



# 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>14 «Електрична інженерія»</i>
Спеціальність	<i>141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»</i>
Освітня програма	<i>Електричні машини і апарати (electric machines and apparatus)</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова освітня компонента</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>I курс, весняний</i>
Обсяг дисципліни	<i>165 годин / 5,5 кредитів ECTS</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/МКР</i>
Розклад занять	<i><a href="http://rozklad.kpi.ua">http://rozklad.kpi.ua</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., проф. Васьковський Юрій Миколайович, тел. 0501022010 Практичні: проф. Васьковський Юрій Миколайович</i>
Розміщення курсу	<i>Посилання на дистанційний ресурс Moodle <a href="https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3942">https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3942</a></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 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та освітньо-професійною 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. Опанувати 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 напряму та методик 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.

Тема 2.4. Визначення інтегральних параметрів та характеристик електричних машин за результатами розрахунку поля.

Тема 2.5. Методи визначення електромагнітних сил та моментів в електричних машинах за результатами розрахунку 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 Multhyphysics .

**Змістовий модуль 4.** Моделювання електричних машин з постійними магнітами.

Тема 4.1. Рівняння електромагнітного поля з урахуванням наявності намагнічених середовищ. Математична модель постійного магніту.

Тема 4.2. Приклади моделювання електричних машин з постійними магнітами. Синхронний двигун з колекторною конструкцією ротора.

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

Тема 5.1. Система рівнянь для аналізу взаємопов'язаних фізичних полів та методи їх розв'язання.

Тема 5.2. Практична реалізація методу скінченних елементів для аналізу теплових полів в пакеті програм Comsol Multhyphysics .

Тема 5.3. Практична реалізація методу скінченних елементів для аналізу взаємопов'язаних електромагнітних і теплових полів в пакеті програм Comsol Multhyphysics .

Тема 5.4. Коло-польові математичні моделі для аналізу електричних машин.

#### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

##### **Основні інформаційні ресурси:**

##### Основні інформаційні ресурси:

1. 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.
2. Васьковський Ю.М. Математичне моделювання електромеханічних перетворювачів енергії. Навчальний посібник для вузів з грифом МОН України, Київ, НТУУ "КПІ, ФЕА, 2013, 164с.
3. Васьковський Ю.М. Польовий аналіз електричних машин. Навчальний посібник для вузів з грифом МОН України, Київ, НТУУ "КПІ", ВПІ ВПК "Політехніка"2007, 191с.
4. Курс: Методи та засоби польового аналізу електричних машин (kpi.ua) <https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3942>
5. Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й., Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. Моделювання електромеханічних систем. Підручник.– Кременчук, 2011. – 410 с.

##### Додаткові інформаційні ресурси:

1. Подольцев А.Д., Кучерява И.Н. Мультифізичне моделювання в електротехніці. – Київ, Наш формат, 2015. – 306 с.
2. Туровський Я. Технічна електродинаміка. М., Энергия, - 1974, 488 с.
3. Фальковський О.И. Технічна електродинаміка. М., "Связь", - 1978, 430 с.
4. Туровський Я. Електромагнітні розрахунки елементів електричних машин. М., Энергоатомиздат, - 1986, 201 с.
5. Сильвестер П., Феррари Р. Метод скінченних елементів для радіоінженерів і інженерів-

## 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	<p><b>Лекція 1. Вступ.</b> Місце дисципліни «Технічна електродинаміка» 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.</p> <p>Література: [1 - 5, Вступ].</p> <p>Завдання на СРС: Історія експериментального та математичного обґрунтування системи рівнянь Максвелла.</p>
2	<p><b>Лекція 2. Система рівнянь електромагнітного поля.</b> Види польових функцій та отримання диференційних рівнянь у часткових похідних.</p> <p>Література: [3], с. 13 - 19.</p> <p>Завдання на СРС: Диференційні рівняння у часткових похідних для магнітної індукції та векторного магнітного потенціалу.</p>
3	<p><b>Лекція 3. Граничні та початкові умови.</b> Завдання граничних умов 1-го, 2-го роду і умов періодичності та початкових умов. Формування припущень при визначенні розрахункової області об'єкта досліджень.</p> <p>Література : [3, с.13 - 46].</p> <p>Завдання на СРС: Визначення та класифікація електромагнітних полів: нелінійні, нестационарні, квазістационарні поля.</p>
4	<p><b>Лекція 4. Постановка задачі розрахунку електромагнітного поля в електричних машинах та пристроях.</b> Опис геометрії розрахункової області. Опис джерел електромагнітного поля. Фізичні характеристики матеріальних середовищ. Література: [2, с.69 - 98], [3, с.41 - 46].</p> <p>Завдання на СРС: Визначення просторового розміру поля: дво - і тривимірні поля.</p>
5	<p><b>Лекція 5. Методи чисельного розв'язання рівнянь електромагнітного поля.</b> Метод скінченних різниць і його практична реалізація в програмно-обчислювальних комплексах. Література: [3, с.41 - 46], [2, с.69 - 98].</p> <p>Завдання на СРС: Класифікація чисельних методів розв'язання польових задач.</p>
6	<p><b>Лекція 6. Теоретичні основи методу скінченних елементів (МСЕ) (частина 1).</b> Історія виникнення і розвитку МСЕ. Поняття скінченого елемента (СЕ) і апроксимаційних функцій. Типи СЕ і дискретизація розрахункової області - побудова сітки скінчених елементів (ССЕ).</p> <p>Література: [3, с.41 - 46].</p> <p>Завдання на СРС: Скінченні елементи 1-го і 2-го роду.</p>
7	<p><b>Лекція 7. Теоретичні основи методу скінченних елементів (МСЕ) (частина 2).</b> Методи і процедури побудови і розв'язання системи алгебраїчних рівнянь відносно функції поля у вузлах ССЕ. Особливості матриці системи - її симетричність і стрічкова структура.</p> <p>Література: [3, с.41 - 46].</p> <p>Завдання на СРС: Метод Ньютона–Рафсона для розв'язання нестационарних</p>

	задач поля.
8	<b>Лекція 8. Особливості вибору параметрів сітки скінченних елементів. Вибір густини і розміру елементів тощо в залежності від очікуваного характеру розподілу електромагнітного поля.</b> Література: [3, с.41 - 46]. Завдання на СРС: Вибір розмірів $CE$ в повітряному проміжку і в ярмі статора електричної машини
9	<b>Лекція 9. Визначення інтегральних параметрів та характеристик електричних машин.</b> Визначення магнітних поточкозчеплень обмоток та їх індуктивних параметрів. Література: [3, с.51 - 99]. Завдання на СРС: Визначення пазового розсіювання обмотки електричної машини.
10	<b>Лекція 10. Визначення електромагнітних сил та моментів в електричних машинах.</b> Визначення сил за допомогою методів об'ємної густини сили, енергетичного методу та методу тензора магнітного натягу. Література: [3, с.51 - 99]. Завдання на СРС: Розрахунок електромагнітного моменту електричної машини.
11	<b>Лекція 11. Особливості практичної реалізації методу скінченних елементів в пакеті програм FEMM.</b> Інтерфейс і обчислювальні можливості програмно-обчислювального комплексу FEMM. Література: [3, с.41 - 46]. Завдання на СРС: Вивчення інтерфейсу комплексу FEMM.
12	<b>Лекція 12. Особливості практичної реалізації методу скінченних елементів в пакеті програм Comsol Multiphysics.</b> Інтерфейс і обчислювальні можливості програмно-обчислювального комплексу Comsol Multiphysics. Література: [3, с.41 - 46]. Завдання на СРС: Вивчення інтерфейсу програмно-обчислювального комплексу Comsol Multiphysics.
13	<b>Лекція 13. Екранування магнітних полів в електричних машинах.</b> Методи екранування низькочастотних і високочастотних електромагнітних полів. Екранування магнітних полів за допомогою магнітних шунтів. Література: [1], с .50-56, [7] с. 155 - 255. Завдання на СРС: Конструкція та виконання магнітних шунтів і екранів.
14	<b>Лекція 14. Оцінка ефективності екранування магнітних полів.</b> Екранування магнітних полів за допомогою електромагнітних екранів. Екранування магнітних полів в трансформаторах і торцевих зонах турбогенераторів. Література: [1], с .50-56, с. 155 - 255. Завдання на СРС: Конструкція електромагнітних екранів.
15	<b>Лекція 15. Моделювання електричних машин з постійними магнітами.</b> Рівняння електромагнітного поля з урахуванням наявності намагнічених середовищ. Математична модель постійного магніту. Література: [1] с.24-43. Завдання на СРС: Основні характеристики постійних магнітів.
16	<b>Лекція 16. Приклади моделювання електричних машин з постійними магнітами (частина 1).</b> Синхронний двигун з колекторною конструкцією ротора. Порівняльний аналіз тягових електродвигунів для електромобіля. Література: [1] с.24-43. Завдання на СРС: Задання напрямку вектора намагнічування постійного магніту

17	<p><b>Лекція 17. Приклади моделювання електричних машин з постійними магнітами (частина 2).</b>  Порівняльний аналіз характеристик синхронних двигунів з постійними магнітами різного конструктивного виконання ротора  Література: [1] с.24-43.  Завдання на СРС: Розрахунок електромагнітного моменту</p>
18	<p><b>Лекція 18. Фізичні поля іншої природи в електричних машинах.</b> Визначення взаємозв'язку електромагнітних, теплових і механічних полів в електричних машинах.  Математична аналогія розрахунку електромагнітних і теплових полів.  Література: [3] с.127 - 149.  Завдання на СРС: Нестационарні електромагнітні і теплові поля.</p>
19	<p><b>Лекція 19. Характеристика параметрів сучасних програмно-обчислювальних комплексів для моделювання взаємопов'язаних фізичних полів.</b>  Характеристики програмно-обчислювальних комплексів Comsol Multhyphysics і Ansys.  Література: [2,с.69 - 98], [3, с.41 - 46].  Завдання на СРС: Вимоги до комп'ютерних засобів при моделюванні полів</p>
20	<p><b>Лекція 20. Постановка задачі розрахунку теплового поля в електричних машинах та пристроях.</b> Опис геометрії розрахункової області. Опис джерел теплового поля. Фізичні характеристики матеріальних середовищ.  Література: [2,с.69 - 98], [3, с.41 - 46].  Завдання на СРС: Приклади постановки задачі розрахунків теплових полів</p>
21	<p><b>Лекція 21. Практична реалізація методу скінченних елементів для аналізу теплових полів в пакеті програм Comsol Multiphysics.</b>  Завдання і фізичний зміст граничних умов 1 - го, 2 - го і 3 - го роду для теплових полів.  Початкові умови.  Література: [2,с.69 - 98], [3, с.41 - 46].  Завдання на СРС: Теплове поле ротора потужного турбогенератора.</p>
22	<p><b>Лекція 22. Аналіз взаємопов'язаних фізичних полів.</b> Система диференційних рівнянь взаємопов'язаних фізичних (електромагнітного і теплового) полів та методи її розв'язання.  Література: [3] с.127 - 149.  Завдання на СРС: Визначення просторового розміру фізичного поля: дво - і тривимірні поля.</p>
23	<p><b>Лекція 23. Практична реалізація методу скінченних елементів для аналізу взаємопов'язаних електромагнітних і теплових полів в пакеті програм Comsol Multiphysics .</b>  Особливості завдання вхідних даних для аналізу взаємопов'язаних електромагнітних і теплових полів.  Література: [3] с.127 - 149.  Завдання на СРС: Математична модель електро-тепло-механічного перетворювача енергії.</p>
24	<p><b>Лекція 24. Поняття про коло-польові математичні моделі електричних машин.</b>  Завдання джерел поля у вигляді прикладених до обмоток напруг живлення. Динамічні параметри електричних машин.  Література: [3], с. 157 - 180.  Завдання на СРС: Динамічні індуктивності обмоток електричних машин</p>
25	<p><b>Лекція 25. Системи диференційних рівнянь коло-польових математичних моделей електричних машин.</b> Коло-польова математична модель узагальненого електромеханічного перетворювача енергії.</p>

	<i>Література: [3], с. 157 - 180. Завдання на СРС: Особливості матриці системи рівнянь коло-польової моделі.</i>
26	<b>Лекція 26. Методи розв'язання коло-польових математичних моделей електричних машин. Метод динамічних характеристики. Метод покрокового інтегрування.</b> <i>Література: [3], с. 157 - 180. Завдання на СРС: Метод по інтервальної апроксимації.</i>
27	<b>Лекція 27. Узагальнення методології оптимального вибору методів і засобів технічної електродинаміки для розв'язання задач електротехніки і електромеханіки. Приклади аналізу сутності фізичних процесів в об'єктах електромеханіки і вибір оптимальних методів аналізу. Узагальнення матеріалу дисципліни.</b> <i>Література: [10] с. 61 - 78. Завдання на СРС: Підготовка до заліку.</i>
Усього годин <span style="float: right;">54</span>	

**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	<b>Заняття 1. Постановка задачі та завдання вихідних даних для розрахунку електромагнітного поля в електричних машинах різного типу.</b> 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	<b>Заняття 2. Розрахунок еквівалентної глибини проникнення поля.</b> Розрахунок та дослідження впливу фізичних параметрів середовища та частоти струму на глибину проникнення поля. <i>Література: [1] с.47-55.</i>	2
3	<b>Заняття 3. Дослідження характеристик АД з масивним ротором.</b> Чисельне визначення параметрів ротора АД при різних ковзаннях (при пуску і в номінальному режимі). <i>Література: [3] с.111-123.</i>	2
4	<b>Заняття 4. Електромагнітні екрани і екранування магнітних полів.</b> Чисельне дослідження коефіцієнтів екранування поля за допомогою електромагнітних екранів. <i>Література: [3] с.46-71.</i>	2
5	<b>Заняття 5. Метод скінченних елементів.</b> Приклади реалізації МСЕ в програмно-обчислювальних комплексах FEMM і Comsol Multiphysics.	2
6	<b>Заняття 6. Моделювання електричних машин з постійними магнітами.</b> Приклади моделювання машин з постійними магнітами. <i>Література: [1] с.46-71.</i>	2
7	<b>Заняття 7.</b>	



8	<b>Заняття 8. Аналіз взаємопов'язаних фізичних полів.</b> Чисельне визначення впливу нагріву провідника на його електропровідність і розподіл поля в електричній машині. <i>Література: [3] с.127 - 149.</i>	2
9	<b>Заняття 9.</b> Модульна контрольна робота.	2
Усього годин		18

**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	<b>Завдання для СРС 1.</b> Історія експериментального та математичного обґрунтування системи рівнянь поля Максвелла.	3
2	<b>Завдання для СРС 2.</b> Диференційні рівняння у часткових похідних для магнітної індукції та векторного магнітного потенціалу.	3
3	<b>Завдання для СРС 3.</b> Визначення та класифікація електромагнітних полів: нелінійні, нестационарні, квазістационарні поля.	3
4	<b>Завдання для СРС 4.</b> Визначення просторового розміру поля: дво - і тривимірні поля.	3
5	<b>Завдання для СРС 5.</b> Класифікація чисельних методів розв'язання польових задач.	3
6	<b>Завдання для СРС 6.</b> Скінченні елементи 1-го і 2-го роду.	3
7	<b>Завдання для СРС 7.</b> Метод Ньютона–Рафсона для розв'язання нестационарних задач поля.	3
8	<b>Завдання для СРС 8.</b> Вибір розмірів СЕ в повітряному проміжку і в ярмі статора електричної машини.	3
9	<b>Завдання для СРС 9.</b> Визначення пазового розсіювання обмотки електричної машини.	3
10	<b>Завдання для СРС 10.</b> Розрахунок електромагнітного моменту електричної машини.	3
11	<b>Завдання для СРС 11.</b> Вивчення інтерфейсу комплексу FEMM.	3
12	<b>Завдання для СРС 12.</b> Вивчення інтерфейсу програмно-обчислювального комплексу Comsol Multiphysics.	3
13	Підготовка до модульної контрольної роботи	7
14	<b>Завдання для СРС 13.</b> Конструкція та виконання магнітних шунтів і екранів.	3
15	<b>Завдання для СРС 14.</b> Конструкція електромагнітних екранів	3
16	<b>Завдання для СРС 15.</b> Основні характеристики постійних магнітів.	3
17	<b>Завдання для СРС 16.</b> Задання напрямку вектора намагнічування постійного магніту	3
18	<b>Завдання для СРС 17.</b> Розрахунок електромагнітного моменту	3
19	<b>Завдання для СРС 18.</b> Нестационарні електромагнітні і теплові поля.	3
20	<b>Завдання для СРС 19</b> Вимоги до комп'ютерних засобів при моделюванні полів	3
21	<b>Завдання для СРС 20.</b> Приклади постановки задачі розрахунків теплових	3



	полів.	
22	<b>Завдання для СРС 21.</b> Теплове поле ротора потужного турбогенератора.	3
23	<b>Завдання для СРС 22.</b> Визначення просторового розміру фізичного поля: дво - і тривимірні поля.	3
24	<b>Завдання для СРС 23.</b> Математична модель електро-тепло-механічного перетворювача енергії.	3
25	<b>Завдання для СРС 24.</b> Динамічні індуктивності обмоток електричних машин	3
26	<b>Завдання для СРС 25.</b> Особливості матриці системи рівнянь коло-польової моделі.	3
27	<b>Завдання для СРС 26.</b> Метод по інтервальної апроксимації.	3
28	<b>Завдання для СРС 27.</b> Підготовка до заліку	8
Усього годин		93

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

Модульна контрольна робота складається з двох частин (контрольних робіт):

- контрольна робота 1 по темам 1.1 – 3.3.
- контрольна робота 2 по темам 4.1 –5.4.

## 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-дискі 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)

PCO розроблена згідно з «Положенням про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського» (затверджено та уведено в дію наказом № 1/273 від 14.09.2020 р.)

**Поточний контроль:** експрес-опитування, МКР.

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

**Семестровий контроль:** залік.

PCO передбачає оцінювання результатів навчання здобувача вищої освіти впродовж семестру – проходження або виконання певних видів робіт, передбачених заходами поточного контролю. Оцінювання результатів навчання здійснюється за 100-бальною шкалою.

**Умови допуску до семестрового контролю:** обов'язковими умовами допуску до семестрового контролю є: виконання двох частин модульної контрольної роботи, кількість балів, передбачених заходами поточного контролю – не менше 40 балів .

Поточний семестровий рейтинг студента складається з балів, отриманих за:

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

**Бальне оцінювання певних видів робіт, передбачених заходами поточного контролю:**

**Відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях**

Ваговий бал за одне експрес-опитування – 5 балів.

Максимальна кількість балів на одного студента дорівнює: 5 балів \* 2 опитування = 10 балів.

Критерії оцінювання

- правильні відповіді на окремі питання з місця – 5 балів;

**Модульна контрольна робота**

Максимальна кількість балів за виконання першої частини МКР (по темам 1.1 – 3.3) дорівнює 30 балів.

Критерії оцінювання:

- повна відповідь на запитання (більше 90% матеріалу) 28...30 балів;
- неповна відповідь на запитання (від 50 до 90% матеріалу) - 15... 27 балів;
- відповідь містить менше 50 % правильних відповідей – 0...14 балів;

Таку ж кількість балів (30) студент отримує за виконання другої частини МКР (по темам 4.1 – 5.4).

**Виконання завдань під час практичних занять**

Максимальна кількість балів, яка може бути отримана під час проведення практичних занять дорівнює 30 балів.

Критерії оцінювання:

- обсяг правильних розв'язків практичних задач (80-100%) 25...30 балів;
- обсяг правильних розв'язків практичних задач (40-79%) 10...24 балів;
- обсяг правильних розв'язків практичних задач (0-39%) 0...9 балів;

Календарний контроль базується на поточній рейтинговій оцінці. Умовою позитивної атестації є поточний рейтинг студента не менше 50% від максимально можливого.

Максимальна сума вагових балів контрольних заходів, які студент може отримати протягом семестру складає:

$$R_c = 10 + (30 + 30) + 30 = 100 \text{ балів.}$$

Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку але мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, викладач проводить семестровий контроль у вигляді **залікової контрольної роботи (ЗКР) або співбесіди.**

У разі проведення ЗКР (співбесіди), результуюча сума балів по дисципліні визначається як сума балів безпосередньо за результатами ЗКР (співбесіди) та балів за виконання ДКР. У цьому

випадку розмір шкали оцінювання безпосередньо ЗКР (співбесіди) складає 40 балів, а сума балів, отримана за виконання заходів поточного контролю, перераховується з коефіцієнтом 0,6. і може складати у даному випадку не більше  $100 - 40 = 60$  балів. Таким чином при проведенні ЗКР студент максимально може отримати також 100 балів (40 балів ЗКР і 60 балів за виконання заходів поточного контролю).

Якщо оцінка за залікову контрольну роботу менша ніж за рейтингом, то попередній рейтинг здобувача скасовується і він отримує оцінку з урахуванням результатів залікової контрольної роботи (співбесіди). Цей варіант формує відповідальне ставлення здобувача до прийняття рішення про виконання залікової контрольної роботи, змушує його критично оцінити рівень своєї підготовки та ретельно готуватися до заліку.

#### Критерії оцінювання ЗКР

- повні і правильні відповіді на усі поставлені запитання  $R_3 = 38... 40$  балів;
- відповіді з певними несуттєвими похибками  $R_3 = 30...37$  бали (в залежності від кількості похибок);
- відповідь без суттєвих помилок, але не з повним обсягом потрібної інформації  $R_3 = 20...26$  бали;
- неповна відповідь з певними помилками  $R_3 = 10-19$  балів;
- неповна відповідь зі значною кількістю помилок, але які не є принциповими  $R_3 = 5-9$  балів;
- повністю неправильна відповідь або відсутність відповіді – 0 балів.

Таблиця відповідності сумарних рейтингових балів оцінкам за наступною шкалою:

Сумарна кількість балів $R_p$	Оцінка	Результат
95-100	Відмінно	зараховано
85-94	Дуже добре	
75-84	Добре	
65-74	Задовільно	
60-64	Достатньо	
Менше 60	Незадовільно	Не зараховано
Не виконані умови допуску	Не допущено	Не допущено

## 8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

### Перелік тем, які виносяться на семестровий контроль

1. Система рівнянь Максвелла – теоретична основа для аналізу електромагнітних полів.
2. Постановка задачі розрахунку електромагнітного поля в електричних машинах та пристроях.
3. Методи чисельного розв'язання рівнянь електромагнітного поля.
4. Визначення інтегральних параметрів та характеристик електричних машин за результатами розрахунку електромагнітного поля.
5. Визначення електромагнітних сил та моментів в електричних машинах.
6. Екранування електромагнітних полів в електричних машинах
7. Рівняння електромагнітного поля з урахуванням наявності намагнічених середовищ. Математична модель постійного магніту.
8. Постановка задачі розрахунку теплового поля в електричних машинах та пристроях.
9. Аналіз взаємопов'язаних електромагнітних і теплових полів.
10. Характеристика параметрів сучасних програмно-обчислювальних комплексів для моделювання фізичних полів.
11. Поняття про коло-польові математичні моделі електричних машин.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором кафедри електромеханіки ФЕА, д.т.н. Васьковським Ю.М.

**Ухвалено** кафедрою електромеханіки ФЕА (*протокол № 10 від 19.05.2023 р.*)

**Погоджено** Методичною комісією факультету (*протокол № 10 від 16.06.2023 р.*)