюється у 0,83 бали. Максимальна кількість годин, яка може бути зарахована за результатами неформальної освіти, становить 12 год, відповідно максимальна кількість балів за такі результати становить – 10 балів.

Для самостійного вивчення пропонуються відносно прості запитання, які носять у більшості випадків описовий характер, призначені для розширення кругозору студентів та повторення матеріалів, які вивчались у інших дисциплінах, та мають безпосереднє відношення до дисципліни.

Методи та форми навчання включають не лише традиційні університетські лекції та практичні заняття, а також елементи роботи в командах та групових дискусій. Застосовуються стратегії активного навчання, які визначаються такими методами та технологіями: методи проблемного навчання (дослідницький метод); особистісно-орієнтовані технології, засновані на таких формах і методах навчання як кейс-технологія і проектна технологія; візуалізація та інформаційно-комунікаційні технології, зокрема електронні презентації для лекційних занять. Комунікація з викладачем будується за допомогою використання інформаційної системи «Електронний кампус», платформи дистанційного навчання «Сікорський» на базі G Suite for Education, а також такими інструментами комунікації, як електронна пошта і Telegram. Під час навчання та для взаємодії зі студентами використовуються сучасні інформаційно-комунікаційні та мережеві технології для вирішення навчальних завдань.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: професором кафедри електропостачання, доктор. техн. наук, професор
Денисюк Сергій Петрович

Ухвалено на засіданні кафедри електропостачання (протокол № 21 від 7.06.2023 р.)

Погоджено Методичною комісією НН інституту енергозбереження та енергоменеджменту (протокол № 9 від 22.06.2023 р.)