



# ДЕФЕКТИ ТА УШКОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>G «Інженерія, виробництво та будівництво»</i>
Спеціальність	<i>141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»</i>
Освітня програма	<i>Електричні машини і апарати (Electrical machines and apparatus)</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна) та очна (денна) прискорена</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>120 годин / 4 кредити ECTS</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/МКР</i>
Розклад занять	<i><a href="http://roz.kpi.ua/">http://roz.kpi.ua/</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>к.т.н. Коваленко Михайло Анатолійович, 0676563651</i> Практичні: <i>к.т.н. Коваленко Михайло Анатолійович, 0676563651</i>
Розміщення курсу	<i><a href="https://do.ipi.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipi.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></i>

### Програманавчальної дисципліни

#### 1. Описнавчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

*Програма навчальної дисципліни «Дефекти та ушкодження електричних машин» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра з галузі знань G «Інженерія, виробництво та будівництво» за спеціальністю G3 «Електрична інженерія».*

***Метою навчальної дисципліни** є одержання теоретичних і практичних знань з тим, щоб у студента закласти основи для виробничо-технічної, проектно-конструкторської та дослідної діяльності.*

***Предмет навчальної дисципліни** – Дефекти та ушкодження електричних машин, яка є основним ланцюгом в сучасному електроенергетичному процесі. Також безконтактні електричні машини нетрадиційного типу та безконтактні електромагнітні муфти.*

***Програмні результати навчання:***

*Компетенції: (ЗК1-10) Здатність застосовувати знання на практиці; Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово; Здатність спілкуватися іноземною мовою; Здатність до використання інформаційних і комунікаційних технологій; Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми; Здатність приймати обґрунтовані рішення; Готовність та здатність високоякісно виконувати роботу як самостійно так і колективно та приймати рішення в межах своїх професійних знань та компетенцій; Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня; Здатність діяти соціально відповідально та свідомо. (ФК 2, 4-6, 10-13, 17) Здатність вирішувати практичні задачі із залученням апарату вищої*

математики, загальної фізики та теоретичної електротехніки; Здатність вирішувати практичні задачі, пов'язані з проблемами метрології, електричних вимірювань, роботою пристроїв автоматичного керування, релейного захисту та автоматики; Здатність вирішувати практичні задачі, пов'язані з роботою електричних машин, апаратів та автоматизованого електроприводу; Здатність вирішувати практичні задачі, пов'язані з проблемами виробництва, передачі та розподілення електричної енергії; Усвідомлення необхідності підвищення енергоефективності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування; Усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці; Готовність до надзвичайних (аварійних) ситуацій в електроенергетичних та електромеханічних системах; Здатність ідентифікувати, одержувати й розміщати необхідні дані, планувати й проводити аналітичні і експериментальні дослідження та моделювання електричних машин і апаратів, критично оцінювати дані й робити висновки; Здатність ефективно використовувати нові технології в процесі модернізації та реконструкції електричного обладнання, електричних машин та апаратів, електричного транспорту, електричних пристроїв, систем та комплексів.

Знання: конструкції та принципу дії безконтактних машин, технічного обслуговування безконтактних електричних машин; розрахунку та проектування; виконання планово-попереджувальних робіт безконтактних електричних машин; догляду; ремонту, монтажу, несправностей електричних машин.

Уміння: використовувати основні закони електротехніки та електромеханіки при поясненні принципів функціонування електромеханічних перетворювачів енергії; використовувати математичні методи при розрахунку параметрів, характеристик та режимів роботи безконтактних електричних машин та трансформаторів; вибору безконтактних електричних машин для конкретних умов їх експлуатації; виконувати типові розрахунки параметрів, характеристик та режимів роботи безконтактних електричних машин.

Досвід: аудиторної та самостійної роботи при засвоєнні нового матеріалу; використання набутих знань при розв'язанні задач типового характеру; самостійного виконання поставлених завдань.

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

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти: теоретичною базою дисциплін «Вища математика», «Фізика», «Теоретична механіка» та «Теоретичні основи електротехніки», «Електричні машини». Дисципліна «Дефекти та ушкодження електричних машин», використовуючи відомі закони електротехніки, подає теорію електричних машин і трансформаторів. При вивченні конструкції та режимів роботи безконтактних електричних машин потрібні також знання з інженерної графіки, електротехнічних матеріалів, прикладної механіки, електроніки, основам метрології та електричним вимірюванням. Значну увагу приділено аналізу сфери застосування безконтактних електричних машин та їх впливу на розвиток різноманітних галузей промисловості; передує вивченню дисциплін «Автоматизований електропривід», «Монтаж та експлуатація електротехнічного обладнання», «Електричні системи та мережі», «Споживачі електричної енергії».

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Дисципліну структурно розділено на 2 розділи, а саме:

1. **Загальна класифікація дефектів та фізика процесів старіння електричних машин, до якого ввійшли питання про місце і роль технічного обслуговування, планово-попереджувальних ремонтів та технічної діагностики електричних машин у сучасній промисловості, електроенергетиці та комунальному господарстві. Основні поняття теорії надійності електромеханічного обладнання згідно з чинними державними стандартами: дефект, ушкодження, відмова, граничний стан, безвідмовність та**

залишковий ресурс. Термін роботи електричних машин різних класів (загальнопромислових асинхронних двигунів, синхронних генераторів, силових трансформаторів) та класифікація експлуатаційних навантажень (термічні, електричні, механічні, кліматичні). Загальна класифікація дефектів електричних машин за місцем виникнення, фізичною природою та стадіями розвитку (завводські, монтажні, експлуатаційні). Фізико-хімічні процеси деградації конструкційних, провідникових та ізоляційних матеріалів. Огляд сучасних підходів до дефектоскопії: від базових випробувань до автоматизованих систем безперервного моніторингу стану. Проблема передчасного виходу з ладу електричних машин через незадовільну роботу захисної та комутаційної апаратури, несиметрію мережі чи тривалі перевантаження.

- 2. Електромагнітні, ізоляційні та механічні ушкодження конструктивних вузлів електричних машин, до якого ввійшли питання про пошкодження ізоляції обмоток як головна причина аварійних відмов у загальнопромислових та спеціальних електричних машинах. Міжжиткове замикання, пробій на корпус, міжфазні замикання в обмотках змінного та постійного струму; механізми їхнього розвитку та теплового руйнування. Роль пускорегульованої апаратури (контакторів, плавних пусків, частотних перетворювачів) у виникненні комутаційних перенапруг та прискореному старінні ізоляції обмоток статора. Дефекти магнітних систем: розпушування сталі статора та ротора, руйнування міжлистової ізоляції шихтованого осердя, місцеве перегрівання («пожежа в сталі») внаслідок дії вихрових струмів. Специфіка ушкоджень рухомих і струмоведучих елементів: обриви та тріщини в стержнях і короткозамикальних кільцях «білячої клітки» асинхронних двигунів, дефекти щітково-колекторного вузла машин постійного струму. Розмагнічування та механічне руйнування постійних магнітів у сучасних енергоефективних машинах. Механічні дефекти вузлів: знос та перегрів підшипників кочення і ковзання. Підшипникові струми в умовах живлення від напівпровідникових перетворювачів. Статичний і динамічний ексцентриситет ротора, порушення балансування, механічні вібрації, дефекти валів та наслідки порушення співвісності електромеханічних агрегатів.**

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

##### Основні інформаційні ресурси:

1. Дефекти та ушкодження електричних машин: Практикум [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / В.В. Чумак, М.А. Коваленко, В.В. Котлярова. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. - 55 с. українською мовою; Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 6 від 24.06.2022 р.) за поданням Вченої ради Факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол № 10 від 20.06.2022 р.).
2. J.R. Hendershot & T.J.E. Miller Design of Brushless Permanent-Magnet Machines. - Motor Design Books LLC; Second Edition (March 30, 2010). – 882 p.
3. Jacek F. Gieras, Rong-Jie Wang, Maarten J. Kamper Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines. Springer; 2nd ed. 2008 edition (November 21, 2014), -373 p.
4. Ahmed F. Zobaa, Shady H.E. Abdel Aleem Brushless Electric Machines with Axial Magnetic Flux: Analysis and Synthesis. 2021. - 118 p.
5. Takashi Kenjo, S. Permanent-Magnet and Brushless DC Motors. Oxford University Press (February 20, 1986), - 200 p.
6. Chang-liang Xia Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives and Controls. - Wiley; 1st edition (April 24, 2012), - 485 p.
7. Ramu Krishnan Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives. - CRC Press, 2009, - 612 p.
8. P.C. Sen Principles of Electric Machines and Power Electronics, 3rd Edition. – Wiley, 2013, 640 p.

9. *Lon Boldea, Lucian Tutelea Reluctance Electric Machines Design and Control. CRC Press, 2020, 432 p.*
10. *Дистанційний курс «Дефекти та uszkodження електричних машин»*  
<https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431>

Додаткові:

1. *Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "Дефекти та uszkodження електричних машин". К.: Київ: НТУУ „КПІ”, 2017. – 55 с.*
2. *Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електричні машини систем автоматики» . Розділ: «Безконтактні електричні мікромашини». К.: Київ: Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 55 с.*
3. *Математичне моделювання електричних машин з постійними магнітами: навчальний посібник. Навчально-методичний посібник /Васьковський Ю.М., Гайденко Ю.А., Коваленко М.А. // Київ: КПІ ім. І. Сікорського, 2017. – 193 с.*
4. *Моделювання електромеханічних систем [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка", спеціалізації "Електричні машини і апарати" / В.Ф. Шинкаренко, А.А. Шиманська, В.В. Котлярова. - Електронні текстові дані (1 файл: X,XX Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. - 258 с. українською мовою; Затверджено Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського Протокол № 10; дата 04.11.2019*

**Навчальний контент**

**5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)**

*Лекційні заняття*

<i>№ з/п</i>	<i>Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)</i>
1	<b>Лекція 1. Вступ до дисципліни.</b> Роль та місце технічного обслуговування за станом і технічної діагностики в сучасній електромеханіці. Основні поняття теорії надійності відповідно до ДСТУ: дефект, uszkodження, аварійна відмова, граничний стан та залишковий ресурс електричних машин. літературні джерела: [1], , с.240-253; [3], , с. 110- 122. дистанційний курс «Дефекти та uszkodження електричних машин» лекція 1 <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a>
2	<b>Лекція 2.</b> Надійність роботи електричних машин різних класів. Класифікація експлуатаційних навантажень (термічні, електричні, механічні, кліматичні). Фізична природа та взаємозв'язок різних видів навантажень у процесі тривалої роботи двигунів, генераторів та трансформаторів. літературні джерела [1], с.253-260, [3], с. 123- 127; дистанційний курс «Дефекти та uszkodження електричних машин» лекція 2 <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a>
3	<b>Лекція 3. Загальна класифікація дефектів за стадіями їхнього виникнення (заводські, монтажні, експлуатаційні).</b> Фізико-хімічні процеси деградації конструкційних, провідникових та ізоляційних матеріалів під дією агресивних умов навколишнього середовища. літературні джерела [1] с.269-273, [3] с.34-46. дистанційний курс «Дефекти та uszkodження електричних машин» лекція 3 <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a>
4	<b>Лекція 4. Еволюція та класифікація методів дефектування електричних машин.</b> Органолептичні методи оцінювання стану обладнання. Загальна характеристика сучасних автоматизованих систем безперервного моніторингу (Condition Monitoring) та їх складники.

	<p>літературні джерела [1] с.274-296; [3] с.34-46.  дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин» лекція 4  <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
5	<p><b>Лекція 5. Ізоляція обмоток як найуразливіший елемент електричних машин.</b> Класифікація ізоляційних ушкоджень. Міжжиткове замикання, пробій на корпус та міжфазні замикання в обмотках змінного та постійного струму, їхня коротка характеристика та відмінності в проявах.  літературні джерела [1] с.298-310; [4] с. 190-234;  дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин» лекція 5  <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
6	<p><b>Лекція 6. Механізми розвитку ушкоджень ізоляції.</b> Теплове руйнування ізоляції, дія електричної дуги при міжфазних замиканнях. Вплив пускових струмів та частих пусків на прискорене механічне та термічне старіння ізоляційної конструкції пазової та лобової зон.  літературні джерела [1] с.310-316, [2] с.210-216;  дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин» лекція 6  <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
7	<p><b>Лекція 7. Особливості старіння та руйнування ізоляції обмоток статора в частотно-регульованих електроприводах.</b> Фізичні чинники впливу вищих гармонік напруги та перехідних комутаційних перенапруг, зумовлених роботою напівпровідникових інверторів.  літературні джерела [1], с.324-328; [3], с. 61-65,[4], с. 115-129.  дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин» лекція 7  <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
8	<p><b>Лекція 8. Дефекти магнітних систем електричних машин.</b> Розпушування та вібрація сталі статора і ротора. Порушення та руйнування міжлистової ізоляції шихтованого осердя, причини їх виникнення під час механічного збирання, пресування або експлуатації.  літературні джерела [1], с.328-344; [3] с. 66-73.  дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин» лекція 8  <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
9	<p><b>Лекція 9. Явище «пожежі в сталі» магнітопроводів.</b> Фізичне обґрунтування виникнення локальних зон перегрівання в активній сталі, механізм зростання втрат від вихрових струмів через коротке замикання окремих листів електротехнічної сталі.  літературні джерела [1], с.344-350.  дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин» лекція 9  <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
10	<p><b>Лекція 10. Ушкодження роторів асинхронних двигунів.</b> Дефекти короткозамкненої обмотки типу «біляча клітка»: обриви, тріщини в стержнях та короткозамкнених кільцях. Фізичні наслідки теплової та магнітної несиметрії ротора для робочих характеристик електричних машин.  літературні джерела: [1], с.28-44; [4] с. 66-73  дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин» лекція 10  <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
11	<p><b>Лекція 11. Специфічні дефекти роторів синхронних машин із постійними магнітами.</b> Ефект старіння та механічного руйнування постійних магнітів. Фізичне обґрунтування процесів термічного розмагнічування під дією розмагнічувальних полів реакції якоря при коротких замиканнях.  літературні джерела: [1], с.45-54; [4] с. 76-83;  дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин» лекція 11  <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
12	<p><b>Лекція 12. Дефекти та ушкодження щітково-колекторного вузла машин постійного</b></p>

	<p><b>струму.</b> Класифікація причин іскріння (механічні, комутаційні, потенційні). Механічний знос, виступання міканітових пластин, перекіс щіткотримачів та переростання іскріння в коловий вогонь.</p> <p>літературні джерела: [1], с.55-64; [4] с. 86-93.</p> <p>дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин» лекція 12  <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
13	<p><b>Лекція 13. Ушкодження підшипникових вузлів електричних машин.</b> Дефекти підшипників кочення та ковзання: знос бігових доріжок, пітинг, деструкція сепаратора. Вплив незадовільного змащування на тепловий стан та передчасний вихід з ладу вузла.</p> <p>літературні джерела: [1], с.65-74; [4] с. 94-98.</p> <p>дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин» лекція 13  <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
14	<p><b>Лекція 14. Наявність струмів у підшипникових вузлах в сучасних електричних машинах.</b> Фізична природа виникнення ємнісних та індуктивних напруг на валу при живленні від статичних перетворювачів. Механізм електроерозійного руйнування поверхонь кочення підшипників.</p> <p>літературні джерела: [1], с.75-87; [4] с. 101-108.</p> <p>дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин» лекція 14  <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
15	<p><b>Лекція 15. Ексцентриситет ротора в електричних машинах.</b> Поняття та відмінності статичного і динамічного ексцентриситету, причини їх появи при монтажі та зносі підшипників. Фізичні наслідки: виникнення однобічного магнітного притягання, вібрацій та зачіпання ротора за статор.</p> <p>літературні джерела: [2], с.83-87; [3] с. 131-138</p> <p>дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин» лекція 15  <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
16	<p><b>Лекція 16. Механічний дисбаланс роторів електричних машин.</b> Причини порушення рівномірного розподілу мас обертових частин. Поняття про критичні частоти обертання валу. Фізика розвитку небезпечних механічних вібрацій підшипникових щитів та станини.</p> <p>літературні джерела: [2], с.101-187; [3] с. 139-148.</p> <p>дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин» лекція 16  <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
17	<p><b>Лекція 17. Дефекти валів та вузлів з'єднання електромеханічних агрегатів.</b> Механічні пошкодження шийок валу, знос шпонкових пазів, поява тріщин від втоми металу та напружень. Наслідки порушення співвісності (радіального та кутового розцентрування) валів агрегату.</p> <p>літературні джерела: [1], с.216-232; [3] с. 731-738.</p> <p>дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин» лекція 17  <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
18	<p><b>Лекція 18. Зовнішні експлуатаційні фактори аварійних відмов електричних машин.</b> Вплив несиметрії та несинусоїдальності напруги мережі живлення. Роль комутаційної і захисної апаратури (автоматичних вимикачів, реле захисту) у запобіганні розвитку дефектів при тривалих перевантаженнях.</p> <p>літературні джерела: [1], с.236-252; [3] с. 740-748.</p> <p>дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин» лекція 18  <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>

Лабораторні роботи

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	<p><b>Заняття 1. Методи контролю та оцінювання стану ізоляції обмоток електричних машин.</b> Визначення опору ізоляції, коефіцієнта абсорбції та випробування електричної міцності ізоляційних конструкцій відносно корпусу за допомогою мегомметрів та високовольтних випробувальних установок.</p> <p>літературні джерела [1], с.244-253;                      дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин»  <a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
2	<p><b>Заняття 2. Дослідження міжвиткових та міжфазних замикань в обмотці статора асинхронних двигунів.</b> Експериментальне визначення магнітної та струмової несиметрії, аналіз зміни робочих характеристик та теплового стану машини при імітації внутрішньообмоткових дефектів.</p> <p>літературні джерела [6], с.11-22; [10], с.11-15;                      дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин»  <a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
3	<p><b>Заняття 3. Експериментальне дослідження дефектів магнітних систем електричних машин.</b> Імітація пошкоджень міжлистової ізоляції шихтованого магнітопроводу, дослідження зон підвищених втрат та аналіз явища «пожежі в сталі» за допомогою методів термографії (тепловізійного контролю). Модульна контрольна робота (частина 1).</p> <p>літературні джерела [4], с. 181-182;                      дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин»  <a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
4	<p><b>Заняття 4. Діагностика ушкоджень короткозамкнених роторів асинхронних двигунів.</b> Виявлення обривів і тріщин у стержнях «білячої клітки» тестовими методами діагностики.</p> <p>літературні джерела [4], с. 191-192;                      дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин»  <a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
5	<p><b>Заняття 5. Дослідження процесів розмагнічування та деградації роторів із постійними магнітами.</b> Оцінювання залишкової індукції магнітних блоків синхронних машин після штучного термічного впливу та важких пускових режимів (імітація реакції якоря).</p> <p>літературні джерела [3], с. 811-812.                      дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин»  <a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
6	<p><b>Заняття 6. Дослідження процесів погіршення комутації машин постійного струму.</b> Експериментальне визначення причин іскріння під щіткою, оцінювання стану колекторно-щіткового вузла при механічних дефектах (перекіс щіток, знос) та нерівномірному розподілі струму.</p> <p>літературні джерела [3], с. 813-814;                      дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин»  <a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
7	<p><b>Заняття 7. Вплив статичного та динамічного ексцентриситету ротора на параметри електричної машини.</b> Вимірювання та аналіз сил однобічного магнітного притягання, спотворень форми магнітної індукції у повітряному проміжку та виникнення додаткових вібрацій через перекіс ротора.</p> <p>літературні джерела [3], с.742-745.                      дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин»</p>

	<a href="https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a>
8	<b>Заняття 8. Віброакустична діагностика механічних дефектів підшипникових вузлів та валів.</b> Вимірювання рівнів віброприскорення та віброшвидкості при механічному дисбалансі ротора, ушкодженнях підшипників кочення (пітінг) та порушенні співвісності агрегатів. Модульна контрольна робота (частина 2). літературні джерела: [3], с.746-750. дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин»; індивідуальні завдання на МКР ч.II <a href="https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a>
9	Залік. дистанційний курс «Дефекти та ушкодження електричних машин» індивідуальні завдання до заліку <a href="https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a>

## 6. Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	12
2	Розв'язок завдань	18
3	Підготовка до МКР	16
4	Підготовка до ДКР	12
5	Підготовка до заліку	8

## 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 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 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 олімпіадах з дисципліни «Дефекти та ушкодження електричних машин», участь у факультетських та інститутських наукових конференціях. Штрафні бали нараховують за несвоєчасне виконання практичних завдань.
- політика дедлайнів та перескладань: несвоєчасне виконання практичних завдань передбачають нарахування штрафних балів. Якщо студент не проходив або не з'явився на МКР, його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання захисту 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 дисципліни «Дефекти та uszkodження електричних машин»;

- 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 (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, розв'язання задач

**Календарний контроль:** провадиться 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:** мінімально позитивна оцінка за роботу на практичних та лекційних заняттях, модульний контроль, семестровий рейтинг менше 40 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 лабораторних робіт;
- виконання двох контрольних робіт у рамках модульної контрольної роботи (МКР).

	Виконання лабораторних робіт	МКР	Rc	Rзал	R
Експрес-опитування					
12	48	40	100	60	100

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

Ваговий бал – 4. Максимальна кількість балів на всіх лекціях – 4 бали \* 3 = 12 балів.

Критерії оцінювання

- правильні відповіді на окремі питання з місця – 3,6-4 бали;
- недостатньо обґрунтована відповідь 2,4-3,5 бали;
- відсутність відповіді – 0 балів.

### Виконання лабораторних робіт

Ваговий бал – 6. Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи дорівнює: 6 балів\*8=48 балів.

Критерії оцінювання:

- 5,6-6 балів – роботу зроблено повністю та коректно виконано;
- 4,1-5,5 балів – наявність помилок, результати відрізняються від правильних;

- 3,6-4 бали – завдання виконано із значною кількістю помилок;
- відсутність відповіді – 0 балів.

### **Модульна контрольна робота**

Ваговий бал — 20. Максимальна кількість балів за всі контрольні роботи дорівнює: 20 балів\*2 = 40 балів. Критерії оцінювання:

- 20 балів - повна обґрунтована відповідь,
- 17 ... 19 балів - недостатньо обґрунтована відповідь,
- 15...17 балів - наявність 1- 2 помилок,
- 12-14 балів - необґрунтована відповідь з помилками.
- відсутність відповіді – 0 балів.

Календарний контроль базується на поточній рейтинговій оцінці. Умовою позитивної атестації є значення поточного рейтингу студента не менше 50% від максимально можливого на час атестації.

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

$$RC = 8+12+ 40 + 40 = 100 \text{ балів.}$$

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).

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**

- $R_z = 33 - 40$  балів – студент дав вичерпні відповіді на всі питання (при необхідності – і на додаткові), дає чіткі визначення всіх понять і величин, відповіді логічні і послідовні.
- $R_z = 28 - 32$  бали – 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.
- $R_z = 24 - 27$  балів – студент частково відповідає на екзаменаційні питання, показує знання, але недостатньо розуміє фізичну суть електромагнітних процесів перетворення енергії. Відповіді непослідовні і нечіткі.
- у відповідях студент припустився суттєвих помилок, проявив нерозуміння основних понять і термінів, не може виправити помилки за допомогою викладача. Відповіді некоректні, а в деяких випадках не відповідають суті поставленого питання – 0...23 бали.

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
Менше 30	Не допущено	Не допущено

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

### *Перелік тем, які виносяться на семестровий контроль*

1. Проблема створення БРЕМ
2. Переваги застосування ЕД та ЕГ класичної конструкції (із ковзним контактом)
3. Проблеми застосування рухомого контакту
4. Недоліки ЕД та ЕГ із ковзним контактом
5. Области застосування БРЕМ в силовому устаткуванні та системах автоматики
6. Класифікація БРЕМ і їх фізична структура
7. Синхронні БРЕМ
8. Асинхронні БРЕМ
9. БРЕМ постійного струму
10. Особливості вагогабаритних показників БЕМ
11. Фізичне обґрунтування регулювальних властивостей колекторних двигунів постійного струму
12. Поліпшення регулювальних властивостей двигунів змінного струму
13. Конструкція синхронних машин з постійними магнітами на роторі
14. СМПМ із зіркоподібним ротором
15. СМПМ із пазуроподібним ротором
16. СМПМ із призматичними магнітами
17. Особливості синхронних БЕМ з ПМ та область їх застосування
18. Способи стабілізації напруги генератора із ПМ
19. Область застосування БЕМ із ПМ
20. БЕМ з обмотками збудження. Безконтактні СМ із обертовим випрямлячем
21. Синхронні збуджувачі
22. Застосування БЕМ із ОЗ
23. Безконтактні СМ із пазуроподібними полюсами
24. БСМ із внутрішньо замкненим потоком
25. Конструкція БЕМ із внутрішньо замкненим потоком та одностороннім розташуванням ОЗ
26. Конструкція машини із двохстороннім збудженням (сексин)
27. Торцеві БЕМ
28. Індукторні БЕМ
29. Однойменнополюсні ІМ із пульсуючим полем
30. Різнойменнополюсні ІМ із пульсуючим полем
31. ІМ зі змінним полем
32. Порівняння різних типів ІМ та область застосування
33. Область застосування ІМ
34. Синхронні генератори з комбінованим збудженням
35. Різновиди вентильних електричних машин
36. Вентильні машини постійного струму із замкнутою багатосекційною обмоткою
37. Вентильний генератор із напівпровідниковим випрямлячем, що має нульовий вивід
38. Вентильний генератор з напівпровідниковим випрямлячем мостового типу
39. Ступінь використання ВГ
40. Особливості характеристик та показників ВГ
41. Особливості конструктивного виконання і області застосування вентильних генераторів
42. Принцип дії вентильного двигуна, виконаного на базі синхронної машини
43. Робочі процеси і основні характеристики ВД
44. Область застосування ВД
45. Типи давачів, які використовуються у вентильних електричних машинах

46. Крокові двигуни
47. Двигуни зі змінним магнітним опором
48. Двигуни з постійними магнітами
49. Гібридні крокові двигуни
50. Способи управління кроковим двигуном
51. Пуск кроковогодвигуна. Явище резонансу
52. Резонанс КД
53. Область застосування КД
54. Асинхронні та каскадні БЕМ
55. ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНІ АСИНХРОННІ ДВИГУНИ
56. Системи управління перетворювачем частоти
57. Особливості теорії асинхронних двигунів при частотному регулюванні
58. Будова частотно-регульованих двигунів
59. Основи векторного керування асинхронних двигунів
60. Безконтактні електромагнітні та магнітні муфти
61. Електромагнітні муфти ковзання
62. Синхронні муфти
63. Синхронно-асинхронні та магнітогістерезисні муфти.
64. Безконтактні електричні машини нетрадиційних типів
65. Безконтактні параметричні генератори, що використовують енергію ударних хвиль та явище надпровідності
66. Надпровідникові генератори
67. Ємнісні параметричні генератори
68. БЕМ із пружним кріпленням рухомого елемента

**Сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою можуть бути зараховані за умови виконання вимог, наведених у НАКАЗІ № 7-177 від 01.10.2020 ПРО ЗАТВЕРДЖЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ВИЗНАННЯ В КПІ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ, НАБУТИХ У НЕФОРМАЛЬНІЙ/ІНФОРМАЛЬНІЙ ОСВІТІ**

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** доцентом кафедри електромеханіки ФЕА, к.т.н. Коваленком М.А.

**Ухвалено** кафедрою електромеханіки ФЕА (протокол № 14 від 02.06.2026 р.)

**Погоджено** Методичною комісією факультету<sup>1</sup> (протокол № 10 від 26.06.2026 р.)

---

<sup>1</sup>Методичною радою університету– для загальноуніверситетських дисциплін.