



П'ЄЗО- ТА МАГНІТОСТРИКЦІЙНІ

ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЕНЕРГІЇ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший</i>
Галузь знань	14 «Електрична інженерія»
Спеціальність	141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма	ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	3 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	120 годин / 4 кредити ECTS
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік/МКР
Розклад занять	http://roz.kpi.ua/
Мова викладання	Українська/Англійська
Інформація про керівника курсу / викла- дачів	Лектор: д.ф., ст. викл. Ігнатюк Євген Станіславович, ihnatiuk.yevhen@ill.kpi.ua Практичні: д.ф., ст. викл. Ігнатюк Євген Станіславович, ihnatiuk.yevhen@ill.kpi.ua
Розміщення курсу	

Програма навчальної дисципліни

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

Програму навчальної дисципліни «П'єзо- та магнітострикційні перетворювачі енергії» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки «бакалавр» за галуззю знань 14 «Електрична інженерія», зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Метою навчальної дисципліни є вивчення студентами системи здатностей та умінь щодо виконання обов'язків, виробничих функцій та типових задач діяльності фахівця. В результаті вивчення кредитного модуля студенти отримують знання з конструкції, принципу роботи, суті фізичних явищ та процесів в п'єзо- та магнітострикційних перетворювачах енергії, типових математичних методів для розрахунку і їх дослідження, основних характеристик.

Предмет навчальної дисципліни – є система властивостей п'єзо- та магнітострикційних перетворювачах енергії – їх конструкція, принцип дії, параметри, характеристики та режими роботи.

Програмні результати навчання:

Компетенції:

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

ЗК2. Здатність до використання інформаційних та комунікаційних технологій.

ЗК3. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК4. Здатність використовувати іноземну мову для здійснення науково-технічної діяльності.

ЗК5. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК7. Здатність виявляти та оцінювати ризики.

ЗК8. Здатність працювати автономно та в команді.

ФК1. Здатність застосовувати існуючі та розробляти нові методики, технології та процедури для вирішення інженерних завдань електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ФК3. Здатність здійснювати аналіз техніко-економічних показників та експертизу проектно-конструкторських рішень в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ФК4. Здатність демонструвати знання та розуміння математичних принципів та методів, необхідних для використання в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

ФК7. Здатність розробляти плани і проекти для забезпечення досягнення поставленої певної мети з урахуванням всіх аспектів проблеми, що вирішується, включаючи виробництво, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію обладнання електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних комплексів.

ФК 12. Здатність до виконання дослідно-конструкторських робіт, що передбачають розробку нових та модернізацію існуючих електричних машин та апаратів різного типу і призначення.

ФК 14. Здатність розробляти фізичні й математичні моделі робочих процесів в досліджуваних електричних машинах та апаратах, електричних приводах та системах, розробляти методики та організувати проведення натурних експериментів з подальшим аналізом отриманих результатів.

ФК 15. Здатність моделювати та досліджувати за допомогою сучасних програмних та апаратних засобів характеристики фізичних (електромагнітних, теплових, вібраційних тощо) полів в електричних машинах і апаратах.

ФК 17. 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.

ФК 18. 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.

Програмні результати:

ПРО7. Планувати та виконувати наукові дослідження та інноваційні проекти в сфері електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ПРО9. Дотримуватися принципів та напрямів стратегії розвитку енергетичної безпеки України.

ПРО10. Обґрунтовувати вибір напрямку та методики наукового дослідження з урахуванням сучасних проблем в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ПРО 14. Опанувати нові версії або нове програмне забезпечення, призначене для комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.

ПРО 16. Окреслювати план заходів з підвищення надійності, безпеки експлуатації та продовження ресурсу електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання і відповідних комплексів і систем

ПР 17. Планувати та виконувати наукові дослідження та інноваційні проекти в сфері електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

ПР 19. Розв'язувати класичні, комплексні і непередбачувані завдання в галузях електроенергетики, електротехніки та електромеханіки із застосуванням сучасних та інноваційних підходів до їх вирішення

ПР 21. Проводити моніторинг та діагностування електроенергетичного та електромеханічного обладнання і устаткування, встановлювати основні причини виходу з ладу в процесі їх експлуатації.

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

Значення кредитного модуля «П'єзо- та магнітострикційні перетворювачі енергії» у підготовці фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня (ОКР) «бакалавр» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенерготехніка, електротехніка та електромеханіка освітньої програми “Електричні машини і апарати” полягає в формуванні у студентів системи здатностей та умінь щодо виконання обов'язків, виробничих функцій та типових задач діяльності фахівця. В результаті вивчення кредитного модуля студенти отримують знання з конструкції, принципу роботи, суті фізичних явищ та процесів в п'єзо- та магнітострикційних перетворювачах енергії, типових математичних методів для розрахунку і їх дослідження, основних характеристик.

В структурно-логічній схемі навчального плану підготовки фахівців кредитний модуль «П'єзо- та магнітострикційні перетворювачі енергії» забезпечує зв'язок з кредитними модулями таких спеціальних дисциплін, як «Електричні машини», «Основи автоматизованого проектування електричних машин», «Виробництво та експлуатація електричних машин», «Електричні машини систем автоматики», «Технологія виробництва електричних машин», «Спеціальні електричні машини»..

3. Зміст навчальної дисципліни

Кредитний модуль структурно розподілено на 5 розділів, а саме:

1. Фізичні основи п'єзоелектрики та математичний опис п'єзоматеріалів

Тема 1.1 Вступ до п'єзоелектрики. Вивчення прямого та зворотного п'єзоелектричних ефектів, історія розвитку та сфери застосування.

Тема 1.2 Фізика п'єзоматеріалів. Аналіз кристалічної структури сегнетоелектриків, властивості п'єзокераміки та безсвинцевих аналогів.

Тема 1.3 Рівняння стану п'єзоелектриків. Тензорні характеристики, визначення п'єзоелектричних констант та коефіцієнтів електромеханічного зв'язку.

2. П'єзоелектричні виконавчі пристрої: генератори, актуатори та двигуни мікропереміщень

Тема 2.1 П'єзоелектричні генератори (Energy Harvesters). Принципи та механізми перетворення вібраційної енергії в електричну.

Тема 2.2 Конструкції п'єзогенераторів. Геометрична оптимізація биморфних та уніморфних консольних перетворювачів.

Тема 2.3 П'єзоелектричні актуатори. Принципи роботи й порівняння резонансних (ультразвукових) та нерезонансних (лінійних) пристроїв.

Тема 2.4 Крокові п'єзоелектричні двигуни. Особливості реалізації мікрокрокового режиму в системах точного позиціонування.

Тема 2.5 Еквівалентні схеми заміщення п'єзоперетворювачів. Застосування електромеханічних аналогій та моделі Мезона (Mason's model).

Тема 2.6 Узгоджувальні електронні схеми. Методи випрямлення та оптимізації відбору потужності (SSHI) для п'єзогенераторів.

3. Фізика магнітострикційного ефекту, гігантські магнітострикційні матеріали та актуатори

Тема 3.1 Вступ до магнітострикції. Фізична природа та взаємозв'язок ефектів Джоуля, Віллари та Відемана.

Тема 3.2 Магнітострикційні матеріали. Дослідження властивостей сплавів із гігантською магнітострикцією (Terfenol-D, Galfenol).

Тема 3.3 Рівняння стану магнітострикційних матеріалів. Моделювання нелінійної поведінки та магнітомеханічного гістерезису.

Тема 3.4 Магнітострикційні актуатори. Проектування магнітних систем та розрахунок механізмів попереднього напруження (pre-stress).

Тема 3.5 Магнітострикційні перетворювачі для збору енергії. Практичне використання ефекту Віллари для конвертації механічних коливань.

4. Магнітострикційні інформаційні датчики, математичне моделювання та комбіновані магнітоелектричні перетворювачі

Тема 4.1 Датчики на основі магнітострикції. Побудова й принципи роботи сенсорів сили, крутного моменту та лінійного переміщення.

Тема 4.2 Математичне моделювання магнітострикції. Застосування феноменологічних моделей (зокрема моделі Джайлса-Атертона).

Тема 4.3 Динамічні режими роботи. Розробка еквівалентних схем заміщення магнітострикційних вібраторів та розрахунок частотних резонансів.

Тема 4.4 Магнітоелектричні (ME) перетворювачі. Комбіноване застосування п'єзоелектричних та магнітострикційних шарів у композитних структурах.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні інформаційні ресурси:

1. Rupitsch, S. J. (2018). *Piezoelectric Sensors and Actuators: Fundamentals and Applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57534-5>
2. Choi, S.-B., & Han, Y.-M. (2010). *Piezoelectric Actuators: Control Applications of Smart Materials*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781439818091>
3. Erturk, A., & Inman, D. J. (2011). *Piezoelectric Energy Harvesting*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119991151>
4. Engdahl, G. (2000). *Handbook of Giant Magnetostrictive Materials*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-238640-4.X5000-8>
5. Uchino, K. (2010). *Advanced Piezoelectric Materials: Science and Technology*. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781845699758>

Додаткові:

1. Olabi, A. G., & Grunwald, A. (2008). Design and application of magnetostrictive materials. *Materials & Design*, 29(2), 469-483. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2006.12.016>

2. Narita, F., & Fox, M. (2018). A review on piezoelectric, magnetostrictive, and magnetoelectric materials and device technologies for energy harvesting applications. *Advanced Engineering Materials*, 20(5), 1700743. <https://doi.org/10.1002/adem.201700743>
3. Dapino, M. J. (2002). Magnetostrictive materials. In *Encyclopedia of Smart Materials*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/0471216275.esm053>
4. Priya, S., & Inman, D. J. (Eds.). (2009). *Energy Harvesting Technologies*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-76464-1>
5. Kwun, H., & Bartels, K. A. (1998). Magnetostrictive sensor technology and its applications. *Ultrasonics*, 36(1-5), 171-178. [https://doi.org/10.1016/S0041-624X\(97\)00043-7](https://doi.org/10.1016/S0041-624X(97)00043-7)

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1	<p>ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЕНЕРГІЇ</p> <p>Лекція 1. Вступ до п'єзоелектрики. Прямий та зворотний п'єзоелектричний ефекти. Історія розвитку та сфери застосування. Література: [1], с. 1-25; [5], с. 3-18. Завдання на СРС: Історичний огляд розвитку п'єзоелектричних матеріалів від братів Кюрі до наших днів.</p>
2	<p>Лекція 2. Фізика п'єзоматеріалів. Кристалічна структура, сегнетоелектрики, п'єзокераміка (PZT) та перспективні безсвинцеві матеріали. Література: [1], с. 27-60; [5], с. 55-90. Завдання на СРС: Екологічні проблеми використання свинцевмісної п'єзокераміки та огляд безсвинцевих аналогів.</p>
3	<p>Лекція 3. Рівняння стану п'єзоелектриків. Тензорні характеристики, п'єзоелектричні константи та коефіцієнти електромеханічного зв'язку. Література: [1], с. 61-95; [3], с. 15-40. Завдання на СРС: Матричний запис рівнянь стану п'єзоелектриків та перетворення тензорних величин.</p>
4	<p>Лекція 4. П'єзоелектричні генератори (Energy Harvesters). Принцип перетворення вібраційної енергії в електричну. Література: [3], с. 1-14; [9], с. 21-50. Завдання на СРС: Аналіз ефективності перетворення вібрацій у різних частотних діапазонах.</p>
5	<p>Лекція 5. Конструкції п'єзогенераторів. Біморфні та уніморфні консольні перетворювачі, їх геометрична оптимізація. Література: [3], с. 41-80; [7]. Завдання на СРС: Порівняння ефективності біморфних та уніморфних конструкцій при низькочастотних коливаннях.</p>
6	<p>Лекція 6. П'єзоелектричні актуатори. Резонансні (ультразвукові двигуни) та нерезонансні (лінійні) актуатори. Література: [2], с. 1-35; [1], с. 301-340.</p>

	<i>Завдання на СРС: Хвильові п'єзодвигуни: принцип дії та області застосування в робототехніці.</i>
7	Лекція 7. Крокові п'єзоелектричні двигуни. Принцип дії, мікрокроковий режим, переваги в точних системах позиціонування. <i>Література: [2], с. 80-115.</i> <i>Завдання на СРС: Мікрокроковий режим керування п'єзодвигунами та проблема тепловиділення.</i>
8	Лекція 8. Еквівалентні схеми заміщення п'єзоперетворювачів. Електромеханічна аналогія, використання моделі Мезона (Mason's model). <i>Література: [1], с. 150-190; [3], с. 150-175.</i> <i>Завдання на СРС: Побудова еквівалентної схеми KLM та її порівняння з моделлю Мезона.</i>
9	Лекція 9. Узгоджувальні електронні схеми. Схеми випрямлення та оптимізації відбору потужності (SSH1) для п'єзогенераторів. <i>Література: [3], с. 250-280; [9], с. 120-155.</i> <i>Завдання на СРС: Нелінійні схеми відбору потужності (SSH1, SECE) та їх вплив на ефективність генератора.</i>
10	ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. МАГНІОСТРИКЦІЙНІ ТА КОМБІНОВАНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ Лекція 10. Вступ до магніострикції. Ефекти Джоуля, Віллари та Відемана. Магнітопружний ефект. <i>Література: [4], с. 1-30; [6].</i> <i>Завдання на СРС: Фізична природа магніострикції в парамагнетиках та феромагнетиках.</i>
11	Лекція 11. Магніострикційні матеріали. Властивості сплавів із гігантською магніострикцією (Terfenol-D, Galfenol). <i>Література: [4], с. 70-120; [8].</i> <i>Завдання на СРС: Технології виготовлення та кристалізації сплаву Terfenol-D.</i>
12	Лекція 12. Рівняння стану магніострикційних матеріалів. Нелінійна поведінка, магнітомеханічний гістерезис. <i>Література: [4], с. 125-160; [6].</i> <i>Завдання на СРС: Вплив температури та механічного напруження на магніострикційні константи.</i>
13	Лекція 13. Магніострикційні актуатори. Проектування магнітних систем та механізмів попереднього напруження (pre-stress). <i>Література: [4], с. 180-220; [6].</i> <i>Завдання на СРС: Системи охолодження та компенсації теплового розширення в магніострикційних актуаторах.</i>
14	Лекція 14. Магніострикційні перетворювачі для збору енергії. Використання ефекту Віллари для перетворення механічних коливань. <i>Література: [7]; [9], с. 180-210.</i> <i>Завдання на СРС: Оптимізація магнітного кола генераторів на ефекті Віллари.</i>
15	Лекція 15. Датчики на основі магніострикції. Побудова датчиків сили, крутного моменту та лінійного переміщення. <i>Література: [10]; [4], с. 250-290.</i> <i>Завдання на СРС: Безконтактні торсіонні датчики на основі ефекту Відемана.</i>
16	Лекція 16. Математичне моделювання магніострикції. Застосування феноменологічних моделей (модель Джайлса-Атертона).

	<i>Література: [4], с. 130-170; [8]. Завдання на СРС: Модифікації моделі Джайлса-Атертона для врахування динамічних ефектів.</i>
17	Лекція 17. Динамічні режими роботи. Еквівалентні схеми заміщення магнітострикційних вібраторів, розрахунок резонансів. <i>Література: [4], с. 300-340. Завдання на СРС: Аналіз втрат на вихрові струми в магнітострикційних осердях на високих частотах.</i>
18	Лекція 18. Магнітоелектричні (МЕ) перетворювачі. Комбіноване застосування п'єзоелектричних та магнітострикційних шарів у композитах. <i>Література: [5], с. 450-480; [7]. Завдання на СРС: Багатошарові ламінатні магнітоелектричні композити: методи виготовлення та характеристики.</i>

Лабораторні роботи

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	Лабораторна робота №1. Вступне заняття. Інструктаж з техніки безпеки. Дослідження прямого п'єзоелектричного ефекту та визначення базових параметрів консольного п'єзогенератора.
2	Лабораторна робота №2. Зняття статичних та динамічних характеристик п'єзоелектричного ультразвукового двигуна. Визначення механічної потужності та ККД.
3	Лабораторна робота №3. Моделювання п'єзоелектричного перетворювача методом скінченних елементів (наприклад, у середовищі COMSOL Multiphysics або ANSYS).
4	Лабораторна робота 4. Дослідження ефекту Джоуля в магнітострикційному актуаторі з матеріалу Terfenol-D. Оцінка впливу механічного попереднього напруження (pre-stress).
5	Лабораторна робота №5. Вивчення роботи магнітострикційного датчика лінійного переміщення (на основі ефекту Відемана) та побудова петлі магнітомеханічного гістерезису.
6	Лабораторна робота №6. Дослідження характеристик комбінованого багатошарового магнітоелектричного (МЕ) перетворювача енергії (п'єзоелектрик + магнітострикційний шар).

6. Самостійна робота студента

Розподіл годин на проведення самостійної роботи студентами:

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до проведення аудиторних занять	10
2	Підготовка до проведення лабораторних робіт	12
3	Підготовка до МКР	12
4	Підготовка до заліку	14
	Усього	48

Політика та контроль

7. 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 лабораторних заняттях. Виконання КР з дисципліни є обов'язковою умовою допуску до екзамену;*
- *правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних та лабораторних 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 призначення заохочувальних та штрафних балів: заохочувальні та штрафні бали не входять до основної шкали РСО, а їх сума не перевищує 10% стартової шкали. Заохочувальні бали нараховують за участь у факультетських та інститутських наукових конференціях, підготовку наукових статей. Штрафні бали нараховують за несвоєчасне виконання робіт.*
- *політика дедлайнів та перескладань: несвоєчасне виконання робіт з дисципліни передбачає нарахування штрафних балів. Якщо студент не проходив або не з'явився на МКР, його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання результатів МКР впродовж семестру не передбачено; у разі нульового результату/ів написання МКР можливе отримання додаткової задачі з відповідної теми на екзамені;*
- *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 дисципліни «Електричні машини систем автоматизи»;*
- *при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соц.мережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.*

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

Поточний контроль: експрес-опитування, МКР, виконання та захист лабораторних робіт.

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

Семестровий контроль: залік.

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

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг більше 30 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно

94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

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

- відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях;
- виконання та захист лабораторних робіт;
- виконання двох контрольних робіт у рамках модульної контрольної роботи (МКР).

Експрес-опитування	Лабораторні роботи	МКР	R _c	R _{зал}	R
4	36	20	60	40	100

Відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях

Ваговий бал — 2. Максимальна кількість балів на всіх лекційних заняттях дорівнює: 2 бали*2 = 4 бали.

Критерії оцінювання:

2 бали — повна обґрунтована відповідь,

1 бал — недостатньо обґрунтована відповідь,

0 балів — немає або невірна відповідь.

Модульний контроль

Ваговий бал — 10. Максимальна кількість балів за всі контрольні роботи дорівнює: 10 балів*2 = 20 балів. Критерії оцінювання:

10 балів - повна обґрунтована відповідь,

7 ... 9 балів - недостатньо обґрунтована відповідь,

4...6 балів - наявність 1- 2 помилок,

2...3 бали - необґрунтована відповідь з помилками.

Робота на лабораторних заняттях

Ваговий бал – 6. Максимальна кількість балів на всіх лабораторних роботах – 4 бали * 6 = 36 балів.

Ваговий бал – 6.

За кожен лабораторну можна отримати бали згідно наступного рейтингу:

Виконання експериментальної частини роботи, якісна обробка експериментальних даних, оформлення протоколу згідно зі стандартами і повна, обґрунтована відповідь при захисті роботи – 6 бали.

Обробка експериментальних даних з незначними помилками або неякісне оформлення протоколу – 4 ... 5 бали.

Суттєві помилки в експериментальних даних але повне розуміння теми і матеріалу лабораторної роботи – 1 ... 3 бали.

Лабораторна робота у цілому незахищена та не відпрацьована – 0 балів.

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру (стартовий рейтинг) складає:

$$R_c = 4 + 36 + 20 = 60 \text{ балів.}$$

Залікова складова шкали складає 40% від R, а саме:

$$R_{\text{зал}} = 40 \text{ балів.}$$

Рейтингова шкала з дисципліни складає:

$$R = R_c + R_z = 60 + 40 = 100 \text{ балів.}$$

Форма семестрового контролю – залік

Залікова робота складається з двох теоретичних запитань

Критерії оцінювання заліку

Рейтинг $R_c \geq 0,6 \cdot R$, тобто 60 балів – зараховується автоматично.

Рейтинг R_c в межах $(0,4 - 0,59) \cdot R$, тобто 40 – 59 балів – студенти складають залік.

Максимальний рейтинг заліку $R_z = 40$ балів.

Рейтинг заліку $R_z = 33 - 40$ балів – студент дав вичерпні відповіді на всі питання (при необхідності – і на додаткові), дає чіткі визначення всіх понять і величин, відповіді логічні і послідовні.

Рейтинг заліку $R_z = 25 - 32$ балів – відповідаючи на питання, студент припускається окремих помилок, але може їх виправити за допомогою викладача; знає визначення основних понять і величин дисципліни, в цілому розуміє фізичну суть електромагнітних процесів в об'єктах, які вивчав.

Рейтинг заліку $R_z = 16 - 24$ балів – студент частково відповідає на екзаменаційні питання, показує знання, але недостатньо розуміє фізичну суть електромагнітних процесів перетворення енергії. Відповіді непослідовні і нечіткі.

Рейтинг заліку $R_z \leq 15$ балів – у відповіді студент припускається суттєвих помилок, проявляє нерозуміння фізичної суті електромагнітних процесів, не може виправити помилки за допомогою викладача. Відповіді некоректні, а в деяких випадках не відповідають суті поставленого питання.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено 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.)