



МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПОЛЬОВОГО АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський) - магістр професійного спрямування</i>
Галузь знань	<i>G «Інженерія, виробництво та будівництво»</i>
Спеціальність	<i>G3 «Електрична інженерія»</i>
Освітня програма	<i>Електричні машини і апарати (electric machines and apparatus)</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>I курс, 2 семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>150 годин / 5 кредитів ECTS</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен/РГР/МКР</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., проф. Васьковський Юрій Миколайович, тел. 0501022010; д.ф., ст. викл. Ігнатюк Євген Станіславович, тел. 0971125679 Практичні: проф. Васьковський Юрій Миколайович; ст. викл. Ігнатюк Євген Станіславович</i>
Розміщення курсу	<i>Посилання на дистанційний ресурс Moodle https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3942</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Програму навчальної дисципліни «Методи та засоби польового аналізу електричних машин» складено відповідно до Освітньо-професійної програми другого (магістерського) рівня вищої освіти підготовки магістрів професійного спрямування за спеціальністю G3 «Електрична інженерія» та освітньою програмою «Електричні машини і апарати».

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів наступних компетентностей і отримання наступних програмних результатів навчання:

Загальні компетентності:

ЗК1. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК3. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК5. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК6. Здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями.

Фахові компетентності:

ФК6. Здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для використання в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

ФК14. Здатність використовувати програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання, автоматизованого проектування, автоматизованого виробництва і автоматизованої розробки

або конструювання елементів електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем

ФК18. Здатність моделювати та досліджувати за допомогою сучасних програмних та апаратних засобів характеристики фізичних (електромагнітних, теплових, вібраційних тощо) полів в електричних машинах і апаратах.

ФК20. Здатність аналізувати і використовувати отримані результати розробок новітніх типів електричних машин та апаратів для подальшої їх комерціалізації в складі стартап-проектів, у тому числі для продажу ліцензій і трансферу технологій.

ФК21. Здатність до критичного аналізу та оцінки сучасних світових науково-технічних досягнень в сфері електричних машин та апаратів та прогноз створення та розвитку нових ефективних технічних рішень.

Предметом навчальної дисципліни є сукупність математичних методів для визначення на основі теорії електромагнітного поля параметрів та експлуатаційних характеристик сучасних електричних машин, методи їх дослідження та розрахунку.

Програмні результати навчання:

ПРН02. Відтворювати процеси в електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах при їх комп'ютерному моделюванні.

ПРН03. Опановувати нові версії або нове програмне забезпечення, призначене для комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.

ПРН05. Аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексах і системах.

ПРН07. Володіти методами математичного та фізичного моделювання об'єктів та процесів в електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.

ПРН11. Обґрунтовувати вибір напрямку та методики наукового дослідження з урахуванням сучасних проблем в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ПРН12. Планувати та виконувати наукові дослідження та інноваційні проекти в сфері електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ПРН21. Знати сучасні методи математичного моделювання електричних машин і апаратів, електромеханічних перетворювачів енергії та електромеханічних комплексів.

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

Пререквізити: успішне засвоєння дисципліни базується на знаннях, отриманих студентом під час вивчення таких дисциплін, як «Фізика», «Вища математика», «Теоретичні основи електротехніки», «Математичне моделювання електричних машин».

Постреквізити: В структурно-логічній схемі навчального плану підготовки магістрів дисципліна «Технічна електродинаміка» забезпечує подальше вивчення дисциплін на третьому рівні вищої освіти – доктор філософії (PhD).

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліна структурно складається з 5-ти змістовних модулів, а саме:

Змістовий модуль 1. Основні рівняння електродинаміки.

Тема 1.1. Вступ. Система рівнянь електромагнітного поля.

Тема 1.2. Граничні та початкові умови. Формування припущень при визначенні розрахункової області об'єкта досліджень.

Тема 1.3. Постановка задачі розрахунку поля в електричних машинах та пристроях.

Змістовий модуль 2. Чисельні методи розрахунку рівнянь електромагнітних полів.

Тема 2.1. Метод скінченних різниць і особливості його практичної реалізації.

Тема 2.2. Метод скінченних елементів і особливості його практичної реалізації.

Тема 2.3. Особливості вибору параметрів сітки скінченних елементів (густина і розмір елементів тощо) в залежності від очікуваного характеру розподілу електромагнітного поля.

Змістовий модуль 3. Практична реалізація методу скінченних елементів в сучасних програмно-обчислювальних комплексах.

Тема 3.1 Практична реалізація методу скінченних елементів для аналізу електромагнітних полів в пакеті програм FEMM.

Тема 3.2. Практична реалізація методу скінченних елементів для аналізу електромагнітних полів в пакеті програм Comsol Multiphysics .

Змістовий модуль 4. Моделювання електромагнітних полів в об'єктах електромеханіки.

Тема 4.1. Розрахунок електромагнітного поля асинхронного двигуна в пакеті програм Comsol Multiphysics..

Тема 4.2. Розрахунок електромагнітного поля трансформатора в пакеті програм Comsol Multiphysics

Тема 4.3. Розрахунок електромагнітного поля синхронної машини в пакеті програм Comsol Multiphysics.

Змістовий модуль 5. Аналіз взаємопов'язаних фізичних полів в електричних машинах.

Тема 5.1. Система рівнянь для аналізу теплових полів та методи їх розв'язання.

Тема 5.2. Практична реалізація методу скінченних елементів для аналізу взаємопов'язаних електромагнітних і теплових полів в пакеті програм Comsol Multiphysics .

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні інформаційні ресурси:

Основні інформаційні ресурси:

1. Васьковський Ю.М. Польовий аналіз електричних машин. Навчальний посібник для вузів з грифом МОН України, Київ, НТУУ "КПІ", ВПІ ВПК "Політехніка" 2007, 191с.
2. Васьковський Ю.М., Гайденок Ю.А., Коваленко М.А. Математичне моделювання електричних машин з постійними магнітами. Навчальний посібник з грифом Вченої Ради КПІ, Київ, наш формат, 2017, 192 с
3. Мілих В.І. Електромагнітні поля, параметри та процеси в електротехнічних пристроях. Підручник. – Харків, 2020. – 396 с.
4. Васьковський Ю.М. Математичне моделювання електромеханічних перетворювачів енергії. Навчальний посібник для вузів з грифом МОН України, Київ, НТУУ "КПІ, ФЕА, 2013, 164с.
5. Подольцев А.Д., Кучерява И.Н. Мультифізичне моделювання в електротехніці. – Київ, Наш формат, 2015. – 306 с.
6. Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й., Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. Моделювання електромеханічних систем. Підручник.– Кременчук, 2011. – 410 с.
7. COMSOL – MULTIPHYSICS – <http://www.comsol.com>

Додаткові інформаційні ресурси:

1. Подольцев А.Д., Кучерява И.Н. Мультифізичне моделювання в електротехніці. – Київ, Наш формат, 2015. – 306 с.
2. Туровський Я. Електромагнітні розрахунки елементів електричних машин. М., Энергоатомиздат, - 1986, 201 с.
3. Сильвестер П., Феррари Р. Метод скінченних елементів для радіоінженерів і інженерів-електриків. - М., Мир, 1986, 230 с.
4. Васьковський, Ю. і Татарінов, К. 2022. Зовнішня демпферна система ротора явнополюсної синхронної машини. Технічна Електродинаміка. 6 (Жов 2022), 019. DOI:<https://doi.org/10.15407/techned2022.06.019>.
5. 13. Васьковський, Ю. і Павлюк, В. 2023. Порівняльний аналіз енергетичних характеристик різних типів синхронних тягових електродвигунів. Технічна Електродинаміка. 4 (Чер 2023),

6. 14. Васьковський, Ю. і Цивінський С. 2016. Тривимірна польова математична модель електромагнітних процесів у торцевій зоні ротора турбогенератора. Технічна Електродинаміка. 1 (Лют 2016) с.34-39.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття:

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Лекція 1. Вступ. Місце дисципліни «Методи та засоби польового аналізу електричних машин» в системі сучасних електротехнічних дисциплін і її задачі для поглибленого аналізу параметрів і процесів електричних машин і апаратів. Система рівнянь Максвелла – теоретична основа для аналізу електромагнітних полів. Література: [1 - 5, Вступ]. Завдання на СРС: Історія експериментального та математичного обґрунтування системи рівнянь Максвелла.
2	Лекція 2. Система рівнянь електромагнітного поля. Види польових функцій та отримання диференціальних рівнянь у часткових похідних. Література: [3], с. 13 - 19. Завдання на СРС: Диференціальні рівняння у часткових похідних для магнітної індукції та векторного магнітного потенціалу.
3	Лекція 3. Граничні та початкові умови в польових розрахунках. Завдання граничних умов 1-го, 2-го роду і умов періодичності та початкових умов. Формування припущень при визначенні розрахункової області об'єкта досліджень. Література : [3, с.13 - 46]. Завдання на СРС: Визначення та класифікація електромагнітних полів: нелінійні, нестационарні, квазістационарні поля.
4	Лекція 4. Постановка задачі розрахунку електромагнітного поля в електричних машинах та пристроях. Опис геометрії розрахункової області. Опис джерел електромагнітного поля. Фізичні характеристики матеріальних середовищ. Поняття двовимірних і тривимірних електромагнітних полів. Література: [2, с.69 - 98], [3, с.41 - 46]. Завдання на СРС: Визначення просторового розміру поля: дво - і тривимірні поля.
5	Лекція 5. Методи чисельного розв'язання рівнянь електромагнітного поля (частина 1) . Метод скінченних різниць (МСР). Дискретизація диференціальних рівнянь поля скінченними різницями і перехід до розв'язання системи алгебраїчних рівнянь відносно польових функцій у вузлах сітки скінченних різниць. Властивості матриці системи рівнянь (симетричність, стрічковість). Література: [3, с.41 - 46], [2, с.69-98], Завдання на СРС: Класифікація чисельних методів розв'язання польових задач.
6	Лекція 6. Методи чисельного розв'язання рівнянь електромагнітного поля (частина 2) . Поняття та основи методу скінченних елементів (МСЕ). Основні види скінчених елементів (СЕ), принципи побудови сітки СЕ. Методи і процедури побудови і розв'язання системи алгебраїчних рівнянь відносно функції поля у вузлах ССЕ. Переваги МСЕ у порівнянні з МСР. Література: [3, с.41 - 46].

	<i>Завдання на СРС: Скінченні елементи 1-го і 2-го роду.</i>
7	Лекція 7. Дискретизація розрахункової області і особливості вибору параметрів сітки скінченних елементів. Вибір густини і розміру елементів тощо в залежності від очікуваного характеру розподілу електромагнітного поля. Оптимізація CCE - мінімізація кількості CE при умові забезпеченні достатньої достовірності розрахунків поля. Приклади автоматизованої побудови двовимірної CCE в програмних середовищах FEMM і COMSOL Multiphysics. Література: [3, с.41 - 46]. Завдання на СРС: Вибір розмірів CE в повітряному проміжку і в ярмі статора електричної машини
8	Лекція 8. Особливості практичної реалізації методу скінченних елементів в пакеті програм FEMM. Інтерфейс, обчислювальні можливості і приклад розрахунку поля в програмно-обчислювальному комплексі FEMM. Література: [3, с.41 - 46]. Завдання на СРС: Вивчення інтерфейсу програмно-обчислювального комплексу FEMM.
9	Лекція 9. Особливості практичної реалізації методу скінченних елементів в пакеті програм Comsol Multiphysics. Інтерфейс, обчислювальні можливості і приклад розрахунку поля в програмно-обчислювальному комплексі Comsol Multiphysics. Література: [3, с.41 - 46]. Завдання на СРС: Вивчення інтерфейсу програмно-обчислювального комплексу Comsol Multiphysics.
10	Лекція 10. Розрахунок електромагнітного поля асинхронного двигуна (АД) в пакеті програм Comsol Multiphysics. Постановка задачі розрахунку двовимірного електромагнітного поля АД. Послідовність побудови скінченно-елементної моделі АД і її реалізація в Comsol Multiphysics. Візуалізація картини поля (векторного магнітного потенціалу, магнітної індукції, густини струмів). Література: [3, с.41 - 46]. Завдання на СРС: Вивчення послідовності побудови моделі АД в програмно-обчислювальному комплексі Comsol Multiphysics
11	Лекція 11. Розрахунок електромагнітного поля трансформатора (Тр) в пакеті програм Comsol Multiphysics. Постановка задачі розрахунку тривимірного електромагнітного поля Тр. Послідовність побудови скінченно-елементної моделі Тр і її реалізація в Comsol Multiphysics. Візуалізація картини поля (векторного магнітного потенціалу, магнітної індукції, густини струмів). Література: [3, с.41 - 46]. Завдання на СРС: Вивчення послідовності побудови моделі Тр в програмно-обчислювальному комплексі Comsol Multiphysics.
12	Лекція 12. Розрахунок електромагнітного поля синхронної машини (СМ) в пакеті програм Comsol Multiphysics. Постановка задачі розрахунку тривимірного електромагнітного поля СМ. Послідовність побудови скінченно-елементної моделі СМ і її реалізація в Comsol Multiphysics. Візуалізація картини поля (векторного магнітного потенціалу, магнітної індукції, густини струмів). Література: [3, с.51 - 99]. Завдання на СРС: Електромагнітний розрахунок активної частини електричної машини.
13	Лекція 13. Фізичні поля іншої природи в електричних машинах. Диференціальні рівняння для аналізу теплових полів в електричних машинах. Визначення взаємозв'язку електромагнітних і теплових полів в електричних машинах. Математична аналогія розрахунку електромагнітних і теплових полів.

	<i>Література: [3] с.127 - 149. Завдання на СРС: Нестационарні електромагнітні і теплові поля.</i>
14	Лекція 14. Можливості і приклади моделювання взаємопов'язаних фізичних полів в електричних машинах. Реалізація моделювання взаємопов'язаних фізичних полів в програмно-обчислювальному комплексі Comsol Multhyphysics. <i>Література: [2,с.69 - 98], [3, с.41 - 46]. Завдання на СРС: Вимоги до комп'ютерних засобів при моделюванні полів</i>
15	Лекція 15. Узагальнення методології оптимального вибору методів і засобів для розрахунку польових задач в електромеханіці. Приклади аналізу сутності фізичних процесів в об'єктах електромеханіки і вибір оптимальних методів аналізу. <i>Узагальнення матеріалу дисципліни. Література: [10] с. 61 - 78. Завдання на СРС: Підготовка до екзамену.</i>
Усього годин 30	

Практичні заняття: Практичні заняття дозволяють розвинути і закріпити у студентів теоретичні знання, набуті при вивченні лекційного курсу, а також отримати практичні навички щодо розрахунків параметрів, характеристик і режимів роботи електричних машин методами теорії електромагнітного поля. В ході виконання завдань студенти навчаються робити чисельні оцінки параметрів машин, вивчають та засвоюють методологію практичного використання сучасних обчислювальних програм та комп'ютерних комплексів.

Теми практичних занять:

№ з/п	Назва теми і зміст практичного заняття	Кількість аудитор. годин
1	Заняття 1. Постановка задачі та завдання вихідних даних для розрахунку електромагнітного поля в електричних машинах різного типу. Вибір розрахункової області, завдання джерел електромагнітного поля та властивостей активних матеріалів для: а) асинхронного двигуна; б) синхронного генератора. <i>Література: [1] с.20-46, [7] с.19 – 25.</i>	2
2	Заняття 2. Розрахунок еквівалентної глибини проникнення поля. Розрахунок та дослідження впливу фізичних параметрів середовища та частоти струму на глибину проникнення поля. <i>Література: [1] с.47-55.</i>	2
3	Заняття 3. Граничні та початкові умови в польових розрахунках. Приклад задання граничних умов для АД в програмному середовищі Comsol Multiphysics. <i>Література: [3] с.46-71.</i>	2
4	Заняття 4. Дослідження характеристик АД з масивним ротором. Чисельне визначення параметрів ротора АД при різних ковзаннях (при пуску і в номінальному режимі) в програмному середовищі Comsol Multiphysics. <i>Література: [3] с.111-123.</i>	2
5	Заняття 5. Постановка задачі та видача вхідних даних варіантів для виконання РГР.	2
6	Заняття 6. Метод скінченних елементів. Приклади реалізації МСЕ в програмно-обчислювальних комплексах Comsol Multiphysics.	2
7	Заняття 7. Моделювання трифазного трансформатора. Приклад розрахунку та моделювання трифазного трансформатора в програмному середовищі Comsol Multiphysics.	2

	Література: [1] с.46-71.	
8	Заняття 8. Моделювання електромагнітного поля асинхронної машин з короткозамкненим ротором у двовимірному наближенні. Приклади моделювання асинхронних машин. Література: [1] с.46-71.	2
9	Заняття 9. Моделювання тривимірного електромагнітного поля асинхронної машин з короткозамкненим ротором. Приклади моделювання асинхронних машин. Література: [1] с.46-71.	2
10	Заняття 10. Особливості польового аналізу електричних машин при наявності в їх конструкції постійних магнітів. Задання характеристик постійних магнітів (залишкової індукції, магнітної проникності) при аналізі магнітного поля електричної машини. Приклад розрахунку в програмному середовищі Comsol Multiphysics. Література: [1] с.46-71.	2
11	Заняття 11. Модульна контрольна робота	2
12	Заняття 12. Моделювання синхронної машини. Приклади моделювання машин з постійними магнітами. Література: [1] с.46-71.	2
13	Заняття 13. Моделювання синхронного турбогенератора з електромагнітним збудженням. Приклад моделювання синхронного турбогенератора з електромагнітним збудженням в програмному пакеті Comsol Multiphysics. Література: [1] с.46-71.	2
14	Заняття 14. Моделювання фізичних полів різної природи. Особливості реалізації польових розрахунків в програмному пакеті Comsol Multiphysics. Література: [1] с.85 - 126.	2
15	Заняття 15. Аналіз та порівняння полів різної природи. Можливість дослідження і спільного аналізу електромагнітного та теплового полів в програмному пакеті Comsol Multiphysics. Література: [1] с.85 - 126.	2
Усього годин		30

Самостійна робота студента: В таблиці наведено основні завдання, що виносяться на самостійну роботу студентів

№ з/п	Назва теми, що виносяться на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Завдання для СРС 1. Історія експериментального та математичного обґрунтування системи рівнянь поля Максвелла.	3
2	Завдання для СРС 2. Диференційні рівняння у часткових похідних для магнітної індукції та векторного магнітного потенціалу.	3
3	Завдання для СРС 3. Визначення та класифікація електромагнітних полів: нелінійні, нестационарні, квазістационарні поля.	3
4	Завдання для СРС 4. Визначення просторового розміру поля: дво - і тривимірні поля.	3
5	Завдання для СРС 5. Класифікація чисельних методів розв'язання польових задач.	3
6	Завдання для СРС 6. Скінченні елементи 1-го і 2-го роду.	3
7	Завдання для СРС 7. Вибір розмірів СЕ в повітряному проміжку і в ярмі	3

	статора електричної машини.	
8	Завдання для СРС 8. Розрахунок електромагнітного моменту електричної машини.	3
9	Завдання для СРС 9. Вивчення інтерфейсу програмно-обчислювального комплексу Comsol Multiphysics.	3
10	Підготовка до модульної контрольної роботи	3
11	Завдання для СРС 11. Вивчення інтерфейсу програмно-обчислювального комплексу FEMM.	3
12	Завдання для СРС 12. Основні характеристики постійних магнітів. Задання напрямку вектора намагнічування постійного магніту	3
13	Завдання для СРС 13. Розрахунок електромагнітного моменту	3
14	Завдання для СРС 14 Вимоги до комп'ютерних засобів при моделюванні полів	3
15	Завдання для СРС 25. Визначення просторового розміру фізичного поля: дво - і тривимірні поля.	3
16	Виконання РГР	15
17	Підготовка до екзамену	30
Усього годин		90

Розрахунково-графічна робота. Для закріплення та узагальнення отриманих знань з питань польового аналізу електричних машин студенти виконують індивідуальне семестрове завдання – розрахунково-графічну роботу (РГР). Тема РГР: «Розрахунок та візуалізація електромагнітного поля синхронного двигуна з постійними магнітами». Варіант вхідних даних узгоджується та надається викладачем.

Модульна контрольна робота. Для одержання студентами стійких знань передбачено виконання модульної контрольної роботи, на яку виносяться основні питання дисципліни.

Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- *правила відвідування занять:* відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях.

- *правила поведінки на заняттях:* студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;

- *правила захисту індивідуальних завдань:* захист реферату з дисципліни здійснюється індивідуально і лише у випадку, коли студент не погоджується із нарахованими балами за результатами перевірки реферату;

- *політика дедлайнів та перескладань:* якщо студент не проходив або не з'явився на МКР (без поважної причини), його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання результатів МКР не передбачено;

- *політика щодо академічної доброчесності:* Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими

вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з даної дисципліни;

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

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

Поточний контроль: експрес-опитування, МКР, РГР.

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

Семестровий контроль: екзамен.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання студентів передбачає визначення кількості балів, отриманих студентом під час вивчення дисципліни.

Умови допуску до семестрового контролю: обов'язковими умовами допуску до семестрового контролю є: виконання модульної контрольної роботи, виконання розрахунково-графічної роботи, кількість балів, передбачених заходами поточного контролю – не менше 30 балів.

Поточний семестровий рейтинг студента складається з балів, отриманих за:

- відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях;
- виконання модульної контрольної роботи (МКР);
- виконання розрахунково-графічної роботи (РГР)
- виконання завдань при проведенні практичних занять.

Бальне оцінювання певних видів робіт, передбачених заходами поточного контролю:

Відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях і практичних заняттях

Ваговий бал за одне експрес-опитування – 4 бали.

Максимальна кількість балів на одного студента дорівнює: 4 балів * 3 опитування = 12 балів.

Критерії оцінювання одного опитування

- правильна відповідь – 4 бали;
- неточна відповідь – 2-3 бали;
- неправильна відповідь – 1 бал.

Модульна контрольна робота

Максимальна кількість балів за виконання МКР дорівнює 18 балів.

Критерії оцінювання:

- повна відповідь на запитання (більше 90% матеріалу) 16...18 балів;
- неповна відповідь на запитання (від 50 до 90% матеріалу) - 8... 15 балів;
- відповідь містить менше 50 % правильних відповідей – 3...7 балів;
- неправильна відповідь – 0 балів.

Розрахунково-графічна робота

Максимальна кількість балів за виконання РГР дорівнює 30 балів.

Критерії оцінювання:

- повна відповідь на запитання (більше 90% матеріалу) 26...30 балів;
- неповна відповідь на запитання (від 50 до 90% матеріалу) - 16... 25 балів;
- відповідь містить менше 50 % правильних відповідей – 5...15 балів;
- неправильна відповідь – 0 балів.

Оцінювання проводиться за стобальною рейтинговою шкалою $R_D = 100$.

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру (стартовий рейтинг) складає: $R_C = 12 + 30 + 18 = 60$ балів.

Форма семестрового контролю – екзамен

Остаточне оцінювання результатів навчання проводиться за стобальною рейтинговою шкалою. Екзаменаційна складова шкали дорівнює 40% від загальної рейтингової шкали, тобто $R_e = 40$ балів. Необхідною умовою допуску до екзамену є повний конспект лекцій, виконана МКР. Для здачі екзамену без проведення семестрового контролю («автоматом») потрібно мати стартовий рейтинг не менше 60 балів, а також виконані інші умови допуску до екзамену.

Екзаменаційна робота складається з двох теоретичних запитань і однієї задачі

Критерії оцінювання екзамену

- повна відповідь (повне, безпомилкове розв'язування завдання) $R_3 = 39 - 40$ балів;
- відповідь з певними несуттєвими помилками $R_3 = 30 - 38$ бали;
- відповідь без суттєвих помилок, але не з повним обсягом потрібної інформації $R_3 = 20 - 29$ бали;
- неповна відповідь з певними помилками $R_3 = 12-19$ балів;
- неповна відповідь зі значною кількістю помилок, але які не є принциповими $R_3 = 8-11$ балів;
- повністю неправильна відповідь або відсутність відповіді – 0 балів.

Сумарна кількість рейтингових балів визначається як $R_p = R_c + R_e$

Таблиця відповідності сумарних рейтингових балів оцінкам за наступною шкалою:

Сумарна кількість балів R_p	Оцінка	Результат
95-100	Відмінно	Екзамен здано
85-94	Дуже добре	
75-84	Добре	
65-74	Задовільно	
60-64	Достатньо	
Менше 60	Незадовільно	Екзамен не здано
Менше 30	Не допущений	До екзамену не допущений

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором кафедри електромеханіки ФЕА, д.т.н. Васьковським Ю.М. та старшим викладачем кафедри електромеханіки ФЕА, д.ф. Ігнатюком Є.С.

Ухвалено кафедрою електромеханіки факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол № 14 від 02.06.2026 р.)

Погоджено навчально-методичною комісією факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол № 10 від 26.06.2026 р.)