

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Затверджую



Голова Приймальної комісії
Ректор

Михайло ЗГУРОВСЬКИЙ

25.04.2024р
дата

ПРОГРАМА
вступного іспиту із спеціальності

для вступу на освітньо-наукову програму підготовки доктора філософії
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Програму ухвалено:

Науково-методичною комісією за
спеціальністю 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

Протокол № 8

від «22» 04 2024 р.

Голова НМК

Олександр ЯНДУЛЬСЬКИЙ

I. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Вступний іспит на навчання для здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка» проводиться для вступників, які мають ступінь магістра*.

Освітньо-наукова програма «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка» відповідає місії та стратегії КПІ ім. Ігоря Сікорського, за якою стратегічним пріоритетом університету є фундаменталізація підготовки фахівців. Особливості освітньої програми враховано шляхом обрання відповідних розділів програми вступного іспиту. Проведення вступного іспиту має на меті визначити рівень підготовки вступника за вибраною для вступу спеціальністю.

Теоретичні питання до вступного іспиту можна поділити на дев'ять розділів:

1. Теоретична електротехніка.
2. Техніка сильних електричних та магнітних полів.
3. Електричні станції
4. Електричні системи та мережі
5. Управління, захист та автоматизація енергосистем
6. Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
7. Електричні машини і апарати
8. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії
9. Системи забезпечення споживачів електричною енергією, електротехнічні комплекси, електромеханічні системи, автоматизація електротехнічних та електротехнологічних комплексів, енергетичний менеджмент та енергоефективність.

Завдання до вступного іспиту із спеціальності складається з трьох теоретичних питань. До екзаменаційного білету включаються відповідно: перше запитання з першого розділу, друге і третє запитання з другого по дев'ятий розділи.

Вступний іспит зі спеціальності проводиться у формі усного екзамену. Тривалість підготовки вступника до відповіді становить 2 академічні години. У наступному розділі програми наведено лише ті теми з зазначених розділів, які стосуються виконання завдань вступного іспиту.

Інформація про правила прийому на навчання та вимоги до вступників за освітньою програмою «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка» наведено в розділі «Вступ до аспірантури» на веб-сторінці аспірантури та докторантури КПІ ім. Ігоря Сікорського за посиланням: <https://aspirantura.kpi.ua/>

*Відповідно до п.2 Розділу XV закону Про вищу освіту вища освіта за освітньо-кваліфікаційним рівнем спеціаліста прирівнюється до вищої освіти ступеня магістра.

II. ТЕМИ, ЩО ВІНОСЯТЬСЯ НА ВСТУПНИЙ ІСПИТ ІЗ СПЕЦІАЛЬНОСТІ

Розділ 1. Теоретична електротехніка

Тема 1.1. Основні поняття електромагнітного поля і електричних кіл

Загальна характеристика задач теорії електромагнітного поля та теорії електричних і магнітних кіл. Основні рівняння електромагнітного поля в інтегральній формі. Енергія, сили і механічні прояви електричного і магнітного полів. Основні параметри електричних і магнітних полів в інтегральній формі. Постановка задач автоматизованого проектування електротехнічних пристроїв.

Тема 1.2. Теорія лінійних електричних кіл

Електричні і електронні кола в системах передачі і перетворення енергії та інформації. Класифікація кіл і їх елементів. Двополюсники і багатополіусники. Керовані джерела. Індуктивно-зв'язані елементи. Графи і топологічні матриці електричних схем, топологічні рівняння. Закон Ома для узагальненої вітки, матричні компонентні рівняння. Вузлові і розширені вузлові рівняння, контурні рівняння. Чисельні методи розв'язку рівнянь кіл при ustalених режимах. Точні та ітераційні методи. Метод Гауса; розклад матриць на трикутні співмножники; чисельні методи обернення матриць. Умови збіжності ітераційних методів. Розрахунок вхідних і передаточних функцій в символічній формі. Топологічні методи аналізу. Сигнальні графи і їх застосування до аналізу електричних кіл.

Багатофазні кола. Розрахунок симетричних і несиметричних трифазних кіл. Метод симетричних складових.

Багатополіусники; матриці багатополіусників. Основні рівняння регулярних чотириполіусників. Характеристичні опори і коефіцієнт передачі. Заступні схеми взаємних і невзаємних чотириполіусників. З'єднання чотириполіусників. Чотириполіусники із зворотними зв'язками. Особливості формування рівнянь кіл із багатополіусними компонентами. Гібридні рівняння. Гіратори і конвертори опору.

Електричні кола з негармонічними напругами і струмами. Гармонічний аналіз періодичних функцій. Діюче значення і потужність. Сигнали і їх спектри. Спектральна густина. Перетворення сигналів лінійними системами. Елементи теорії фільтрів. Реактивні фільтри. Безіндукційні фільтри. Частотні характеристики і методи їх розрахунку.

Перехідні процеси в лінійних колах. Аналіз динамічних процесів в часовій області. Класичний метод. Особливості розрахунку при наявності ємнісних контурів та індуктивних перерізів. Складання та чисельні методи розв'язку рівнянь стану. Дискретні схемні моделі компонентів кола і їх застосування для чисельного розв'язку рівнянь стану. Аналіз динамічних

процесів в частотній області. Застосування перетворень Лапласа і Фур'є для розрахунку перехідних процесів. Наближені і числові методи спектрального аналізу. Зв'язок перехідних і частотних характеристик.

Елементи синтезу лінійних кіл. Властивості функцій і методи реалізації двополюсників і чотиріполюсників пасивних електричних кіл. Синтез безіндуктивних чотиріполюсників з активними і невзаємними елементами.

Кола з розподіленими параметрами. Основні рівняння довгих ліній і їх розв'язок для усталених синусоїдних коливань. Перехідні процеси в колах з розподіленими параметрами.

Тема 1.3. Теорія нелінійних електричних кіл

Усталені процеси в нелінійних колах. Методи розрахунку нелінійних електричних і магнітних кіл при постійних струмах і напругах. Особливості нелінійних кіл змінного струму і методи їх розрахунку. Аналіз усталених процесів в нелінійних колах змінного струму. Формування та чисельні методи розв'язку алгебраїчних рівнянь нелінійних резистивних електричних кіл. Метод малого параметру.

Перехідні процеси в нелінійних колах. Основні методи аналізу. Асимптотичні методи. Метод збурення. Метод гармонічного балансу і частотні властивості нелінійних кіл. Фазова площина. Метод змінних стану. Чисельні методи розв'язку нелінійних рівнянь стану. Методи неявного інтегрування. Дискретні моделі нелінійних реактивних елементів і їх застосування для розрахунку динамічних процесів.

Автоколивання. Майже гармонійні коливання. Релаксаційні коливання. Стійкість. Енергетичні співвідношення. Машинний метод розрахунку періодичних і автоколивальних режимів.

Основні вектори і основні рівняння електромагнітного поля. Системи рівнянь Максвелла. Електродинамічні потенціали. Граничні умови. Енергія. Теорема Умова-Пойнтінга. Теорема Гауса.

Статичні поля. Основні рівняння електричного і магнітного статичного поля. Краєві задачі і методи їх розв'язку, Метод конформних перетворень і метод розділення змінних. Чисельні методи розв'язку крайових задач: метод сіток, метод кінцевих елементів. Метод інтегральних рівнянь теорії потенціалу і його чисельна реалізація. Ємність, ємнісні і потенційні коефіцієнти.

Стаціонарні електричні і магнітні поля. Основні рівняння поля. Диференційна форма законів Ома, Ленца-Джоуля, Кірхгофа. Подібність статичних і стаціонарних полів. Векторний магнітний потенціал. Потокощеплення. Власна і взаємна індуктивність. Застосування методу інтегральних рівнянь.

Змінне електромагнітне поле в провідному середовищі. Хвилі в провідних середовищах. Поверхневий ефект. Проникнення магнітного поля в масив феромагнетика для прямокутної характеристики намагнічування. Моделювання змінних полів в провідних середовищах.

Електромагнітні хвилі і випромінювання. Хвильове рівняння і його розв'язок. Гармонійні хвилі в ідеальному діелектрику. Відбиття електромагнітних хвиль. Хвилі в просторі, обмеженому провідними границями. Хвилеводи і резонатори. Типи хвиль. Фазова і групова швидкість. Рівняння Даламбера. Випромінювання квантових генераторів. Електромагнітні поля в реальних діелектриках, феромагнетиках і анізотропних середовищах. Комплексні параметри середовища.

Чисельні методи розрахунку нестационарних полів. Електромагнітні поля в рухомих середовищах. Основні рівняння магнітної гідродинаміки.

Література до розділу 1

1. Бойко В.С. Теоретичні основи електротехніки: В 3-х т. Підручн. для студ. електротехн. спеціальн. вищих закл. осв. Том 1 / В.С. Бойко, В.В. Бойко, Ю.Ф. Видолоб [та ін.]; за заг. ред. І.М. Чиженка, В.С. Бойка.– К.: ІВЦ «Політехніка», 2004. – 272 с.

2. Бойко В.С. Теоретичні основи електротехніки: В 3-х т. Підручн. для студ. електротехн. спеціальн. вищих закл. осв. Том 2 / В.С. Бойко, В.В. Бойко, Ю.Ф. Видолоб [та ін.]; за заг. ред. І.М. Чиженка, В.С. Бойка. – К.: ІВЦ «Політехніка», 2008. – 224 с.

3. Бойко В.С. Теоретичні основи електротехніки: В 3-х т. Підручн. для студ. електротехн. спеціальн. вищих закл. осв. Том 3 / В.С. Бойко, В.В. Бойко, Ю.Ф. Видолоб [та ін.]; за заг. ред. І.М. Чиженка, В.С. Бойка. – К.: ІВЦ «Політехніка», 2013. – 244 с.

4. Теоретичні основи електротехніки-3. Нелінійні кола. Основи теорії електромагнітного поля. Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л. Ю. Спінул, М. П. Бурик. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 192 с.

5. Основи теорії електромагнітного поля. Курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод, електромобільність» / КПІ ім. Ігоря Сікорського, уклад. Л. Ю. Спінул. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 102 с.

Розділ 2. Техніка сильних електричних та магнітних полів

Тема 2.1. Електрофізичні основи техніки сильних електричних та магнітних полів

Утворення та нейтралізація заряджених частинок в газі. Рух заряджених частинок в газі. Умова самостійності розряду в газі. Початкові напруги проміжків з однорідним та неоднорідним електричним полем. Лавинна теорія пробою Таунсенда-Роговського. Закон Пашена. Стримерна

теорія пробою. Особливості пробою довгих повітряних проміжків, лідерний процес. Характеристики та особливості застосування елегазу. Перекриття твердої ізоляції в повітрі. Способи підвищення напруги перекриття ізоляційних конструкцій. Коронний розряд постійного струму. Втрати на корону на лінії електропередачі. Радіозавади від коронного розряду. Електропровідність рідин в сильних електричних полях. Передрозрядні процеси в рідинах. Запалювання розряду. Динаміка імпульсного розряду в рідинах. Пробій рідких діелектриків з домішками. Теорія теплового пробою твердих діелектриків. Теорія електричного пробою твердих діелектриків. Пробій неоднорідних твердих діелектриків. Часткові розряди. Старіння ізоляції. Розряд по забрудненій та зволоженій поверхні ізолятора.

Тема 2.2. Грозові перенапруги і грозозахист електричних установок

Характеристики та параметри розрядів блискавки. Грозозахисне заземлення. Методи розрахунку та моделювання. Індуковані перенапруги на повітряних лініях. Перенапруги прямого удару блискавки в лініях електропередачі. Захист від прямих ударів блискавки. Зони захисту блискавковідводів. Методика визначення імовірності прориву блискавки. Розповсюдження хвиль в лінії. Заломлення та відбиття хвиль в лініях електропередачі. Вплив імпульсної корони на хвильові процеси в лініях електропередачі. Грозозахист підстанцій. Трубочасті та вентильні розрядники. Нелінійні обмежувачі перенапруг. Число грозових відключень повітряних ліній електропередачі, автоматичне повторне ввімкнення (АПВ). Показник грозоопірності підстанцій. Грозозахист повітряних ліній електропередачі.

Тема 2.3. Внутрішні перенапруги в електричних системах і їх обмеження

Внутрішні перенапруги в мережах з ізолюваною нейтраллю. Роль дугопогашувальних апаратів. Перенапруги при вимкненні ненавантажених ліній. Перенапруги при вимкненні ненавантажених трансформаторів. Резонансні перенапруги в лініях електропередачі. Обмеження внутрішніх перенапруг. Статистичні характеристики внутрішніх перенапруг. Розрахункова кратність внутрішніх перенапруг.

Тема 2.4. Ізоляція установок високої напруги та високовольтні випробувальні установки

Методи регулювання електричних полів в ізоляційних конструкціях. Ізоляція повітряних ліній електропередачі. Основні види внутрішньої ізоляції. Короткочасна та довготривала електрична міцність. Ізоляція силових трансформаторів. Ізоляція силових кабелів. Ізоляція силових конденсаторів. Ізоляція обертових електричних машин. Високовольтні вводи. Випробування зовнішньої ізоляції. Випробування внутрішньої ізоляції. Діагностування внутрішньої ізоляції. Трансформаторні установки для випробування ізоляції. Випробувальні високовольтні установки постійного струму. Генератори імпульсних напруг. Методи генерування комутаційних імпульсів.

Тема 2.5. Техніка високих напруг та великих струмів

Вимірювання імпульсів високої напруги. Подільники напруги. Вимірювання високої постійної та змінної напруги. Вимірювання великих імпульсних струмів. Вимірювання ємності та кута діелектричних втрат. Сильноточні імпульсні розряди та їх застосування. Зарядження макроскопічних частинок та їх рух в електричному полі. Електрофільтри та електросепаратори. Екологічні фактори повітряних та кабельних ліній надвисокої напруги.

Література до розділу 2

1. Захист споруд та електричних систем від впливів блискавок. Природа та параметри блискавки [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Є. О. Троценко, Ю. В. Перетятко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 115 с. – Назва з екрана.

2. Бржезицький В.О., Ісакова А.В., Рудаков В.В. та ін. Техніка і електрофізика високих напруг: Навч. посібник / За ред. В.О. Бржезицького та В.М. Михайлова. – Харків: НТУ «ХПІ» – Торнадо, 2005. 930 с.

3. Собчук В.С. Техніка та електрофізика високих напруг: навчальний посібник – Вінниця, ВНТУ, 2003. – 85 с.

4. Техніка високих напруг: навчальний посібник / МОН МС України; Майструк Е. В., уклад. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2012. – 128 с.

5. Техніка високих напруг: Курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. Б. Абрамов, В. О. Бржезицький, Я. О. Гаран, О. Р. Проценко – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 345 с.

6. Електротехнологічні установки та системи. Курс лекцій [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньої програми «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. О. Бржезицький, Я. О. Гаран, М. Ю. Лапоша, Є. О. Троценко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 136 с. – Назва з екрана.

Розділ 3. Електричні станції

Тема 3.1. Загальні відомості про електричні станції та електроенергетичні системи

Структура генеруючих потужностей сучасних електроенергетичних систем України. Забезпечення балансу потужності в енергосистемах. Типи, технологічні схеми електростанцій і їх характеристики. Участь різних електростанцій у виробленні електроенергії. Графіки навантажень

електроустановок. Показники якості електроенергії. Режими роботи нейтралей в електроустановках. Особливості головних схем електричних з'єднань електростанцій різних типів.

Тема 3.2. Основне електрообладнання електростанцій та підстанцій

Характеристики, конструктивні особливості системи охолодження і збудження сучасних синхронних генераторів (СГ) та синхронних компенсаторів (СК). Системи автоматичного регулювання збудження СГ та СК. Автоматичне гасіння поля, синхронізація СГ і СК з мережею. Нормальні та допустимі режими роботи синхронних генераторів. Режими роботи при змінненні активного навантаження і струму збудження. Діаграма допустимих навантажень генератора. Вплив змінювання напруги і частоти мережі на роботу синхронних генераторів. Анормальні режими роботи турбогенераторів. Перевантаження турбогенераторів струмами статора і ротора. Асинхронні і несиметричні режими роботи синхронних генераторів.

Основні експлуатаційні параметри, елементи конструкції та системи охолодження силових трансформаторів (СТ) і автотрансформаторів (АТ). Стумообмежуючі властивості і застосування трансформаторів з розщепленими обмотками. Режими роботи трьохобмоткових автотрансформаторів. Критерії допустимості режимів роботи АТ. Перенапруги в АТ, викликаних замиканнями на лініях. Навантажувальна здатність, теплові характеристики і теплові режими трансформаторів.

Тема 3.3. Системи власних потреб електростанцій та підстанцій

Джерела живлення споживачів системи власних потреб (ВП). Категорії споживачів ВП. Електричні схеми ВП теплоелектроцентралей (ТЕЦ), теплових електростанцій (ТЕС), гідравлічних електростанцій (ГЕС), підстанцій. Принципи резервування живлення споживачів ВП електростанцій різних типів. Основні типи робочих машин ВП на електростанціях і їх особливості. Робочі та механічні характеристики механізмів ВП. Вплив змінювання частоти обертання на робочі характеристики механізмів ВП. Регулювання продуктивності механізмів ВП.

Електродвигуни власних потреб електростанцій. Механічні характеристики асинхронних і синхронних електродвигунів, двигунів постійного струму ВП. Анормальні режими роботи електродвигунів ВП. Вплив змінювання частоти мережі, напруги, навантаження на режими роботи електродвигунів ВП. Несиметричні режими роботи електродвигунів ВП. Вибіг і самозапуск електродвигунів ВП. Індивідуальний і груповий вибіг електродвигунів. Характеристики вибігу. Самозапуск електродвигунів ВП. Практичні методи і алгоритми розрахунку самозапуску. Особливості електрообладнання і механізмів ВП атомних електростанцій (АЕС). Зв'язок технологічної і електричної частин. Категорії споживачів ВП АЕС. Вимоги до систем аварійного розхолодження. Принципи побудови схем електропостачання ВП АЕС. Схеми електропостачання споживачів ВП АЕС нормальної експлуатації і надійного живлення.

Тема 3.4. Умови функціонування і експлуатації сучасних електроенергетичних систем з АЕС

Особливості АЕС як об'єкта генерації енергії в енергосистемі. Фактори, які визначають надійність і живучість АЕС. Кліматичні впливи на елементи системи видачі потужності з АЕС. Причини виникнення екстремальних режимів енергосистем з АЕС. Основні фактори і причини знеструмлення ВП АЕС. Процеси в системі ВП АЕС при знеструмленні секцій нормальної експлуатації. Задачі і шляхи забезпечення надійності систем зовнішнього електропостачання ВП АЕС.

Тема 3.5. Короткі замикання, несиметричні і неповнофазні режими електроустановок

Розрахункові умови коротких замикань: схема електроустановки, вид короткого замикання, точка і час короткого замикання. Параметри елементів заступних схем при розрахунках короткого замикання (КЗ). Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного КЗ. Перехідні процеси в синхронних машинах при трифазних КЗ. Практичні методи розрахунку діючого значення струму КЗ. Термічна та електродинамічна дія струмів КЗ на провідники і електричні апарати. Методика перевірки провідників і електричних апаратів на термічну і електродинамічну стійкість. Методика складання заступних схем різних послідовностей. Несиметричні КЗ. Розрахунок струмів і напруг при повздовжній несиметрії і складних несиметричних пошкодженнях. Методи і засоби обмеження струмів КЗ.

Розрахункові умови для вибору електрообладнання за умовами робочих тривалих режимів. Перевірка електрообладнання на термічну і електродинамічну стійкість при КЗ.

Тема 3.6. Перехідні електромеханічні процеси і стійкість електроенергетичних систем

Характеристики потужності найпростішої нерегульованої системи і системи з регуляторами збудження генераторів. Категорії стійкості. Поняття про статичну стійкість енергосистеми. Метод малих коливань для аналізу статичної стійкості. Практичні критерії статичної стійкості і їх використання. Дійсна межа потужності. Статична стійкість двохмашинної енергосистеми. Сучасна теорія стійкості. Поняття про перший та другий (прямий) методах Ляпунова. Перехідні процеси при великих збуреннях. Динамічна стійкість системи. Методи дослідження динамічної стійкості. Динамічна стійкість електричної системи в аварійному, післяаварійному режимі і в режимі після автоматичного повторного включення (АПВ). Асинхронні режими в електроенергетичних системах. Визначення параметрів системи в асинхронному режимі, ресинхронізація і результуюча стійкість. Несинхронні включення в електричних системах.

Статичні і динамічні характеристики навантаження. Критерії статичної стійкості асинхронних двигунів і комплексного навантаження. Перехідні процеси у вузлах навантаження при великих збуреннях.

Протиаварійна автоматика енергосистем. Види керуючих впливів для забезпечення статичної і динамічної стійкості: відключення генераторів, імпульсне розвантаження турбін, тривале розвантаження турбін, форсування збудження генераторів, відключення навантаження. Заходи щодо покращення стійкості і якості перехідних процесів електричних систем.

Література до розділу 3

1. Бардик Є. І., Лукаш М. П. Електрична частина станцій та підстанцій. Основне електрообладнання (навч. пос.) / К.: "Політехніка", НТУУ "КПІ", 2011. – 218 с.

2. Експлуатація та режими роботи електростанцій: нормальні, допустимі і аномальні режими синхронних генераторів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Є. І. Бардик. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,69 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 107 с.

3. Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник для ВНЗ / Г.Г. Півняк, І.В. Жежеленко, Ю.А. Папаїка, Л.І. Несен, за ред. Г.Г. Півняка ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 5-те вид., доопрац. та допов. – Дніпро : НГУ, 2016. – 600 с.

4. Перехідні процеси в системах електропостачання: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / М. М. Черемісін, О. М. Мороз, О. Б. Єгоров, С. В. Швець. – Харків: ТОВ «В справі», 2016. – 260 с.

5. Kiameh P. Power plant equipment operation and maintenance guide, 1st Edition / P. Kiameh – New York City: McGraw-Hill Professional Publishing, 2012. – 770 pages.

6. Dr. Juan A. Martinez-Velasco, “Transient Analysis of Power Systems: A Practical Approach“. - Wiley-IEEE Press; 1st edition, 2020. – 624 pages.

Розділ 4. Електричні системи та мережі

Тема 4.1. Електричні мережі

Техніко-економічні переваги створення енергосистем та їх об'єднань. Електричні мережі. Класифікація електричних мереж. Магістральні та розподільні електричні мережі. Графік навантаження енергосистеми та його покриття. Графіки навантажень електричних станцій енергосистем. Режими роботи нейтралі електричних мереж.

Фізичні процеси та явища, які відбуваються під час передавання електричної енергії по лініям електропередавання (ЛЕП). Заступні схеми

повітряних та кабельних ліній електропередавання. Визначення параметрів заступних схем ЛЕП.

Фізичні процеси та явища, які відбуваються в силових трансформаторах під час передавання електричної енергії. Заступні схеми дво- та триобмоткових трансформаторів та автотрансформаторів. Трансформатори з розщепленими обмотками. Силові трансформатори із скороченими обмотками. Визначення параметрів заступних схем трансформаторів за каталожними даними.

Втрати потужності та енергії в елементах електричних мереж. Графіки навантаження вузлів електроенергетичних систем. Кількість годин використання максимальної та встановленої потужності. Коефіцієнти участі в максимумі навантаження, коефіцієнт одночасності, коефіцієнт використання встановленої потужності. Втрати потужності в ЛЕП. Втрати потужності в трансформаторах різних типів. Втрати енергії в лініях та трансформаторах та їх визначення за графіками навантаження. Середньоквадратична потужність навантаження та час максимальних втрат енергії. Векторна діаграма струмів та напруги ЛЕП. Спад та втрата напруги в елементах електричної мережі.

Тема 4.2. Розрахунок та аналіз режимів електричних систем

Характеристика задач розрахунків параметрів ustalених режимів електроенергетичних систем. Розрахункові схеми електричних систем різних класів номінальної напруги. Зведене та розрахункове навантаження. Опорний за напругою та балансуєчий пункт розрахункової схеми електричної мережі. Статичні характеристики навантаження за напругою

Ітераційний розрахунок режиму електричної мережі. Критерії збіжності ітераційного розрахунку. Розрахунок ліній з двобічним живленням. Метод контурних рівнянь. Метод розрізання контурів. Рівняння вузлових напруг та їхня модифікація. Ітераційні методи реалізації вузлової моделі: метод лінеаризації, Зейделя, Ньютона-Рафсона. Неоднорідність електричних мереж. Засоби компенсації неоднорідності.

Особливості розрахунку несиметричних режимів електричних систем. Неповнофазні режими ліній електропередавання. Способи та засоби симетрування режиму електричної системи. Причини та наслідки несинусоїдальності кривих струму та напруги. Засоби компенсації вищих гармонік в електричних системах.

Тема 4.3. Регулювання режимів електричних систем

Якість електричної енергії та її характеристики. Відхилення та коливання напруги, причини їх виникнення, граничні величини, їхній вплив на роботу електроприймачів. Поняття про допустиму втрату напруги в електричній мережі.

Засоби та способи регулювання напруги в електричних мережах енергосистем. Регулювання напруги в мережі шляхом зміни напруги на шинах генераторів, активного та реактивного опору ліній, перерозподілу

потоків реактивної потужності в мережі системи. Переваги та недоліки синхронних компенсаторів та батарей статичних конденсаторів (БСК). Поперечна компенсація як засіб регулювання напруги в мережі. Лавина напруги. Розрахунок параметрів компенсуючих пристроїв поперечної компенсації. Поздовжня компенсація (УПК) як засіб регулювання напруги в мережі. Вибір місця встановлення в мережі компенсуючих пристроїв поздовжньої та поперечної компенсації.

Трансформаторні засоби регулювання напруги в електричних мережах енергосистеми. Поняття про зустрічне регулювання напруги. Схеми регулювання напруги за допомогою автотрансформаторів в прямому та реверсивному режимах. Застосування вольтододавальних трансформаторів (ВДТ) для регулювання напруги в електричних мережах. Поздовжнє та поперечне регулювання напруги за допомогою ВДТ.

Баланс активної та реактивної потужності та якість електроенергії в системах. Статичні характеристики навантаження у вигляді функції від частоти. Регулятори швидкості турбін. Статичні та астатичні характеристики регуляторів швидкості. Регулювальний ефект навантаження за частотою. Первинне та вторинне регулювання частоти. Регулювання частоти в системі за допомогою блоку нерегулюючих та частоторегулюючої станції. Регулювання частоти в аварійних режимах. Автоматичне частотне розвантаження та система частотного автоматичного повторного включення.

Тема 4.4. Регулювання режимів дальніх електропередач

Хвильові параметри дальніх електропередач (ДЕП). Зарядна потужність та натуральна потужність ДЕП. Розподіл напруги вздовж ДЕП. Основні рівняння ДЕП. Моделювання режиму ДЕП за допомогою апарату чотириполюсників.

Компенсація зарядної потужності ДЕП. Розстановка шунтувальних реакторів вздовж ДЕП. Забезпечення балансу реактивної потужності на кінцевих підстанціях ДЕП.

Пропускна здатність ДЕП. Характеристика потужності електропередачі та її пропускна здатність. Штучні заходи з підвищення пропускної здатності та дальності електропередачі енергії змінним струмом. Передача енергії чвертю хвили на напівхвилю. Компенсація параметрів та налагодження ДЕП. Розрахунок параметрів пристроїв компенсації та налагодження для збільшення пропускної здатності ДЕП.

Література до розділу 4

1. Кирик, В. В. Електричні мережі та системи. Режими роботи розімкнених мереж = Electrical power networks and systems. Operation modes of open networks [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів усіх форм навчання та студентів-іноземців спеціальності 141 “Енергетика, електротехніка та електромеханіка” / В. В. Кирик, Т. Б. Маслова ; НТУУ «КПІ». – Київ : Політехніка, 2015. – 256 с.

2. Кирик В. В. Електричні мережі та системи : підручник / В. В. Кирик. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. – 324 с.– ISBN 978-966-990-031-9
3. Кацадзе Т. Л. Електричні системи і мережі. Розрахунок та аналіз усталених режимів електроенергетичних систем: Навчальний посібник / Т. Л. Кацадзе, В. В. Кирик.-К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.-212 с
4. Електричні системи і мережі. Частина 1 [Електронний ресурс] : навчальний посібник / Ю. В. Малогулко, О. Б. Бурикін, Т. Л. Кацадзе, В. В. Нетребський ; Вінницький національний технічний університет ; за ред. П. Д. Лежнюка. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 200 с.
5. Аналіз та синтез систем передачі електричної енергії постійного струму [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньої програми «Електричні системи і мережі» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад. В. В. Кирик. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 59 с.
6. Сулейманов В. М. Електричні мережі та системи: підручн. / В. М. Сулейманов, Т. Л. Кацадзе. – Київ: НТУУ «КПІ», 2008. – 456 с. – ISBN 978-966-622-300-8.
7. Кацадзе Т. Л. Основи механічних розрахунків повітряних ліній електропередавання: Підручник / Т. Л. Кацадзе. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019 – 333 с.
8. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи: Підручник / М. С. Сегеда. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. – 488 с.
9. Сулейманов В. М. Розрахунок і регулювання усталених режимів роботи електричних мереж енергосистем / В. М. Сулейманов. – Київ: НМК ВО, 1992. – 208 с.
10. Anderson P. M. Power System Control and Stability / P. M. Anderson, A. A. Fouad. – Wiley-IEEE Press, 2002. – 672 pp.
11. Bayliss C. Transmission and Distribution Electrical Engineering / Colin Bayliss, Brian Hardy. – Elsevier, 2006. – 1040 pp.
12. Glover J. D. Power System Analysis and Design / J. Duncan Glover, Mulukutla S. Sarma, Thomas Overbye. – Cengage Learning, 2012. – 782 pp.
13. Grigsby L. L. Power System Stability and Control / Leonard L. Grigsby. – CRC Press, 2012. – 450 pp.
14. Grigsby L. L. Power Systems / Leonard L. Grigsby. – CRC Press, 2012. – 556 pp.
15. Sarma M. S. Power Quality: VAR Compensation in Power Systems / S. R. Vedam, M. S. Sarma. – CRC Press, 2008. – 304 pp.

Розділ 5. Управління, захист та автоматизація енергосистем

Тема 5.1 Теорія автоматичного керування

Загальні відомості про системи управління. Принципи управління. Принцип компенсації (принцип управління по збуренню). Принцип розімкненого управління. Принцип зворотного зв'язку (принцип управління по відхиленню). Принцип комбінованого управління. Математичний опис елементів і систем управління. Лінеаризація диференціальних рівнянь. Форми запису лінеаризованих рівнянь.

Характеристики лінійних ланок. Перехідна функція ланки. Частотні характеристики ланки. Амплітудно-фазова частотна характеристика. Амплітудно-частотна характеристика. Логарифмічні частотні характеристики. Математичне моделювання автоматичних систем. Перетворення структурних схем об'єктів регулювання. Основні лінійні закони регулювання. Типові регулятори та їх характеристики.

Стійкість лінійних систем. Теорема Ляпунова. Аналіз стійкості кореневим методом. Межа стійкості в площині коренів. Критерії стійкості. Алгебраїчні критерії Рауса, Гурвіца,. Частотні критерії: Михайлова, Д-розбиття, Найквіста,. Аналіз за допомогою логарифмічних характеристик. Знаходження критичних значень параметрів та визначення запасу стійкості за допомогою різних критеріїв.

Оцінка якості автоматичних систем регулювання (АСР). Основні критерії для статичних та астатичних систем.

Характеристики нелінійних елементів. Аналіз нелінійних систем методом гармонічного балансу. Аналіз нелінійних систем за фазовими траєкторіями.

Математичні основи теорії дискретних АСР. Імпульсний елемент. Дискретні сигнали. Решітчаста функція. Цифрові регулятори. Канал дискретного перетворення сигналу. Аналого-цифровий перетворювач. Дельта-імпульсний модулятор. Цифро-аналоговий перетворювач. Демодулятор. Структурна схема дискретної АСР з цифровим регулятором. Критерії якості дискретних АСР з цифровими регуляторами. Стійкість імпульсних систем. Умови використання критеріїв Гурвіца та Михайлова для оцінки стійкості.

Тема 5.2 Автоматичне регулювання в енергосистемах

Баланс активних потужностей та частота змінного струму. Види регулювання частоти та активної потужності. Первинне регулювання частоти. Регулятори швидкості турбін. Статичні частотні характеристики генеруючої частини енергосистеми. Статична частотна характеристика споживання. Суміщена статична частотна характеристика генеруючої частини енергосистеми та споживання. Регулюючий ефект навантаження. Вторинне регулювання частоти та активної потужності. Організація

автоматичного регулювання частоти та потужності (АРЧП) в енергооб'єднанні. Системна частина АРЧП. Режими роботи системної АРЧП. Методи регулювання частоти та активної потужності. Метод станції, що веде режим.

Регулювання напруги та реактивної потужності в енергосистемах. Засоби регулювання напруги в енергосистемах. Гнучкі системи передачі на змінному струмі (FACTS-системи). Асинхронний режим в енергосистемах. Ознаки асинхронного режиму. Способи ліквідації асинхронного режиму.

Тема 5.3 Релейний захист електричних систем

Максимальні струмові направлені та ненаправлені захисти. Первинні вимірювальні перетворювачі в системах захисту та автоматики. Релейний захист електричних систем, вимоги та принципи дії. Функціональні та логічні елементи автоматичних пристроїв. Датчики інформації в системах релейного захисту та автоматики. Резервування дії релейного захисту та вимикачів. Вимірювальні органи та логічна частина систем релейного захисту.

Захист електродвигунів. Захист трансформаторів електростанцій та підстанцій. Захист синхронних генераторів. Захист блока генератор-трансформатор. Релейний захист шин станцій та підстанцій. Автоматичне частотне розвантаження (АЧР), призначення та принцип дії. Автоматичне повторне ввімкнення (АПВ), призначення та принцип дії. Автоматичне ввімкнення резервного живлення (АВР), призначення та принцип дії.

Література до розділу 5

1. Яндутьський, О. С. Математичне моделювання систем та процесів. Математичне забезпечення мікропроцесорних пристроїв релейного захисту і автоматики електроенергетичних систем [Електронний ресурс] : навчальний посібник / О. С. Яндутьський, О. О. Дмитренко; під заг. ред. О. С. Яндутьського ; НТУУ «КПІ». – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 60 с.
2. Яндутьський, О. С. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем [Електронний ресурс] : навчальний посібник / О. С. Яндутьський, О. О. Дмитренко ; НТУУ «КПІ». – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 103 с.
3. Яндутьський О.С., Стелюк А.О., Лукаш М.П. Автоматичне регулювання частоти та перетоків активної потужності в енергосистемах / Під загальною редакцією д.т.н. О.С. Яндутьського. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 88 с.
4. Релейний захист і автоматика: Навч. посібник / С. В. Панченко, В. С. Блиндюк, В. М. Баженов та ін.; за ред. В. М. Баженова. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – Ч. 1. – 250 с., Ч. 2. – 276 с.
5. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Либідь, 2007. — 656 с. ISBN 978-966-06-0447-6.

6. Теорія автоматичного керування. Частина 1. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: А. А. Марченко, В. С. Гулий. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 54 с.

Розділ 6. Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

Тема 6.1. Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

Класифікація пристроїв автоматики, їх основні особливості. Системи автоматичного керування (САК), функціональна схема САК та її елементи. Системи стабілізації, програмного регулювання, слідкуючі. Розімкнені САК: компенсаційні та програмного керування. Комбіноване керування. Загальні відомості про елементи САК. Зворотні зв'язки у САК. Зворотний зв'язок та коефіцієнт підсилення.

Умови рівноважного стану системи автоматичного регулювання (САР). Статичні характеристики при послідовному та паралельному з'єднанні ланок. Характеристика ланок із зворотним зв'язком. Статична похибка та коефіцієнт підсилення. Протиріччя вимог статички і динаміки. Статична похибка при комбінованому керуванні. Форми запису рівнянь статички.

Складання рівнянь динаміки ланок. Методика складання рівнянь. Принцип детектування. Гіпотеза малих відхилень Вишнеградського. Методи лінеаризації. Форми запису рівнянь динаміки. Операторна форма та ін. Типові ланки САР. Рівняння та часові характеристики ланок.

Передаточні функції, частотні характеристики ланок. Призначення передаточних функцій і частотних характеристик. Передаточні функції та амплітудно-фазова частотна характеристика (АФЧХ) при послідовному та паралельному з'єднанні ланок, для ланок із зворотним зв'язком. Логарифмічні частотні характеристики, їх особливості і призначення, побудова логарифмічних характеристик. АФЧХ і логарифмічні характеристики типових ланок.

Рівняння, передаточні функції і АФЧХ систем регулювання. Рівняння розімкненої САР, її передаточні функції і АФЧХ. Рівняння одноконтурної замкненої системи стабілізації. Отримання рівняння замкненої САК за допомогою теореми Крамера. Рівняння програмної (слідкуючої) САР. Отримання рівняння статички САР. Передаточні функції і АФЧХ САР по завданню та збуренню. Перетворення складних структурних схем замкнутих САР. Схеми з простими та перехресними зворотними зв'язками.

Поняття про стійкість лінійних систем. Теореми Ляпунова. Аналіз стійкості за видом коренів характеристичного рівняння. Межа стійкості в площині коренів. Критерії стійкості. Алгебраїчні критерії Рауса-Гурвіца, Вишнеградського. Частотні критерії: Михайлова, Д-розбиття, Михайлова-Найквіста. Аналіз стійкості за допомогою амплітудно- та фазочастотних характеристик. Аналіз за допомогою логарифмічних характеристик. Знаходження критичних значень параметрів та визначення запасу стійкості за допомогою різних критеріїв.

Дослідження стійкості систем з транспортним запізненням. Структурно- нестійкі САР. Приклади. Послідовні і паралельні коригуючі ланки. Приклади коректування структурно-нестійких САР.

Показники якості САР. Особливості аналізу якості в лінійних системах. Аналіз якості за видом коренів характеристичного рівняння. Ступінь затухання перехідних процесів. Задачі синтезу. Методи синтезу послідовних та паралельних коректуючи пристроїв. Використання логарифмічних характеристик. Загальні відомості про інваріантність. Інваріантність САК відносно збурюю чого впливу. Реалізація вимог інваріантності.

Основні види нелінійностей. Методи та дослідження нелінійних систем. Метод фазових траєкторій. Поняття про фазову площину. Особливі точки. Фазові траєкторії стійких та нестійких систем. Методика дослідження. Стійкість по Ляпунову. Поняття про граничні цикли. Метод гармонійної лінеаризації. Релейні САР. Використання методу фазових траєкторій для аналізу релейних систем.

Дискретні системи, їх класифікація. Різницеві рівняння, перетворення, передаточні функції імпульсних систем. Частотні характеристики дискретних систем. Методи дослідження стійкості імпульсних систем (критерій Гурвіца, Михайлова, Найквіста та ін.) Синтез дискретних коригуючих пристроїв методом логарифмічних псевдочастотних характеристик.

Екстремальні САК. Особливості та межі застосування. Поняття про функцію користі та оптимальне керування.

Загальні відомості про електропривод. Призначення, особливості, задачі. Види електроприводів. Функціональна схема електропривода.

Механічна частина електропривода. Кінематичні та розрахункові схеми. Статичні навантаження. Врахування втрат. Рівняння руху.

Електродвигуни постійного струму. Електромеханічні характеристики. Природна характеристика. Види штучних характеристик. Гальмівні режими. Динамічні властивості. Характеристики двигунів постійного струму з послідовним, змішаним або комбінованим збудженням.

Асинхронні електродвигуни. Одержання механічної характеристики. Ковзання. Природна механічна характеристика. Види штучних характеристик. Гальмівні режими. Побудова штучних характеристик. Динамічні властивості.

Синхронні електродвигуни. Принцип дії. Кутова характеристика. Гальмівні режими. Динамічна властивості. Переваги та недоліки.

Електромеханічна система. Рівняння та структурна схема. Динамічні властивості.

Оптимальні перехідні процеси: по швидкодії, витратах електроенергії з обмеженням по моменту, прискоренню або ривку. Відпрацювання ступінчатого керуючого та збурюючого впливу. Плавний пуск. Реверс. Особливості перехідних процесів для електродвигунів змінного струму.

Теплові перехідні процеси. Номінальні режими електродвигунів. Методи еквівалентного струму, моменту, потужності. Вибір потужності двигуна.

Регулювання координат електропривода. Види керування та основні функції електроприводу. Система перетворювач частоти-асинхронний двигун. Точність. Діапазон регулювання. Електропривод при підпорядкованому регулюванні координат. Регулювання моменту, струму, швидкості.

Література до розділу 6

1. Попович М. Г., Ковальчук О. В., Теорія автоматичного керування: Підручник. – К.: Либідь, 1997.

2. Теорія електропривода: Підручник / За ред. М. Г. Поповича. – К.: Вища школа, 1993.

3. Толочко, О. І. Математичні методи в електромеханіці [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / О. І. Толочко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 212 с.

4. Толочко, О. І. Оптимальне керування в електромеханічних системах. Практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» з дисципліни «Системи оптимального та інтелектуального керування» / О. І. Толочко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 116 с.

5. Енергоефективні електромеханічні системи широкого технологічного призначення. Монографія / Загірняк М. В., Клепіков В. Б., Ковбаса С. М., Михальський В. М., Пересада С. М., Садовой О. В., Шаповал І. А. - Київ, Інститут електродинаміки НАН України, 2018. - 310 с.

6. Перестюк М.О., Станжицький О.М., Капустян О.В. Задачі оптимального керування К., ТВіМС, 2004.

7. Лозинський О.Ю. Синтез лінійних оптимальних динамічних систем. Навчальний посібник / [О.Ю. Лозинський, А.О. Лозинський, Я. Ю. Марущак, Я. С. Паранчук, В.Б. Цяпа] / Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2016. 392 с.

8. Голюк П.Ф., Гречин Т.М. Теорія автоматичного керування: Навчальний посібник. Л: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 280 с..

9. Шаруда В.Г. Практикум з теорії автоматичного управління: Навчальний посібник.- Дніпропетровськ: Національна гірнича академія України, 2002. 414 с.

10. Александров Є.Є., Голуб О.П., Кузнецов Б.І., Соляник В.П. Теорія автоматичного керування: Харків. НТУ “ХПІ”, 2002. 195 с.

11. Leonhard W. Control of Electrical Drives. (3rd edition) // Berlin: Springer-Verlag, 2001. – 460 p.

12. Bose B. K. Power Electronics and Variable Frequency Drives // IEEE Press, 1997. – 639 p.

Розділ 7. Електричні машини і апарати

Тема 7.1. Машини постійного струму

Конструкція та принцип дії машини постійного струму (МПС). Процеси комутації в МПС. Способи покращення комутації: додаткові полюси, зсув щіток, тощо. Компенсаційна обмотка. Вирази для електрорушійної сили (ЕРС) і електромагнітного моменту МПС. Явище реакції якоря та його вплив на магнітний потік збудження. Тягові ДПС. Робочі характеристики ДПС з послідовним збудженням.

Тема 7.2. Трансформатори

Будова та принцип дії трансформатора. Класифікація трансформаторів. Коефіцієнт трансформації. Конструкція обмоток та магнітопроводу трифазних трансформаторів. Вищі гармонійні в кривій намагнічуючого струму, магнітного потоку та фазних ЕРС трифазних трансформаторів при різних способах з'єднання первинних та вторинних обмоток. Режими неробочого (холостого) ходу (ХХ) та короткого замикання (КЗ) трансформаторів. Напруга КЗ та струм ХХ. Втрати в режимах ХХ і КЗ. Експериментальне визначення параметрів схеми заміщення. Робота трансформаторів під навантаженням. Основи математичні рівняння. Схеми заміщення трансформатора. Векторні та енергетичні діаграми. Визначення ККД трансформатора.

Тема 7.3. Загальні питання теорії машин змінного струму

Конструкція машин змінного струму. Ізоляція обмоток. Умови отримання обертового магнітного поля в машинах змінного струму. Магнітне поле машин змінного струму та його розрахунок. Індуктивність та взаєміндуктивність обмоток. Магнітні потоки взаєміндукції та розсіювання обмоток. ЕРС витка, котушки, фази обмотки змінного струму. Обмоткові коефіцієнти. Способи зменшення вищих гармонік в ЕРС. Скіс пазів. Магніторушійні сили(МРС) обмоток машин змінного струму. Вищі гармоніки МРС.

Тема 7.4. Асинхронні машини

Рівняння електричних кіл обмоток статора та ротора. Приведення обмотки ротора до обмотки статора. Схема заміщення асинхронної машини. Режими роботи асинхронної машини: двигунний, генераторний, електромагнітного гальма. Векторні та енергетичні діаграми. Способи регулювання швидкості обертання асинхронних двигунів. Автономний асинхронний генератор. Умови самозбудження. Несиметричні режими роботи асинхронних машин. Вплив несиметрії напруги живлення і параметрів обмоток на механічні характеристики асинхронних двигунів.

Тема 7.5. Синхронні машини

Синхронна машина в режимі неробочого (холостого) ходу. Вимоги до розподілу магнітного поля в повітряному проміжку. Явище реакції якоря в синхронній машині та фактори, що на нього впливають. Паралельна робота синхронного генератора з мережею. Умови та способи вмикання синхронного генератора на паралельну роботу, V - подібні характеристики, регулювання активної та реактивної потужності СМ. Кутові характеристики синхронної машини. Статична та динамічна стійкість роботи синхронної машини. Синхронний двигун та синхронний компенсатор. Способи запуску. Векторні діаграми. Робочі та V - подібні характеристики. Перехідні, асинхронні та несиметричні режими роботи синхронної машини. Індуктивні опори синхронної машини в перехідних та несиметричних режимах роботи.

Тема 7.6. Електричні апарати

Електродинамічні сили в електричних апаратах. Теплові процеси в електричних апаратах. Електричні контакти: визначення і класифікація, їх опір, матеріали, нагрівання контактів, електродинамічні сили в контактах. Конструкції низьковольтних та високовольтних комутаційних контактів. Електрична дуга та методи її гасіння. Вибір комутаційних апаратів: загальні умови вибору електротехнічних пристроїв. Захисні апарати: плавкі запобіжники та їх вибір, пристрій захисного вимкнення, розрядники та обмежувачі перенапруги, струмообмежувальні реактори.

Література до розділу 7

1. Загірняк М. В., Невзлін Б.І. Електричні машини: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і доп. — К.:Знання, 2009. — 400 с. — ISBN 978-966-346-644-6
2. Електричні машини : Навч. посіб. для студ. базового рівня підготовки за напрямком "Електромеханіка" / М. А. Яцун; Держ. ун-т "Львів. політехніка". - Л., 1999. - 427 с. - Бібліогр.: 55 назв.
3. Півняк Г. Г. Електричні машини: навч. посіб. / Г. Г. Півняк та ін.; Національний гірничий ун-т. — Д. : НГУ, 2003. — 328 с.
4. Козлов В. Д. Електричні апарати. Модуль 1. Загальні питання електричних апаратів: Посібник – К.: НАУ, 2005. – 92 с.
5. Козлов В. Д., Соломаха М.І. Електричні апарати. Модуль 2. Комутаційні апарати низької та середньої напруги: Посібник – К.: НАУ, 2006. – 84 с.

6. Козлов В. Д., Єнчев С. В. Електричні апарати. Модуль 3. Вимірювальні, контролювальні та захисні апарати: Посібник – К.: НАУ, 2007. – 72 с.

7. Васьковський, Ю. М. Математичне моделювання електричних машин з постійними магнітами [Електронний ресурс] / Ю. М. Васьковський, Ю. А. Гайденко, М. А. Коваленко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 200 с.

Розділ 8. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії

Тема 8.1. Вітроенергетика

Основні параметри вітрового потоку і засоби їх описання в часі і просторі. Типи вітроустановок і вітрогенераторів. Їх переваги і недоліки. Основні положення аеромеханічного розрахунку вітрогенераторів. Особливості електричних схем вітрогенераторів постійного струму і їх використання. Особливості електричних схем вітрогенераторів змінного струму і їх використання. Характерні режими роботи вітрогенераторів (пуск, номінальний режим, зупинка) і алгоритми їх реалізації. Методи і технічні засоби стабілізації частоти обертання вітрогенераторів.

Тема 8.2. Сонячна енергетика

Основні параметри, які характеризують потік сонячної енергії. Електродинамічні підходи до описання взаємодії сонячного випромінювання з атмосферою і конструктивними елементами сонячних колекторів і фотобатарей. Основні конструкції сонячних колекторів і фотобатарей. Моделі генерації електрорушійної сили в фотоелектричних перетворювачах. Моделі генерації тепловиділення при взаємодії сонячного випромінювання з елементами сонячних колекторів і фотобатарей. Моделі теплового стану сонячних колекторів і фотобатарей. Структури і схеми активних і пасивних систем сонячного теплопостачання будівель і споруд. Особливості сонячних енергетичних систем з використанням концентрованого сонячного випромінювання.

Тема 8.3. Перетворення та акумулювання енергії відновлювальних джерел

Принцип дії хімічних джерел струму. Схеми використання електричних акумуляторів в системах енергопостачання. Основні типи електрохімічних акумуляторів електричної енергії. Схеми використання теплових акумуляторів в системах теплопостачання. Принципи розрахунку теплових та електричних акумуляторів енергії.

Тема 8.4. Комплексне використання відновлювальних джерел енергії

Енерготехнологічні вузли. Методи оптимізації параметрів комбінованих систем теплопостачання. вимоги до комбінованих систем

енергопостачання. Принципи побудови комбінованих систем енергопостачання.

Тема 8.5. Використання геотермальних ресурсів

Основні параметри геотермальної енергії. Методи моделювання геотермальних колекторів і свердловин. Варіанти схем використання геотермальної енергії для потреб електропостачання. Типові схеми видобутку геотермальних ресурсів.

Тема 8.6. Використання інших видів відновлювальних джерел енергії

Принцип дії енергоустановок, які використовують енергію малих рік. Принцип дії хвильових енергетичних установок. Принцип дії біоенергетичних установок. Принцип роботи енергоустановок, які використовують температурні і концентраційні градієнти в морській воді. Принцип дії магнітогідродинамічних генераторів. Принцип дії термоємісійних генераторів. Принцип дії термоелектричних генераторів і термохолодильників. Принцип дії компресорних і абсорбційних теплонасосних установок.

Література до розділу 8

1. Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : електронний курс лекцій / С.О. Кудря, В.І. Будько – Київ: Національний технічний університет України («КПІ»), 2013. – 360 с.
2. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підручн. / С. О. Кудря. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.
3. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії : навч. посіб. / С. О. Кудря, В. М. Головкин. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 184 с.
4. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / С. О. Кудря, В. Ф. Резцов, Т. В. Суржик та інші. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2012. – 60 с. Видано в 2013 р.
5. Відновлювані джерела енергії [Електронний ресурс] : монографія / Барило А. А., Бенменні М., Будько М. О. та ін. ; ІВЕ НАНУ / [За заг. ред. С. О. Кудрі]. – Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.
6. Кузнецов, М. П. Особливості комбінованих енергосистем з відновлюваними джерелами енергії [Електронний ресурс] : монографія / М. П. Кузнецов ; ІВЕ НАНУ. – Електронні текстові данні (1 файл: 4,96 Мбайт). – Київ : ІВЕ, 2022. – 152 с.
7. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України (видання друге, оновлене та доповнене) / С. О. Кудря, В. Ф. Резцов, Т. В. Суржик та інші. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. – 82 с.

Розділ 9. Системи забезпечення споживачів електричною енергією, електротехнічні комплекси, електромеханічні системи, автоматизація електротехнічних та електротехнологічних комплексів, енергетичний менеджмент та енергоефективність

Тема 9.1. Електротехнологічні та електротехнічні комплекси

Ефективність використання електричної енергії та її перетворення в інші види енергії при реалізації електротехнологічних процесів.

Особливості побудови та функціонування електромеханічних та електротехнічних установок.

Автоматизовані систем керування електротехнологічних та електротехнічних комплексів. Системи діагностики (системи технічного діагностування), контролю та захисту електротехнологічних та електротехнічних комплексів.

Цифрові та аналогові системи автоматизації електротехнічних та електротехнологічних комплексів. Типові структури аналогових та цифрових систем керування. Перетворення аналогових та цифрових сигналів. Аналогова та цифрова фільтрація. Аналогові та цифрові ПД-регулятори. Програмовані логічні контролери

Класифікація електротехнологічних установок як споживачів електроенергії.

Сучасні системи та засоби енерго- та ресурсозбереження в електротехнологічних установках. Підвищення енергоефективності електротехнологічних та електротехнічних комплексів.

Тема 9.2. Елементи електротехнічних комплексів

Електромашинні перетворювачі. Некеровані випрямлячі змінного струму. Керовані тиристорні випрямлячі одно- та трифазного струму. Інвертори струму та напруги. Резонансні інвертори. Тиристорні та транзисторні перетворювачі частоти змінного струму. Напівпровідникові перетворювачі змінної напруги. Стабілізатори напруги та струму. Широтноімпульсні перетворювачі. Системи імпульсно-фазового керування. Активні фільтри. Фільтро-компенсуючі пристрої. Електромеханічні пристрої автоматизованих електроприводів. Давачі та задавачі координат електроприводу. Акумулятори та накопичувачі енергії для електроживлення (електрохімічні, електричні, електромеханічні): побудова, принцип роботи та основні показники.

Комутаційні елементи та їх характеристика. Роз'єднувачі і високовольтні вимикачі. Комутатори імпульсних джерел струму. Напівпровідникові та надпровідникові комутатори струму. Інтегральні модулі та мікропроцесори.

Тема 9.3. Електромеханічні системи

Загальна функціональна схема електромеханічної системи. Характеристики типових навантажень регульованих електроприводів. Розрахункові схеми та математичні моделі механічної частини електроприводів. Рівняння руху. Режими роботи електроприводів. Режими функціонування мехатронних імпульсних систем.

Структурні схеми, регульовальні властивості, показники якості динамки та статичні типових структур електромеханічних систем на основі електроприводів постійного та змінного струму за схемою “керований перетворювач-двигун”.

Стійкість лінійних та нелінійних систем. Алгебраїчні критерії, частотні критерії, функція Ляпунова, критерій Попова. Числові методи ідентифікації нелінійних систем.

Мікропроцесорне керування електротехнічними та електромеханічними системами. Мікроконтролери. Програмовані логічні контролери. Сигнальні процесори.

Тема 9.4. Системи електропостачання технологічних та технічних комплексів

Структура та загальна характеристика систем електропостачання. Теоретичне обґрунтування розрахункового навантаження. Практичні методи визначення розрахункового навантаження. Вимоги до надійності електропостачання. Визначення параметрів елементів систем електропостачання (силові трансформатори, мережі напругою до та понад 1000 В). Методи розрахунку втрат електричної енергії в елементах систем електропостачання, сфера їх застосування. Організаційні та технічні заходи по зменшенню втрат електричної енергії. Сутність задачі компенсації реактивною потужності. Компенсація реактивної потужності в системах електропостачання. Показники якості електричної енергії та їх нормування. Електромагнітна сумісність електротехнічних та електротехнологічних установок у вузлах навантаження електричних мереж.

Автономні системи енергозабезпечення. Характеристика джерел енергії, типи та основні параметри первинних перетворювачів електричної енергії для автономних систем живлення стаціонарних та рухомих об'єктів. Типи електричних генераторів та структури систем автоматичного керування електрогенераторними установками з теплоенергетичним, вітровим та водяним рушієм.

Гібридизація джерел живлення. Автономні системи електроживлення з відновлювальними джерелами енергії. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії.

Тема 9.5. Енергетичний менеджмент та енергозбереження в енергетичних системах та комплексах

Основні напрямки енергозберігаючої політики. Основні напрямки та резерви енергозбереження.

Напрямки та завдання енергетичного менеджменту. Оцінка та моніторинг споживання енергії.

Економіко-математичне моделювання енергетичних систем та комплексів. Збитки від недопоставок енергоресурсів та забруднення навколишнього середовища. Врахування надійності при оптимізації систем енергетики, оцінювання технічних ризиків інноваційних розробок.

Тема 9.6. Теорія електричних і магнітних кіл

Лінійні електричні кола постійного струму (основні закони електротехніки). Особливості розрахунку та методи розрахунку електричних кіл.

Лінійні електричні кола змінного струму. Однофазні та трифазні кола. Загальна характеристика.

Перехідні процеси в лінійних колах. Особливості та методи розрахунку перехідних процесів (класичний та операторний метод).

Нелінійні кола постійного струму. Методи розрахунку нелінійних електричних кіл при постійних струмах і напругах при послідовному, паралельному та змішаному з'єднанні).

Загальна характеристика магнітних кіл постійного струму та змінного струму.

Енергетичні характеристики та показники несинусоїдальних (нелінійних) кіл.

Моніторинг та діагностика параметрів нелінійних та магнітних кіл. Комп'ютерне моделювання нелінійних та магнітних кіл.

Література до розділу 9

1. Системи електропостачання з активним споживачем: моделі та режими [Електронний ресурс] : монографія / С. П. Денисюк, Т. М. Базюк, М. М. Федосенко, О. С. Ярмолюк ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : Аверс, 2017. – 182 с.

2. Денисюк, С. П. Оцінювання якості електропостачання у локальних системах з джерелами розосередженої генерації [Електронний ресурс] : монографія / С. П. Денисюк, Д. Г. Дерев'яно ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 166 с.

3. Оптимізація функціонування інтегрованих систем енергозабезпечення споживачів [Електронний ресурс] / Веремійчук Ю. А., Опришко В. П., Притискач І. В., Ярмолюк О. С. ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : Видавничий дім «Кий», 2020. – 186 с.

4. Ефективне керування режимами систем забезпечення споживачів електричною енергією [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітніх програм «Системи забезпечення споживачів електричною енергією» та «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» / В. А. Попов, В. В. Ткаченко, О.

С. Ярмолюк ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 163 с.

5. Моделювання режимів систем забезпечення споживачів електричною енергією [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітніх програм «Системи забезпечення споживачів електричною енергією» та «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» / В. А. Попов, В. В. Ткаченко, О. С. Ярмолюк ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 104 с.

6. Попов, В. А. Проектування систем забезпечення споживачів електричною енергією [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітніх програм «Системи забезпечення споживачів електричною енергією» та «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» / В. А. Попов, В. В. Ткаченко, О. С. Ярмолюк ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 222 с.

7. Праховник, А. В. Енергозбереження в промисловості. Частина 1 [Електронний ресурс] : навчальний посібник / А. В. Праховник, О. М. Суходоля, С. П. Денисюк [та ін.] ; НТУУ «КПІ». – Київ : НТУУ «КПІ», 2011.

8. Енергозбереження в промисловості. Частина 2: Енергетичне обладнання [Електронний ресурс] : навчальний посібник / А. В. Праховник, О. М. Суходоля, С. П. Денисюк [та ін.] ; НТУУ «КПІ». – Київ : НТУУ «КПІ», 2012.

9. Терентьев, О. М. Екологічна стандартизація і сертифікація [Електронний ресурс] : конспект лекцій / О. М. Терентьев ; НТУУ «КПІ». – Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – 103 с.

10. В.А. Маляренко, Л.В. Лисак, Енергетика, довкілля, енергозбереження. /Під заг. ред. проф. В. А. Маляренка, Х.: Рубікон, 2004. – 368 с.

11. На шляху до енергетичної ефективності. За ред. М.П. Ковалко, М.В. Ранцука, М.М. Кулика, О.О. Єрохіна. – Київ, Агентство з раціонального використання енергії та екології: 1997 р. – 227 с.

12. Теорія електроприводу. За ред. М.Г Поповича. - Київ: “Вища школа”, 1993. – 495 с.

13. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клешков В.Б. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. – Київ, “Либідь”, 2005. – 697 с.

14. “Енергетичний менеджмент” / Ю.В. Дзядикевич, М.В. Буряк, Р.І. Розум – Тернопіль: Економічна думка, 2010. – 295 с.

15. Костинюк Л.Д., Мороз В.І., Паранчук Я.С. Моделювання електроприводів – Львів, НУ “Львівська політехніка”, 2004. – 404 с.

16. Ткачук В.І. Електромеханотроніка. Підручник. – Львів: НУ “Львівська політехніка” 2006. – 440 с.

17. Півняк Г.Г., Волков О.В., Сучасні частотно-регульовані електроприводи зі широтно-імпульсною модуляцією: Монографія. – Дніпропетровськ, НГУ, 2006. - 470 с.

18. Сліденко В.М., Шевчук С.П., Замараєва О.В. Лістовщик Л.К. Адаптивне функціонування імпульсних виконавчих органів гірничих машин: монографія.-К.: НТУУ "КПІ", 2013.-180 .

19. Потужна дисипація енергії коливань гірничих машин гетерогенними ліофобними системами/ Єрошенко В.А., Сліденко В.М., Шевчук С.П., Студенець В.П. - К.: НТУУ "КПІ", 2016 -180 с.

20. Сліденко В.М. Математичне моделювання ударно-хвильових процесів гідроімпульсних систем гірничих машин: монографія/ В.М.Сліденко, О.М.Сліденко – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во "Політехніка", 2017. – 220 с.

21. Шевчук С.П. Насосні, вентиляторні та пневматичні установки: підручн./ С.П.Шевчук, О.М. Попович, В.М.Світлицький. – К.: НТУУ «КПІ», 2010.-308с.

22. О.М. Сінчук Технічна діагностика електротехнічних систем: МонографіяКременчук: Вид. ПП Щербатих О.В., 2012- 264с.

23. Бойко В.С. Теоретичні основи електротехніки: В 3-х т. Підручн. для студ. електротехн. спеціальн. вищих закл. осв. Том 1 / В.С. Бойко, В.В. Бойко, Ю.Ф. Видолоб [та ін.]; за заг. ред. І.М. Чиженка, В.С. Бойка.– К.: ІВЦ «Політехніка», 2004. – 272 с.

24. Бойко В.С. Теоретичні основи електротехніки: В 3-х т. Підручн. для студ. електротехн. спеціальн. вищих закл. осв. Том 2 / В.С. Бойко, В.В. Бойко, Ю.Ф. Видолоб [та ін.]; за заг. ред. І.М. Чиженка, В.С. Бойка. – К.: ІВЦ «Політехніка», 2008. – 224 с.

25. Бойко В.С. Теоретичні основи електротехніки: В 3-х т. Підручн. для студ. електротехн. спеціальн. вищих закл. осв. Том 3 / В.С. Бойко, В.В. Бойко, Ю.Ф. Видолоб [та ін.]; за заг. ред. І.М. Чиженка, В.С. Бойка. – К.: ІВЦ «Політехніка», 2013. – 244 с.

ІІІ. РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ВСТУПНОГО ІСПИТУ ІЗ СПЕЦІАЛЬНОСТІ

1. Початковий рейтинг вступника за вступний іспит із спеціальності розраховується виходячи із 100-бальної шкали. При визначенні загального рейтингу вступника початковий рейтинг за вступний іспит із спеціальності перераховується у 200-бальну шкалу за відповідною таблицею (п.4).

2. На вступному іспиті вступники готуються до усної відповіді на завдання екзаменаційного білету.

Завдання до вступного іспиту із спеціальності складається з трьох теоретичних питань за спеціальністю «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Кожне з перших двох питань оцінюється у 30 балів за такими критеріями:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації – 27-30 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації (припустимі незначні неточності) – 23-26 балів;
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації (відповідь містить певні недоліки) – 18-22 бали;
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

Третє питання оцінюється у 40 балів за такими критеріями:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації – 36-40 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації (припустимі незначні неточності) – 30-35 балів;
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації (відповідь містить певні недоліки) – 24-29 балів;
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

3. Сума балів за відповіді на вступному іспиті переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

| Бали | Оцінка |
|-------------|---------------|
| 100...95 | Відмінно |
| 94...85 | Дуже добре |
| 84...75 | Добре |
| 74...65 | Задовільно |
| 64...60 | Достатньо |
| Менше 60 | Незадовільно |

4. Сума балів за відповіді на вступному іспиті переводиться до 200-бальної шкали згідно з таблицею:

Таблиця відповідності оцінок РСО (60...100 балів)
оцінкам 200-бальної шкали (100...200 балів)

| шкала PCO | шкала 100...200 | шкала PCO | шкала 100...200 | шкала PCO | шкала 100...200 | шкала PCO | шкала 100...200 |
|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|
| 60 | 100 | 70 | 140 | 80 | 160 | 90 | 180 |
| 61 | 105 | 71 | 142 | 81 | 162 | 91 | 182 |
| 62 | 110 | 72 | 144 | 82 | 164 | 92 | 184 |
| 63 | 115 | 73 | 146 | 83 | 166 | 93 | 186 |
| 64 | 120 | 74 | 148 | 84 | 168 | 94 | 188 |
| 65 | 125 | 75 | 150 | 85 | 170 | 95 | 190 |
| 66 | 128 | 76 | 152 | 86 | 172 | 96 | 192 |
| 67 | 131 | 77 | 154 | 87 | 174 | 97 | 194 |
| 68 | 134 | 78 | 156 | 88 | 176 | 98 | 196 |
| 69 | 137 | 79 | 158 | 89 | 178 | 99 | 198 |
| | | | | | | 100 | 200 |

IV. ПРИКЛАД ЕКЗАМЕНАЦІЙНОГО БІЛЕТУ

Форма № Н-5.05

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Освітній ступінь

доктор філософії

Спеціальність

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(назва)

Навчальна дисципліна

Вступний іспит

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № _____

1. Питання 1

2. Питання 2

3. Питання 3

Затверджено

Гарант освітньої програми

Олександр ЯНДУЛЬСЬКИЙ

Київ 2024

Розробники програми:

Ковбаса Сергій Миколайович, д.т.н., доцент, зав. кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу ФЕА
Марченко Анатолій Андрійович, к.т.н., доцент, в.о. зав. кафедри автоматизації енергосистем ФЕА
Кацадзе Теймураз Луарсабович, к.т.н., доцент, в.о. зав. кафедри електричних мереж та систем ФЕА
Бардик Євген Іванович, к.т.н., доцент, доцент кафедри відновлюваних джерел енергії ФЕА
Троценко Євгеній Олександрович, к.т.н., доцент, доцент кафедри теоретичної електротехніки ФЕА
Чумак Вадим Володимирович, к.т.н., доцент, в.о. зав. кафедри електромеханіки ФЕА
Будько Василь Іванович, д.т.н., доцент, зав. кафедри відновлюваних джерел енергії ФЕА
Острроверхов Микола Якович, д.т.н., професор, зав. кафедри теоретичної електротехніки ФЕА
Денисюк Сергій Петрович, д.т.н., професор, професор кафедри електропостачання НН ІЕЕ
Попов Володимир Андрійович, д.т.н., професор, професор кафедри електропостачання НН ІЕЕ
Находов Володимир Федорович, д.т.н., доцент, доцент кафедри електропостачання НН ІЕЕ
Бслоха Галина Сергіївна, к.т.н., доцент, доцент кафедри електропостачання НН ІЕЕ
Розен Віктор Петрович, д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ
Зайченко Стефан Володимирович, д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ

Програму вступного іспиту із спеціальності для вступу на освітньо-наукову програму підготовки доктора філософії «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» рекомендовано:

Вченою радою факультету електроенергетехніки та автоматики

Голова вченої ради
протокол № 8

від « 25 » 03 2024 р.

Олександр ЯНДУЛЬСЬКИЙ

Вченою радою навчально-наукового інституту енергозбереження та енергоменеджменту

Голова вченої ради
протокол № 10

від « 29 » 03 2024 р.

Оксана БОВК