

ПРОГРАМА
вступного іспиту зі спеціальності
G3- Електрична інженерія
для здобувачів вищої освіти третього
(освітньо-наукового) рівня

Вступне слово

Програма складена з урахуванням програми рівня вищої освіти магістра зі спеціальності G3 «Електрична інженерія». Вона містить 23 розділи. В розділах 1 - 5 представлені питання з електротехніки. В розділах 6 - 16 представлені питання з електромеханіки. В розділах 17 - 23 представлені питання з електроенергетики. Розроблені питання базуються на програмі вищої освіти магістра зі спеціальності G3 «Електрична інженерія» і спрямовані на виявлення знань і умінь здобувачів вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня зі спеціальності G3 «Електрична інженерія».

Розділ 1. Основні поняття електромагнітного поля і електричних кіл.

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

Розділ 2. Теорія лінійних електричних кіл.

Електричні та електронні кола в системах передачі й перетворення енергії і інформації. Класифікація кіл та 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. Числові методи розв'язку кіл при ustalених режимах. Точні та ітераційні методи. Метод Гауса, розклад матриць на трикутні співмножники, числові методи обернення матриць. Умови збіжності ітераційних методів. Розрахунок вхідних і передатних функцій у символічній формі. Топологічні методи аналізу. Сигнальні графи та 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 опор.

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 числові 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 чотириполюсників пасивних електричних кіл. Синтез безіндуктивних чотириполюсників 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.

Розділ 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 й 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 площа. Метод змінних стану. Числові 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.

Розділ 4. Теорія електромагнітного поля.

Основні вектори та основні рівняння електромагнітного поля. Система рівнянь Максвелла. Електродинамічні потенціали. Граничні умови. Теорема Умова-Пойнтінга. Теорема Гауса.

Статичні поля. Основні рівняння електричного і магнітного статичного поля. Крайові 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, Джоуля-Ленца, Кірхгофа. Подібність

статичних і стаціонарних полів. Векторний магнітний потенціал. Потокочеплення. 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 намагнічення. Моделювання змінних полів в провідних середовищах.

Електромагнітні хвилі і випромінювання. Хвильове рівняння і його розв'язок.

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

Розділ 5. Математичні методи в задачах електротехніки, електроенергетики та електромеханіки.

Розв'язання алгебраїчних і трансцендентних рівнянь однієї змінної в задачах електротехніки (метод половинного ділення, метод простої ітерації, метод дотичних, метод Ейткена-Стефенсона, ітераційний метод послідовних наближень). Визначення коренів алгебраїчних рівнянь на основі обчислення власних значень матриці. Наближені формули для визначення коренів деяких алгебраїчних рівнянь.

Формалізовані методи аналізу електричних кіл. Структурні елементи та фізичні величини. Аналіз електричного кола на підставі законів Ома та Кірхгофа. Аналіз електричного кола на підставі вузлових і контурних рівнянь. Метод незалежних струмів. Метод контурних струмів. Метод незалежних напруг. Метод вузлових напруг. Метод міжвузлових напруг. Метод координат віток. Метод визначальних координат. Матриці вхідних і взаємних адмітансів, коефіцієнтів розподілу, вузлових і умовних вузлових імпедансів

Спеціальні обчислювальні методи. Інтерполяція та екстраполяція функцій. Апроксимація функцій. Наближене диференціювання функцій. Наближене інтегрування функцій.

Розв'язання систем лінійних рівнянь у задачах електротехніки (ітераційні методи розв'язання систем лінійних рівнянь, метод простої ітерації, метод ітерації Зейделя, метод найшвидшого спуску). Розв'язання систем лінійних рівнянь методами мінімізації (метод мінімізації суми квадратів нев'язок, метод найменших квадратів, метод мінімізації суми модулів нев'язок, метод релаксації).

Розв'язання систем нелінійних рівнянь у задачах електротехніки методами ітерації (метод простої ітерації, метод ітерації Зейделя, метод найшвидшого спуску, метод Ньютона, метод Ейткена-Стефенсона).

Розв'язання диференціальних рівнянь у задачах електротехніки (інтегрування диференціальних рівнянь за допомогою степеневих рядів, метод послідовних наближень, формули числового інтегрування). Чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь (метод Ейлера-Коші, метод Рунге-Кутта). Різницеві (багатокрокові) чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь (метод Мілна, метод Адамса). Однокрокові неявні методи. Метод Ейлера. Метод Ейлера-Коші. Багатокрокові явні методи. Багатокрокові неявні методи. Метод кусково-аналітичного розв'язання нелінійних диференціальних рівнянь.

Лінеаризація нелінійних диференційних рівнянь. Розв'язання крайових задач.

Розв'язання диференційних рівнянь у часткових похідних у задачах електричних кіл з розподіленими параметрами (метод Д'Аламбера, метод прямих, метод розділення змінних, метод малого параметру). Розв'язання еліптичних рівнянь.

Основи теорії подібності в задачах електроенергетики. Основні теореми подібності. Методи визначення критеріїв подібності явищ.

Елементи теорії множин і теорії графів. Матриці інцидентів, перетинів і коефіцієнтів розподілу дерева.

Елементи математичних основ теорії стійкості режимів електричних кіл (алгебраїчні критерії стійкості, частотні критерії стійкості). Методи Ляпунова. Еквівалентні перетворення структурних схем (перенесення вузлів та суматорів).

Основи теорії імовірностей в задачах електротехніки (випадкові події, випадкові величини). Основи математичної статистики. Визначення статичних числових характеристик випадкових величин. Основні положення теорії випадкових функцій.

Елементи теорії інформації. Стохастичні методи оптимізації в електротехнічних системах. Метод Монте-Карло в задачах електротехніки. Елементи математичних основ теорії надійності.

Елементи математичних основ оптимізації в задачах електротехніки. Метод неозначених множників Лагранжа. Основи лінійного програмування. Основи нелінійного програмування. Чисельні методи оптимізації (метод сканування, метод Монте-Карло, метод Гауса-Зайделя, метод найшвидшого спуску).

Розділ 5. Математичні моделі аналізу перехідних та хвильових процесів електроенергетичних систем (ЕЕС).

Математична модель аналізу перехідних процесів ЕЕС у методі вузлових і контурних рівнянь. Математична модель аналізу перехідних процесів ЕЕС у методі контурних координат. Математична модель аналізу перехідних процесів ЕЕС у методі вузлових координат. Математична модель аналізу електромагнетних процесів в ЕЕС із вентильними елементами та динамічним навантаженням. Математична модель електромагнетних апаратів. Математична модель асинхронного двигуна. Математична модель лінії електропередавання. Математичне моделювання несиметричних режимів. Математична модель регулятора СТК. Математична модель СТК. Математичне моделювання несиметричних режимів. Математична модель ЕЕС із вентильними елементами та динамічним навантаженням.

Математичне моделювання хвильових процесів у лініях електропередавання. Поширення хвиль у лініях електропередавання за наявності корони. Врахування скін-ефекту в проводах під час дослідження хвильових процесів у довгих лініях. Математичне моделювання хвильових процесів у трансформаторах.

Розділ 6. Методи дослідження електричних машин

Електромеханічне перетворення енергії, його умови і закони.

Конструктивні види перетворювачів - електричних машин.

Два підходи до опису електромагнітних процесів в електричних машинах: з позиції теорії поля і теорії електричних кіл. Порівняння фізичного моделювання, аналітичних і числових методів розв'язування рівнянь.

Рівняння усталеного режиму роботи електричних машин. Векторні діаграми і еквівалентні заступні схеми.

Електромагнітний момент узагальненої електричної машини, рівняння руху ротора. Статичні та динамічні механічні характеристики електродвигунів. Способи вимірювання моменту.

Нескінченний спектр гармонік поля в повітряному проміжку електричної машини. Часові і просторові гармоніки. Параметри вищих гармонік. Методи розрахунку гармонік МРС і магнітної індукції в повітряному проміжку з урахуванням зубчатості осердь та нелінійних властивостей магнітного кола. Узагальнений електромеханічний перетворювач енергії багатообмоткова електрична машина як математична модель машин з безконечним спектром гармонік поля в повітряному проміжку.

Багатообмоткові електричні машини. Математичні моделі асинхронних двигунів з подвійною білячою кліткою і синхронних машин із демпферними обмотками. Урахування впливу вихрових струмів, гістерезису та втрат в сталі.

Математичне моделювання електричних машин зі змінними параметрами. Урахування витіснення струму в провідниках, насичення та зміни моменту інерції.

Однофазні двигуни змінного струму. Електрична машина як елемент електромеханічної системи. Математичні моделі електричних машин з урахуванням зовнішніх пристроїв та елементів, які увімкнені в кола статора і ротора.

Електрична машина як елемент електромеханічної системи. Математичні моделі електричних машин з урахуванням зовнішніх пристроїв та елементів, які увімкнені в кола статора і ротора.

Розділ 7. Електромагнітне поле в електричних машинах

Область поля електричної машини. Математичний опис електромагнітного поля електричної машини.

ЕРС, яка індукована в розташованому в пазу електричної машини провіднику, залежність її від індукції в повітряному проміжку, виходячи зі зміни потокозчеплення при малому переміщенні.

Магнітне поле в гладкому проміжку між статором і ротором. Магнітне поле в ярмах статора, і ротора, (урахування кривизни, розрахунок магнітної напруги, витіснення магнітного потоку в оточуюче середовище).

Поле розсіяння в пазах різної форми. Розрахунок індуктивностей пазового, диференційного і лобового розсіяння для одношарових та двошарових багатофазних обмоток.

Вплив вихрових струмів у провідниках, які лежать в пазах, на їх активний та індуктивний опори. Заходи щодо зменшення додаткових втрат в обмотках (транспозиція елементарних провідників, скрутка в лобових частинах).

Розділ 8. Втрати і теплові явища в електричних машинах

Види втрат і фізичні причини їх виникнення в електричних машинах. Методи розрахунку основних і додаткових втрат в машинах змінного і постійного струму. ККД електричних машин і трансформаторів, способи розрахункового і експериментального визначення.

Фізичні процеси нагрівання і охолодження електричних машин та трансформаторів. Рівняння теплообміну і теплові параметри. Методи розрахунку перехідних і ustalених температур. Еквівалентні заступі схеми електричних машин та трансформаторів.

Електроізоляційні матеріали і класи їх нагрівостійкості. Залежність терміну служби ізоляції від температури і режимів роботи електричних машин та трансформаторів.

Теплові дослідження електричних машин.

Розділ 9. Спеціальні електричні машини

Електричні машини автоматичних пристроїв: виконавчі двигуни змінного і постійного струму; синхронні мікродвигуни з постійними магнітами, реактивні, гістерезисні, з електромагнітною редукцією частоти обертання; двигуни з ротором, що котиться і гнучким хвильовим ротором; універсальні колекторні двигуни; інформаційні електричні мікромашини.

Багатомірні електричні машини, двигуни зі сферичним і конічним ротором, торцеві конструкції електричних машин, уніполярні машини. Електричні машини коливного і зворотно-поступального руху, лінійні і дугостаторні двигуни, МГД - генератори і насоси. Електричні машини з надпровідними обмотками. Ємнісні електричні машини.

Розділ 10. Електричні апарати

Основні різновидності електричних апаратів. Програмовані електричні апарати. Процеси відключення та включення електричних кіл. Підігрів біметалевих елементів. Процес зношування контактів. Захисна характеристика запобіжників та методи її розрахунку. Особливості процесу комутації високочастотних електричних кіл.

Вольт-амперна характеристика електричної дуги. Умови гасіння дуги в апаратах постійного і змінного струму. Відновлювальна міцність міжконтактного проміжку апаратів. Магнітне дуття і дугогасильні камери. Розрахунок дугогасильних пристроїв.

Методи розрахунку магнітних провідностей повітряних проміжків, електромагнітних систем та динамічних характеристик електричних апаратів.

Теплові процеси в електричних апаратах та методи їх розрахунку.

Розділ 11. Механіка електропривода.

Кінематичні схеми. Навантаження механічної частини електропривода. Рушійні сили, сили опору, сили інерції. Динамічний момент. Рівняння руху електропривода як системи твердих тіл і, як системи з пружними зв'язками. Складання розрахункових механічних схем, приведення до однієї осі моментів інерції і рухомих мас, приведення моментів зовнішніх сил. Врахування втрат

при приведенні статичних та динамічних моментів до валу електродвигуна при різних напрямках передачі механічної енергії.

Узагальнене рівняння руху при змінних параметрах електропривода і механізму (маса, момент інерції, передавальне число, радіус приведення). Вплив інерційних мас на процеси пуску та гальмування, економічна ефективність та продуктивність електропривода, способи підвищення економічної ефективності роботи електропривода. Використання кінетичної енергії, що виділяється в рухомих частинах. Класифікація характеристик механізмів.

Розділ 12. Електромеханічні властивості та характеристики електродвигунів

Універсальна діаграма роботи електропривода, зворотність електричної машини. Природна та штучна механічні та електромеханічні характеристики, використання відносних одиниць при розрахунку характеристик.

Двигуни постійного струму (ДПС) з різними способами збудження. Рівняння електромеханічної та механічної характеристик електродвигуна, їх аналіз. Вплив різних та координат на вигляд цих характеристик.

Регульовальні властивості і характеристики ДПС, способи регулювання швидкості. Автономні джерела регульованої напруги, система генератор-двигун та її різновидності, система керований випрямляч-двигун, система тиристорний перетворювач-двигун, система широтно-імпульсний перетворювач-двигун. Послідовно та паралельне включення двигунів. Властивості способів регулювання. Порівняння способів регулювання за їх основними техніко-економічними показниками.

Пускові властивості і характеристики ДПС, способи пуску: прямий пуск, реостатний пуск, пуск зміною напруги якоря. Поняття про пускову діаграму. Аналітичний та графічний способи розрахунку резисторів пускових ступеней реостата.

Гальмівні властивості і характеристики ДПС, способи гальмування: противмиканням, динамічне, з рекуперацією енергії. Розрахунок резисторів пускових ступенів реостатів та гальмівних резисторів. Техніко-економічне порівняння способів гальмування.

Регульовані властивості та характеристики ДПС послідовного та змішаного збудження: реостатне регулювання, регулювання зміною потоку збудження, регулювання зміною напруги якоря, система генератор-двигун на машинах послідовного збудження. Характеристики електродвигуна при різних способах шунтування якоря і обмотки збудження. Методи розрахунку регульованих характеристик, техніко-економічне порівняння способів регулювання.

Асинхронний двигун (АД). Особливості роботи асинхронного двигуна в усталеному режимі. Схеми заміщення АД в усталеному режимі. Рівняння механічної характеристики АД і його аналіз, спрощена та повна форма рівняння механічної характеристики.

Регульовальні властивості та характеристики АД, способи регулювання швидкості. Способи розрахунку регульованих характеристик. Техніко-економічне порівняння способів регулювання швидкості асинхронних

електроприводів.

Пускові властивості та характеристики АД. Прямий пуск, покращення пускових властивостей АД при прямому пуску. Реостатний пуск АД, способи розрахунку пускового реостата. Пуск зміною напруги, яка підводиться до статора АД: перемиканням "зірка" - "трикутник", реакторний, автотрансформаторний, за допомогою перетворювача напруги, схеми включення та характеристики пристроїв плавного пуску.

Гальмівні властивості та характеристики АД. Природні та штучні способи гальмування: гальмування противмиканням, гальмування з рекуперацією енергії в мережу, гальмування постійним струмом, однофазне гальмування, конденсаторне гальмування, комбіновані способи гальмування. Техніко-економічне порівняння способів гальмування асинхронних електроприводів.

Синхронний двигун (СД). Особливості роботи СД в усталеному режимі. Властивості електропривода з синхронними двигунами. Механічні кутові та U-подібні характеристики СД. Методи регулювання швидкості СД: вентильне регулювання, частотне регулювання. Пускові властивості та характеристики СД, способи та схеми пуску. Способи гальмування. Робота синхронних електроприводів в режимі компенсації реактивної потужності. Техніко-економічні показники і сфери застосування електропривода з синхронними двигунами.

Розділ 13. Динаміка електропривода.

Види перехідних процесів електропривода. Показники якості перехідних процесів. Вплив механічної, електромагнітної і теплової енергії на перехідні процеси. Механічні, електромеханічні, теплоелектромеханічні перехідні процеси.

Методика складання диференціальних рівнянь елементів лінійних і нелінійних систем електроприводів. Методи визначення параметрів, які входять в рівняння.

Спрощені лінеаризовані моделі і структурні схеми електроприводів. Динамічні властивості електропривода з лінійною механічною характеристикою без урахування та з урахуванням пружних зв'язків. Поняття про демпфуючу здатність електропривода. Особливості частотних характеристик елементів системи електроприводів з пружними зв'язками.

Зображення перехідних процесів в часовій площині і в площині "швидкість-момент".

Розділ 14. Вибір потужності основних елементів електропривода.

Принципи вибору потужності електродвигуна. Фактори, які визначають номінальну потужність приводного двигуна і його перевантажувальну здатність. Допустимий нагрів електродвигуна. Строки служби ізоляції електричних машин в залежності від теплового режиму.

Навантажувальні та швидкісні діаграми електроприводів та методика їх побудови.

Основи теорії нагріву. Основні допущення при аналізі процесу нагріву електричних машин і апаратів. Сталі часу та параметри теплового процесу. Вплив теплової інерції при нагріві. Нагрів електричних машин при постійному

та змінному навантаженні та в усталених і пуско-гальмівних режимах..

Вибір потужності електродвигуна при тривалому режимі роботи. Вибір потужності двигуна при короткочасному режимі роботи. Вибір потужності електродвигуна при повторно-короткочасному режимі за середніми втратами, середньоквадратичними величинами струму, моменту і потужності. Врахування змін умов охолодження та умов комутації на колекторі.

Розділ 15. Формування статичних і динамічних характеристик систем автоматизованого електропривода

15.1. Релейно-контактори і системи керування рухом електропривода

Принципи автоматичного керування пуском і гальмуванням електропривода з параметричним регулюванням струму, моменту і швидкості. Типові вузли завдання напрямку і величини швидкості, вузли плавного вибору величини люфтів тощо. Типові вузли захисту і блокування. Розрахунок параметрів і вибір елементів типових вузлів релейно-контакторних схем керування.

Типові схеми формування пуско-гальмівних режимів в системах релейно-контакторного керування електроприводами постійного струму з двигунами незалежного послідовного та змішаного збудження. Схеми з регулюванням струму якоря при зміні поля двигуна. Типові схеми формування пуско-гальмівних режимів в системах з релейно-контакторним керуванням асинхронними двигунами з короткозамкнутим і фазним ротором. Бездугова комутація. Напівпровідникові комутатори. Типові схеми формування пуску і гальмування електроприводів з синхронними двигунами. Вплив автоматичного регулювання збудження на характеристики та властивості синхронних приводів.

Використання безконтактних пристроїв, які працюють за принципом релейних систем для керування роботою електропривода. Типи безконтактних пристроїв.

15.2. Формування статичних і динамічних характеристик замкнених систем електроприводів постійного струму

Застосування зворотних зв'язків для формування штучних характеристик електроприводів. Види зв'язків: за напругою, струмом, магнітним потоком, швидкістю. Нелінійні зворотні зв'язки та зв'язки з відсічками. Комбіновані зв'язки. Методи розрахунку регулювальних і штучних характеристик електродвигунів в системах із зворотними зв'язками. Перехідні процеси при послідовному з'єднанні ланок системи керування електроприводами, при наявності декількох прямих і зворотних зв'язків. Перехідні процеси при наявності в системі нелінійностей різного роду (зв'язки з відсічками, зони нечутливості, сухе тертя, люфти, обмеження координат і ін.).

Передавальні функції динамічних систем. Алгебраїчні та частотні методи дослідження стійкості та якості динаміки електромеханічних систем. Еквівалентні перетворення структурних схем. Методи побудови та дослідження перехідних та імпульсних характеристик електромеханічних систем. Статичні та астатичні системи.

Типові вузли типові регулятори координат замкнутих систем керування швидкістю електропривода постійного струму, розрахунок їх параметрів і вибір

елементів. Статичні характеристики при різних зворотних зв'язках.

Вузли схем керування полем двигуна. Особливості аналізу і синтезу систем при керуванні полем двигуна. Формування статичних і динамічних характеристик при керуванні полем двигуна.

Типова схема керування електроприводом в системі ТП-Д. Особливості формування потрібних статичних і динамічних характеристик. Корежуючі та формуючі зворотні зв'язки. Вплив зони перервних струмів перетворювача. Особливості схеми з нереверсивним тиристорним перетворювачем. Аналіз статичних і динамічних характеристик.

Система Г-Д з тиристорним збудженням. Синтез корегуючих зв'язків. Розрахунок параметрів зворотних зв'язків. Формування оптимальних перехідних процесів, статичних і динамічних характеристик. Тиристорні збудники, схеми і розрахунки. Стабілізація прискорення або підтримання стабільності струму в перехідних процесах з різними навантаженнями.

Структури підпорядкованого регулювання координат, особливості їх послідовної корекції. Забезпечення граничної швидкодії перехідних процесів. Критерії оптимізації динаміки. Амплітудно-частотний критерій. "Модульний" і "Симетричний" оптимуми.

Синтез модального регулятора в одномасових системах. Умова астатизму одномасових систем з модальним регулятором.

15.3. Формування статичних і динамічних характеристик систем електроприводів змінного струму

Типові вузли схем керування швидкістю асинхронних електроприводів з перетворювачами напруги, розрахунок їх параметрів і вибір елементів (система ТПН-АД) .

Керування асинхронним електроприводом з періодичною зміною додаткового опору в колі ротора двигуна. Типові вузли схем, розрахунок їх параметрів і вибір елементів. Схеми керування асинхронним електроприводом з імпульсним регулюванням струму двигуна.

Система ПЧ-АД. Типові вузли схем і типові схеми керування з різними перетворювачами частоти. Особливості синтезу, замкненої системи регулювання швидкості, розрахунок параметрів і вибір елементів схем. Формування статичних і динамічних характеристик. Системи частотно-струмового керування.

Системи векторного керування АД. Стратегія орієнтації за вектором поля (FOC). Стратегія прямого керування моментом (DTC). Ідентифікація потокозчеплення та електромагнітного моменту. Модель АД в системі векторного керування. Принцип просторово-векторної модуляції.

Типові вузли схем керування асинхронними електроприводами з каскадним регулюванням швидкості. Розрахунок параметрів і вибір елементів схем. Схеми автоматичного керування синхронно-вентильним електричним і електромеханічним каскадами.

Частотне керування синхронним електроприводом. Синхронний двигун, який живиться від незалежно керованого перетворювача частоти.

Синхронний двигун, який живиться від залежного перетворювача частоти (вентильний двигун, SRM): безщітковий двигун постійного струму (BLDC), синхронний двигун з постійними магнітами (PMSM). Формування статичних і

динамічних характеристик, електромагнітного моменту, граничні характеристики, перевантажувальна здатність. Механічні характеристики вентильного двигуна з керуванням за напругою і за струмом. Регулювання швидкості вентильного двигуна: зміною збудження, зміною напруги живлення, поворотом осі давача положення відносно осі фаз обмоток статора.

Особливості керування вентильним реактивним двигуном: топології силового напівпровідникового комутатора, способи керування в різних діапазонах регулювання швидкості.

Бездавачеве керування швидкістю електроприводів змінного струму. Спостерігачі координат електропривода, їхні типи і структури та вимоги до властивостей. Способи ідентифікації кута положення ротора.

Розділ 16. Тягові системи електроприводів з автономним живленням.

Завдання і проблеми тягових електроприводів з автономним живленням. Класифікація і структури енергетично-тягових систем гібридних та повних електромобілів.

Бортові джерела нагромадження та зберігання електроенергії: електрохімічні акумуляторні батареї, конденсатори ультрависокої ємності, маховики ультрависокої швидкості, паливні елементи. Однотипні та гібридні системи бортового живлення, структури їх побудови, топології силових напівпровідникових перетворювачів.

Системи електроприводів автономних електричних транспортних засобів на базі асинхронних двигунів, синхронних двигунів з постійними магнітами, вентильних реактивних двигунів, безщіткових двигунів постійного струму. Порівняльні властивості систем транспортних електроприводів та перспективні напрямки їх застосування.

Розділ 17. Техніка високих напруг

Електротехнічні матеріали – їх характеристики. Фізичні процеси при електричних розрядах в газах. Електричні поля в неоднорідній ізоляції. Роль ізоляції в електроустановках. Вплив характеристик ізоляції на техніко-економічні показники електрообладнання. Електрична міцність повітряних проміжків ізоляційних конструкцій. Розряди в однорідному та неоднорідному полях. Характеристики розряду в повітряних проміжках за дії змінної, постійної та імпульсної напруги. Розряди по чистій, забрудненій та зволоженій поверхні ізоляційних конструкцій. Основні види та електричні характеристики внутрішньої ізоляції електроустановок. Фізичні умови розвитку розрядів в рідких, твердих та комбінованих діелектриках. Фізичні основи контролю внутрішньої ізоляції. Використання явищ міграційної поляризації, контроль за кутом діелектричних втрат, за інтенсивністю часткових розрядів. Контроль підвищеною напругою. Методи та установки для одержання високих змінних, постійних та імпульсних напруг і струмів. Вимірювання високих напруг.

Координація ізоляції ліній електропередачі та підстанцій. Ізоляція кабелів. Ізоляція трансформаторів. Ізоляція електричних машин. Загальна характеристика перенапруг. Зовнішні перенапруги. Блискавка та її дія. Характеристика грозової діяльності.

Блискавковідводи. Заземлювачі. Розрядники та обмежувачі перенапруг.

Грозозахист ліній електропередавання та підстанцій. Грозозахист електричних машин.

Загальна характеристика внутрішніх перенапруг та захист від них.

Розділ 18. Електричні мережі (електромережі).

Загальна характеристика електричних мереж і систем та їхніх режимів. Режими електричних мереж та систем. Задачі розрахунку електричних мереж та систем. Джерела живлення. Споживачі електричної енергії. Класифікація електричних мереж.

Елементи теорії передавання електричної енергії.

Заступні схеми елементів електричних мереж і систем та їхні параметри. Лінії електропередавання. Трансформатор як електромагнітний перетворювач енергії. Класифікація трансформаторів, їх спеціальні типи. Фізичні процеси в трансформаторі. Магнітні системи і обмотки трансформаторів, групи з'єднання обмоток. Основні рівняння і заступні схеми трансформатора. Параметри трансформаторів, методи їх визначення. Паралельна робота трансформаторів. Несиметричні режими роботи трансформаторів. Перехідні процеси в трансформаторах.

Струмообмежувальні та шунтові реактори. Конденсаторні батареї. Джерела живлення. Навантаження. Втрати потужності в елементах електричної мережі. Втрати електроенергії в елементах електричної мережі. Розрахункове навантаження вузла.

Аналіз ustalених режимів розімкнених електричних мереж. Векторна діаграма струмів та напруг лінії електропередавання. Розрахунок режимів радіальної електричної мережі. Розрахунок режимів магістральної електричної мережі. Розрахунок складнорозгалужених електричних мереж. Розрахунок режимів ліній постійного струму

Аналіз режимів замкнених електричних мереж. Наближений метод знаходження поточкорозподілу потужностей в електричній мережі з двостороннім живленням. Точний метод знаходження поточкорозподілу потужностей в електричній мережі з двостороннім живленням. Наближений розрахунок ustalених режимів електричної мережі з двостороннім живленням, якщо напруги пунктів живлення різні. Наближений розрахунок замкненої електричної мережі з різними номінальними напругами. Аналіз режимів складнозамкненої електричної мережі методами контурних рівнянь (визначальних координат) та контурних потужностей.

Аналіз ustalених режимів розімкнених електричних мереж та систем формалізованими методами. Математична модель аналізу ustalених режимів ЕЕС у методі вузлових напруг. Математична модель аналізу ustalених режимів ЕЕС у методі контурних струмів. Математична модель аналізу ustalених режимів ЕЕС у методі балансу потужностей.

Основи керування режимами електроенергетичних мереж та систем. Баланс активної та реактивної потужностей. Якість електричної енергії. Регулювання напруги в електричних мережах. Регулювання частоти. Надійність роботи електроенергетичних систем. Економічність режимів електроенергетичних систем.

Проектування розвитку електричних мереж та систем. Задачі та зміст

проектів. Прогнозування навантаження. Техніко-економічне порівняння варіантів розвитку електричної мережі за критерієм абсолютної ефективності. Умови порівняння варіантів. Визначення капіталовкладень і щорічних видатків. Вибір схеми і параметрів електричної мережі. Вибір номінальної напруги електричної мережі. Вибір перерізу проводів повітряних ліній. Вибір перерізу проводів ліній за допустимими втратами напруги. Вибір трансформаторів і автотрансформаторів підстанцій. Принципові електричні схеми розподільних підстанцій напругою 10(6)-750 кв.

Розділ 19. Електричні станції (електрична частина)

Технологічні схеми електростанцій (ЕС) різного типу. Графіки навантажень ЕС та їх регулювання. Вплив зростання одиничної потужності генераторів, силових трансформаторів та електричних двигунів на побудову схем ЕС, на вимоги до комутаційної апаратури та струмопровідних елементів. Особливості головних схем і схем власних потреб ЕС різного типу.

Методи та засоби обмеження струмів короткого замикання (КЗ). Експлуатаційні характеристики та конструктивні особливості струмопровідних елементів, контактних сполучень, методика їх вибору.

Режими роботи синхронних генераторів двигунів, компенсаторів та їх систем збудження. Методика їх аналізу. Режими роботи електродвигунів власних потреб ЕС в нормальних та аномальних режимах. Режими роботи силових трансформаторів на електростанціях та підстанціях.

Системи управління, контролю та сигналізації на ЕС і підстанціях.

Заземляючі пристрої електроустановок.

Основи проектування електростанцій. Конструкція розподільних пристроїв, компоновка електричних станцій та підстанцій. Оцінка надійності схем електричних з'єднань електроустановки.

Розділ 20. Електромагнітні перехідні процеси

Причини та наслідки електромагнітних перехідних процесів. Складання розрахункових схем заміщення та визначення їх параметрів для основних елементів електричних станцій, підстанцій, ліній електропередавання в різних системах одиниць.

Електромагнітний перехідний процес трифазного КЗ в активно-реактивному колі електричної мережі. Трифазне КЗ у лінійних колах з зосередженими параметрами. Вимушені та вільні складові параметрів перехідного процесу. Ударний струм та найбільше діюче значення струму трифазного КЗ. Наближений розрахунок перехідного процесу у складних електричних мережах.

Електромагнітні перехідні процеси з врахуванням впливу синхронних генераторів електростанцій. Системи координат, які використовуються при аналізі перехідних процесів. Рівняння синхронної машини у фазових координатах. Коротке замикання синхронної машини без демпферних обмоток. Вплив і наближене врахування демпферних обмоток. Перехідний процес трифазного КЗ обертових електричних машин. Початковий момент перехідного процесу. Розрахунок початкового значення складових струму КЗ. Розрахунок струму несинхронного вмикання СГ та струму асинхронного пуску двигуна.

Зміна в часі ЕРС, струму і напруги генератора. Усталений режим трифазного короткого замикання. Вплив та врахування автоматичного регулювання збудження обертових електричних машин.

Несиметричні короткі замикання. Застосування методу симетричних складових до розрахунку несиметричних КЗ в електричних мережах. Складання схем заміщення елементів електричних мереж для різних послідовностей та визначення параметрів їх елементів. Електромагнітний перехідний процес під час несиметричних коротких замикань в електромережах із заземленими нейтралями трансформаторів. Перехідний процес під час замикань на землю в мережах з ізольованою та резонансно-заземленою нейтраллю. Правило еквівалентності прямої послідовності. Комплексні розрахункові схеми для різних видів несиметричних КЗ. Розподіл та трансформація складових струмів та напруг. Побудова епюр напруг послідовностей. Порівняння різних видів коротких замикань.

Практичні методи розрахунку симетричних та несиметричних коротких замикань.

Одноразова поздовжня несиметрія. Розрахунок струмів коротких замикань з врахуванням особливих умов.

Розділ 21. Аварійні режими та стійкість електроенергетичних систем

Класифікація аварійних режимів і процесів. Метод симетричних складових для аналізу несиметричних аварійних режимів та розрахункові схеми заміщення елементів.

Методи розрахунку аварійних режимів і перехідних процесів у складних ЕЕС, у тому числі й у фазних координатах. Загальні рівняння перехідних електромеханічних процесів в ЕЕС.

Основні поняття теорії стійкості ЕЕС. Моделі та розрахункові схеми заміщення елементів ЕЕС для аналізу стійкості. Структурні схеми та рівняння систем регулювання. Статична стійкість ЕЕС. Динамічна стійкість ЕЕС. Методи розрахунку та засоби забезпечення стійкості складних ЕЕС.

Проблема стійкості електроенергетичних систем. Основні поняття і визначення. Статична стійкість електроенергетичної системи. Метод малих коливань. Критерії статичної стійкості. Вплив регулювання генераторів електростанцій на статичну стійкість електроенергетичної системи. Динамічна стійкість електроенергетичної системи. Розрахункові умови для дослідження динамічної стійкості. Правило площ для аналізу динамічної стійкості. Стійкість вузлів навантаження електроенергетичних систем. Лавина напруги. Асинхронні режими в електричних системах. Засоби покращення статичної та динамічної стійкості електроенергетичних систем.

Розділ 22. Автоматичне керування та релейний захист електроенергетичних систем

Задачі керування електроенергетичною системою та її елементами. Основні положення теорії інформації та принципи побудови інформаційно-керуючих систем, у тому числі в електроенергетиці.

Побудова, структура та інформаційне забезпечення систем керування в електроенергетиці. Сигнали і завади. Методи аналізу сигналів. Передача і

захист даних.

Телемеханічні системи передачі інформації в електроенергетичній системі. Принципи побудови пристроїв телевимірювання, телесигналізації та телекерування. Оброблення та відображення телеінформації. Автоматика електроенергетичних систем, призначення, вимоги, функції, принципи роботи, засоби реалізації. Пристрої автоматики: автоматичне вмикання резервного живлення, автоматичне повторне вмикання, автоматичне частотне розвантаження, автоматичне вмикання синхронних машин на паралельну роботу.

Автоматичне регулювання напруги та реактивної потужності в електроенергетичній системі. Автоматичне регулювання збудження синхронних машин. Автоматичне регулювання частоти та активної потужності. Призначення та особливості функціонування протиаварійної автоматики. Види протиаварійної автоматики.

Релейний захист об'єктів електроенергетичних систем, призначення, вимоги, функції, та принципи дії, засоби реалізації. Релейний захист об'єктів електроенергетичних систем: ліній електропередавання, генераторів, трансформаторів, шин, батарей статичних конденсаторів, двигунів.

Розділ 23. Відновлювальні джерела енергії

Класифікація відновлювальних джерел енергії. Елементи систем відновлювальної енергетики. Проектування мереж з джерелами відновлювальної енергетики. Автоматика та релейний захист мереж з відновлювальними джерелами енергії. Спільна робота енергосистеми та відновлювальних джерел енергії. Особливості електричних мереж для електротранспорту. Режимы електропостачальних систем з відновлювальними джерелами енергії. Екологічні аспекти відновлювальної енергетики.

Форми контролю та критерії оцінювання

Організування та проведення вступних випробувань до аспірантури здійснюється відповідно до Правил прийому до аспірантури Національного університету «Львівська політехніка» у відповідному році.

Вступний іспит зі спеціальності G3- Електрична інженерія проводиться у письмовій формі згідно з окремим графіком, який затверджується Ректором Університету та оприлюднюється на інформаційному стенді відділу докторантури та аспірантури й офіційному веб-сайті Університету не пізніше, ніж за 3 дні до початку прийому документів.

Екзаменаційні білети вступного іспиту зі спеціальності G3- Електрична інженерія формуються в обсязі програми рівня вищої освіти магістра зі спеціальності G3- Електрична інженерія та затверджуються на засіданні Вченої ради Навчально-наукового інституту енергетики та систем керування.

Результати вступного іспиту зі спеціальності оцінюються за 100-бальною шкалою.

Екзаменаційний білет вступного іспиту до аспірантури зі спеціальності G3- Електрична інженерія містить:

- письмову компоненту з п'яти питань (1-2 питання вибірково з розділі програми, кожне із п'яти питань екзаменаційного білета оцінюється максимально в 20 балів, максимальна сумарна кількість балів письмової компоненти – 100 балів);

Критерії оцінювання кожного питання письмової та усної компоненти вступного іспиту зі спеціальності G3- Електрична інженерія є такими:

Оцінка «відмінно» (18-20 балів для питань письмової компоненти): вступник в аспірантуру бездоганно засвоїв теоретичний матеріал щодо змісту питання; самостійно, грамотно і послідовно з висловлює повноту письмово відповідей на питання; демонструє глибокі та всебічні знання, логічно будує відповідь; висловлює своє ставлення до тих чи інших проблем; вміє встановлювати причинно-наслідкові зв'язки, логічно та обґрунтовано будувати висновки.

Оцінка «добре» (14-17 балів для питань письмової компоненти): вступник в аспірантуру добре засвоїв теоретичний матеріал щодо змісту питання, аргументовано викладає його; розкриває основний зміст питання, дає неповні визначення понять, допускає незначні порушення в послідовності викладення матеріалу та неточності при використанні наукових термінів; нечітко формулює висновки у письмовій формі, висловлює свої міркування щодо тих чи інших проблем, але припускається певних помилок у логіці викладу теоретичного змісту.

Оцінка «задовільно» (10-13 балів для питань письмової компоненти): вступник в аспірантуру в основному засвоїв теоретичний матеріал щодо змісту питання; фрагментарно розкриває зміст питання і має лише загальне його розуміння; при відтворенні основного змісту питання допускає суттєві помилки, наводить прості приклади, некоректно застосовує поняття та терміни.

Оцінка «незадовільно» (0-9 балів для питань письмової компоненти): вступник не засвоїв зміст питання, не знає основних його понять; дає неправильну відповідь на запитання.

Виконання завдань вступного іспиту зі спеціальності G3- Електрична інженерія передбачає необхідність неухильного дотримання норм та правил академічної доброчесності відповідно до Положення про академічну доброчесність у Національному університеті «Львівська політехніка». За порушення зазначених норм та правил вступники в аспірантуру притягаються до відповідальності згідно вимог чинного законодавства.

Рекомендована література

1. Баран П.М., Кідиба В.П., Цифровий захист ліній електропередавання: навч. посібник – Львів : Видавництво Львівська політехніка, 2023. – 260 с.
2. Бобало Ю. Я. Електротехніка і електроніка для інтерактивного, зокрема, інклюзивного вивчення: навчальний посібник / Ю. Я. Бобало, П. Г. Стахів, Н. Б. Шаховська, О. Є. Гамола, І. І. Васильчишин. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. – 100 с.
3. Бобало Ю.Я., Мандзій Б.А., Писаренко Л.Д., Якименко Ю.І. Основи теорії електронних кіл: Підручник / За ред. проф. Стахіва П.Г.– Львів: Магнолія плюс, 2006.– 205 с.
4. Болюх В. Ф. Збірник задач з електротехніки: навчальний посібник / В. Ф. Болюх, К. В. Коритченко, В. С. Марков, І. В. Поляков, Є. В. Гончаров, Н. В. Крюкова, Н. П. Мусихіна. – Харків: НТУ "ХПІ", 2021. – 196 с.
5. Бржезіцький В.О., Ісакова А.В., Рудаков В.В. Техніка та електрофізика високих напруг: Навч. посібник.-Харків:НТУ «ХПІ»-Торнадо, 2005.-930с.
6. Букович Н.В. Автоматика електроенергетичних систем. - Київ, 1998. - 280 с.
7. Букович Н.В. Протиаварійна режимна автоматика електроенергетичних систем: Навч. посіб. – Л.:Бескид Біт, 2003.
8. Букович Н.В. Розрахунок струмів короткого замикання електроенергетичних систем. Львів, 1988. - 248 с.
9. Букович Н.В. та ін. Розрахунок струмів коротких замикань: Навч. посібник / Букович Н.В., Лисяк Г.М., Міркевич Г.Н., Яцейко А.Я. – Львів, Видавництво Національного університету "Львівська політехніка": 2018. – 236с.
- 10.Букович Н.В., Міркевич Г.Н. Розрахунок струмів короткого замикання. Навч. посібник. - К.: УМК ВО, 1991. - 224 с.
- 11.ВНС Львівської політехніки з дисципліни «Електромагнітна сумісність». <https://vns.lpnu.ua/course/view.php?id=8233>
- 12.Гамола О. Є. Електротехнічний практикум: навчальний посібник / О. Є. Гамола, В. І. Коруд, В. С. Мадай, Н. П. Мусихіна. – Львів: Магнолія-2006, 2017. – 194 с.
- 13.Голота А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах: навч. посібник / А. Д. Голота. – К. : Вища шк., 2006. – 367 с.

- 14.ДСТУ ІЕС/TR 609094:2008 Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму. Київ: Держспоживстандарт України. - 2009
- 15.ДСТУ ІЕС 60909-4:2008 Струм короткого замикання у трифазних системах змінного струму. Частина 4. Приклади обчислення сили струму короткого замикання (ІЕС TR 60909-4:2000, IDT).
- 16.Експлуатація електроустановок: Навчальний посібник / Г.Г.Півняк, А.В.Журахівський, Г.А. Кігель, Б.М.Кінаш, А.Я.Рибалко, Ф.П.Шкрабець, З.М.Бахор: За ред. Академіка НАН України Г.Г.Півняка. - Дніпрпетровськ: Національний гірничий університет, 2005. – 445с.
- 17.Електрична частина станцій та підстанцій: курс лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/уклад.: О.В. Остапчук, П.Л. Денисюк, Ю.П. Матеєнко/КПІ ім. Ігоря Сікорського– Київ: КПІ ім Ігоря Сікорського, 2022. – 183 с.
- 18.Електричні машини та мікро машини: Навчальний посібник для електротехн. спец. ВНЗів / В.П. Метельський; наук. ред. А.М. Кравченко. - 2-ге вид., доповнене й перероблене. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2005. -616 с.
- 19.Електричні машини. Синхронні машини. Машини постійного струму: Навчальний посібник/ Л.В. Кубинець, О.І. Момот, О.Л. Маренич. - Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2007. - 200 с.
- 20.Електричні машини. Трансформатори. Асинхронні машини: Навчальний посібник/ Л.В. Кубинець, О.І. Момот, О.Л. Маренич. - Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн.
- 21.Жежеленко І.В., Шидловський А.К., Півняк Г.Г. и др. Електромагнітна сумісність споживачів. - Дніпро, Вид. Нац. гірничого ун-ту, 2012. — 351 с.
- 22.Журахівський А.В., Жежеленко Г.В. Оптимізація режимів електроенергетичних систем. Навч. посібник. - Львів, Маріуполь. 2000. - 109 с.
- 23.Кириленко О.В. Математичне моделювання в електроенергетиці: підручник/ Кириленко О. В., Сегеда М.С., Буткевич О.Ф., Мазур Т.А. – 2-ге видання – Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2013.-608с.
- 24.Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем / В. П. Кідиба. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 504 с.
- 25.Коруд В. І., Гамала О. Є., Малинівський С. М. Електротехніка: Підручник/ За ред. В. І. Коруда.–3-тє вид., переробл. і доп.–Львів: “Магнолія плюс”, 2006.–447 с.
- 26.Костинюк Л.Д., Мороз В.І., Паранчук Я.С. Моделювання електроприводів. - Львів; НУ "Львівська політехніка", 2004. - 404 с.
- 27.Маврін О.І., Покровський К.Б. Електротехнічні матеріали. Львів, 2016. – 140 с.

28. Маврін О.І., Покровський К.Б., Равлик О.М. Техніка високих напруг. Навчальний посібник з курсу «Техніка високих напруг» для студентів напрямку "Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка"- Львів: Видавництво «Національного університету «Львівська політехніка», 2019.-120с.
29. Малинівський С. М. Загальна електротехніка: Навч. посібник.-Львів: Видавництво Національного ун-ту «Львівська політехніка», 2001.-596 с.
30. Маляр В. С. Теоретичні основи електротехніки: підручник / В. С. Маляр. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 415 с.
31. Перехідні процеси в енергетиці : [Навчальний посібник] / В.В. Козирський, О.В. Гай. – К. : ЦП «Компринт», 2016. – 489 с.
32. 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 51 освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 5-те вид., доопрац. та допов. – Дніпро : НГУ, 2016. – 600 с.
33. Перхач В.С. Математичні задачі електроенергетики. - Львів: Вища школа, 1989. - 462 с.
34. Перхач В.С., Скрипник О.І. Обчислювальна техніка в електроенергетичних розрахунках. - Львів. Світ. - 1992. - 452 с.
35. Півняк Г.Г., Волков О.В. Сучасні частотно-регульовані електроприводи зі широтноімпульсною модуляцією: Монографія. - Дніпропетровськ, НГУ, 2006. - 470 с.
36. Півняк Г.Г., Довгань В.П., Шкрабець Ф.П. Електричні машини: Навчальний посібник. - Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. -327 с.
37. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. - Київ, “Либідь”, 2005. 697 с.
38. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування". – Київ “Либідь” 1997. — 504с.
39. Правила улаштування електроустановок. –Видання офіційне. Міненерго вугілля України. – Х.: Видавництво «Форт», 2017.-760 с..
40. Проектування структурних схем електростанцій та підстанцій: навч. посіб. / М.С. Сегеда, В.Г. Гапанович, В.П. Олійник, К.Б. Покровський. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010, - 144 с.
41. Проектування підстанцій електричних мереж: навч. посібник / З.М.Бахор, А.Я.Яцейко. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2023. – 304 с.
42. Розрахунок перехідних процесів у лінійних електричних колах із зосередженими і розподіленими параметрами :навч. посіб. / І. А. Курило, В. П. Грудська, Л. Ю. Спінул, М. А. Щерба.-К.: НТУУ “КПІ”, 2013. - 289 с.

43. Розрахунок струмів коротких замикань. Навчальний посібник / Н.В. Букович, Г.М. Лисяк, Г.Н. Міркевич, А.Я. Яцейко – Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2018. – 236 с.
44. Сегеда М.С. Електричні мережі та системи: підручник/ 3-тє видання перероблене та доповнене – Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2015.-538с.
45. Теоретичні основи електротехніки : підруч. для студ. вищ. навч. закл.: у 3 т. / М. О. Костін, О. Г. Шейкіна. - Д. : Дніпропетровський національний ун-т залізничного транспорту ім. В.Лазаряна, 2006 . - ISBN 966-8471-06-7
46. Теоретичні основи електротехніки. Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими та розподіленими параметрами : підручник / Ю. О. Карпов, С. Ш. Кацев, В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький ; під ред. проф. Ю. О. Карпова – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 377 с.
47. Теоретичні основи електротехніки: підручник / В.С.Хілов. – Д.: Національний технічний університет “Дніпровська політехніка”, 433 с. 2021 рік.
48. Теоретичні основи електротехніки: Підручник: У 3 т. / В.С. Бойко, В.В. Бойко, Ю.Ф. Видолоб та ін.; За заг. ред. І.М. Чиженка, В.С. Бойка. - К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2004. - Т. 1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. - 272 с: іл.
49. Теорія електроприводу. За ред. М.Г. Поповича. - Київ: "Вища школа". 1993. - 495 с, 28. Ключев В. И. Теория электропривода. - М.: Энергоатомиздат, 2001. - 697 с.
50. Ткачук В.І. Автоматизоване проектування колекторних двигунів постійного струму: Навч. посібник. - Л.: Видавництво Національний університет "Львівська політехніка", 2005. - 348 с.
51. Ткачук В.І. Електромеханотроніка. Підручник. - Львів: НУ "Львівська політехніка", 2006. -440 с.
52. Черемісін М. М. Перехідні процеси в системах електропостачання. – Х.: Факт, 2005. – 176 с.
53. Яндульський О.С., Дмитренко О.О. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем Під загальною редакцією д.т.н. О.С. Яндульського К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 102 с.
54. Яцун М.А. Електричні машини. - Л.: Львівська політехніка, 2001. - 428 с.
55. Analysis of Dynamic Systems, John Wiley & Sons Inc, 2001.- 592 p.
56. Dennis M. Buede The Engineers Design of Systems: Models and Methods, John Wiley & Sons Inc., 1999.
57. Dugan R.C., McGranaghan M.F., Santoso S., Beaty W.H. Electrical Power System Quality. - McGraw-Hill.-2004 – 521 с.
58. Handbook of power quality / Edited by Angelo B. Baghini. - John Wiley & Sons - 2008. – 618 с.