



# ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ПОБУТОВОЇ ТЕХНІКИ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>G3 «Електрична інженерія»</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>3 курс, 5 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.ipk.kpi.ua/course/">https://do.ipk.kpi.ua/course/</a></i>

### Програманавчальної дисципліни

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

*Програма навчальної дисципліни «Електричні машини побутової техніки» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра з галузі знань G3 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.*

***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** – Електричні машини побутової техніки, 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: конструкцій, класифікації та принципів дії електричних мікромашин, що використовуються в сучасній побутовій техніці (колекторних, асинхронних, крокових двигунів, а також вентильних двигунів із постійними магнітами). Знання режимів роботи та регульовальних характеристик електроприводів побутових приладів (пральних та посудомийних машин, кухонних комбайнів, пилососів, холодильних установок тощо). Знання методів керування частотою обертання та реверсування електродвигунів побутового призначення за допомогою електронних компонентів та мікроконтролерних систем. Знання особливостей взаємодії електричних мікромашин із механічними вузлами побутових приладів, пусковою апаратурою та датчиками зворотного зв'язку. Знання основ технічного обслуговування, сервісної діагностики, виявлення типових несправностей (пошкодження обмоток, знос щітково-колекторного вузла, підшипників) та відновлення працездатності мікромашин.

Уміння: застосовувати загальні закони електротехніки та магнітних кіл для аналізу робочих процесів, пускових і гальмівних режимів електричних машин побутової техніки. Уміння виконувати розрахунок експлуатаційних параметрів, механічних і робочих характеристик мікроелектродвигунів за паспортними та експериментальними даними. Уміння аналізувати вплив параметрів живильної мережі (відхилення напруги, частоти) та змінних механічних навантажень на надійність і ККД побутового електроприводу. Уміння здійснювати обґрунтований вибір типу та потужності електродвигуна, а також схем його захисту і керування для конкретних видів побутових приладів. Уміння виконувати типові інженерні розрахунки та сервісні операції, пов'язані з оцінюванням технічного стану, визначенням залишкового ресурсу та ремонтом електротехнічних вузлів побутової техніки.

Досвід: аудиторної, лабораторної та самостійної роботи при дослідженні характеристик мікромашин і вивченні конструктивної специфіки сучасного побутового електрообладнання. Досвід використання набутих теоретичних знань і довідкової літератури для розв'язання практичних (експлуатаційних та діагностичних) задач типового характеру. Досвід самостійного виконання поставлених завдань, проведення дефектування елементів електричних машин та аналізу причин їхнього передчасного виходу з ладу.

## **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 «Електричні машини побутової техніки»,

використовуючи відомі закони електротехніки, подає теорію автономних електромеханічних перетворювачів енергії. При вивченні конструкції та режимів роботи автономних електромеханічних перетворювачів необхідні знання з інженерної графіки, електротехнічних матеріалів, прикладної механіки, електроніки, основам метрології та електричним вимірюванням. Значну увагу приділено аналізу сфери застосування автономних електромеханічних перетворювачів та їх впливу на розвиток різноманітних галузей промисловості та забезпечення надійного електропостачання споживачів; передує вивченню дисциплін “Автоматизований електропривід”, “Монтаж та експлуатація електротехнічного обладнання”, “Електричні системи та мережі”, “Споживачі електричної енергії”.

### **3. Зміст навчальної дисципліни**

*Дисципліну структурно розподілено на 3 розділи, а саме:*

#### ***Розділ 1. Загальні відомості про електричні машини побутової техніки***

- Тема 1.1. Місце та роль електричних машин у сучасній побутовій техніці. Класифікація електричних машин за принципом дії, конструкцією та областю застосування. Огляд типових застосувань: пральні машини, пилососи, холодильники, кондиціонери, кухонна техніка, електроінструмент.
- Тема 1.2. Основні фізичні явища та закони, що лежать в основі роботи електричних машин. Електромагнітна індукція, сила Ампера, електромагнітний момент. Енергетичний баланс та ККД електричних машин побутового призначення.
- Тема 1.3. Конструктивні елементи електричних машин: статор, ротор, обмотки, магнітопровід, підшипникові вузли. Особливості конструкцій для побутової техніки: малі габарити, знижений рівень шуму, підвищена надійність.

#### ***Розділ 2. Колекторні електричні машини в побутовій техніці***

- Тема 2.1. Будова та принцип дії колекторних машин постійного та змінного струму. Універсальний колекторний двигун (УКД): конструкція, принцип роботи, механічні та електромеханічні характеристики. Переваги та недоліки колекторних двигунів.
- Тема 2.2. Застосування УКД у побутовій техніці: пилососи, міксери, кавомолки, дрилі, болгарки. Аналіз режимів роботи: пуск, номінальний режим, перевантаження, реверс. Регулювання частоти обертання методом зміни напруги живлення (симістор, тиристор, ШІМ).
- Тема 2.3. Несправності та технічне обслуговування колекторних машин. Знос щіток та колектора, міжвиткові замикання, вібрація та підвищений рівень шуму. Методи діагностики та усунення несправностей.

#### ***Розділ 3. Безколекторні (безконтактні) електричні машини в побутовій техніці***

- Тема 3.1. Будова та принцип дії безколекторних двигунів постійного струму. Конструктивні схеми: з внутрішнім та зовнішнім ротором. Постійні магніти: матеріали, характеристики, тенденції розвитку. Порівняння BLDC із УКД за ефективністю, ресурсом та рівнем шуму.
- Тема 3.2. Системи керування безколекторними двигунами. Електронний комутатор на основі транзисторних ключів. Датчики положення ротора: датчики Холла, енкодери, безсенсорне керування. Інвертори та драйвери для BLDC-двигунів у побутовій техніці.
- Тема 3.3. Синхронні двигуни з постійними магнітами (PMSM) та асинхронні двигуни в побутовій техніці. Застосування у пральних машинах, кондиціонерах, холодильниках та вентиляційних системах. Векторне керування та DTC: принципи, переваги, реалізація в побутовій техніці.
- Тема 3.4. Енергоефективність та сучасні тенденції розвитку електричних машин побутової техніки. Класи енергоефективності ІЕ. Інтеграція із системами Smart Home. Перспективи застосування аксіальних та лінійних двигунів у побуті.

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### Основні інформаційні ресурси:

1. *Безконтактні регульовані електричні машини: 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. *Коваленко, М. А., Реуцький, М. О., Коваленко, І. Я., Базаров, О. О., & Тімов, Є. О. (2025). Використання джерела безперебійного живлення для зниження експлуатаційних витрат автономного електрогенератора. Відроджувана енергетика, (1(80), 29-37. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2025.1\(80\).29-37](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2025.1(80).29-37).*
3. *Коваленко М., Коваленко, І., Тімов, Є., & Базаров, О. (2025). Експлуатація автономних електромеханічних перетворювачів малої та середньої потужності. Електротехніка та електроенергетика, (1), 7–16. <https://doi.org/10.15588/1607-6761-2025-1-1>.*
4. *J.R. Hendershot & T.J.E. Miller Design of Brushless Permanent-Magnet Machines. - Motor Design Books LLC; Second Edition (March 30, 2010). – 882 p.*
5. *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.*
6. *Ahmed F. Zobaa, Shady H.E. Abdel Aleem Brushless Electric Machines with Axial Magnetic Flux: Analysis and Synthesis. 2021. - 118 p.*
7. *Takashi Kenjo, S. Permanent-Magnet and Brushless DC Motors. Oxford University Press (February 20, 1986), - 200 p.*
8. *Chang-liang Xia Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives and Controls. - Wiley; 1st edition (April 24, 2012), - 485 p.*
9. *Ramu Krishnan Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives. - CRC Press, 2009, - 612 p.*
10. *P.C. Sen Principles of Electric Machines and Power Electronics, 3rd Edition. – Wiley, 2013, 640 p.*
11. *Lon Boldea, Lucian Tutelea Reluctance Electric Machines Design and Control. CRC Press, 2020, 432 p.*
12. *Дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» <https://do.ipu.kpi.ua/course/view.php?id=4431>*

##### Додаткові:

1. *Коваленко, М. А. Експлуатація електричних машин: вказівки до виконання практичних занять [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавр за освіт. програмою "Електричні машини і апарати" спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / М. А. Коваленко, М. О. Реуцький, І. В. Ткачук ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електрон. текст. дані (1 файл: 2,16 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 71 с.*
2. *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.*
3. *Васьковський Ю.М., Коваленко М.А. Математичне моделювання електричних машин методами теорії поля. Київ, 2025, 257 с. Рішення Вченої Ради КПІ імені Ігоря Сікорського №6 від 09.06.2025 р.*
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. - 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

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1	<p><b>Розділ 1. Загальні відомості про електричні машини побутової техніки</b></p> <p><b>Лекція 1. Вступ до курсу.</b> Роль електричних машин у сучасній побутовій техніці. Визначення та предмет дисципліни. Місце електричних машин у побутових пристроях. Огляд типових застосувань: пральні машини, пилососи, кондиціонери, кухонна техніка, електроінструмент. Економічне та енергетичне значення ефективних електроприводів у побуті.</p> <p>літературні джерела: [1], , с.240-253; [3], , с. 110- 122.</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» лекція 1 <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>Лекція 2. Класифікація електричних машин побутової техніки.</b> Поділ за принципом дії: колекторні та безколекторні. Поділ за родом струму: постійний, змінний, універсальні. Поділ за конструкцією ротора: з внутрішнім та зовнішнім ротором. Порівняльний аналіз типів за ресурсом, ефективністю та рівнем шуму.</p> <p>літературні джерела [[1], с.253-260, [3], с. 123- 127;</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» лекція 2 <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>Лекція 3. Фізичні основи роботи електричних машин.</b> Закон електромагнітної індукції та сила Ампера. Електромагнітний момент та його формування. Енергетичний баланс електричної машини. ККД та його складові: електричні, магнітні та механічні втрати. Теплові режими роботи машин у побутовій техніці.</p> <p>літературні джерела [1] с.269-273, [3] с.34-46.</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» лекція 3 <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>Лекція 4. Конструктивні елементи електричних машин побутового призначення.</b> Статор та ротор: будова, матеріали магнітопроводу. Обмотки: типи, схеми з'єднань, ізоляція. Підшипникові вузли, корпусні деталі, системи охолодження. Особливості мініатюризації та вимоги до надійності в умовах побутової експлуатації.</p> <p>літературні джерела [1] с.274-296; [3] с.34-46.</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» лекція 4 <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>Розділ 2. Колекторні електричні машини в побутовій техніці</b></p> <p><b>Лекція 5. Будова та принцип дії колекторної машини постійного струму.</b> Конструкція: якір, колектор, щіткові вузли, збудження. Принцип перетворення енергії. Рівняння ЕРС та електромагнітного моменту. Механічні та електромеханічні характеристики двигуна постійного струму.</p> <p>літературні джерела [1] с.298-310; [4] с. 190-234;</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» лекція 5 <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>Лекція 6. Універсальний колекторний двигун (УКД).</b> Принцип роботи на змінному</p>

	<p>струмі. Конструктивні відмінності від двигуна постійного струму. Характеристики УКД: залежність моменту та швидкості від навантаження. Чинники, що обумовлюють широке застосування УКД у побуті: проста конструкція, висока питома потужність, широкий діапазон регулювання.</p> <p>літературні джерела [1] с.310-316, [2] с.210-216;</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» лекція 6</p> <p><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>Лекція 7. Застосування УКД у конкретних видах побутової техніки.</b> Пилососи: режими роботи, регулювання потужності всмоктування. Міксери та кавомолки: пускові характеристики, короточасні режими. Електроінструмент (дріль, болгарка, лобзик): реверс, перевантаження, механічне гальмування. Аналіз типових схем підключення.</p> <p>літературні джерела [1], с.324-328; [3], с. 61-65,[4], с. 115-129.</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» лекція 7</p> <p><a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
8	<p><b>Лекція 8. Регулювання частоти обертання колекторних двигунів.</b> Методи регулювання: зміна напруги живлення, зміна опору в колі якоря. Симісторне та тиристорне регулювання: принцип фазового керування. Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) для регулювання УКД. Порівняння методів за енергоефективністю та якістю регулювання.</p> <p>літературні джерела [1], с.328-344; [3] с. 66-73.</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» лекція 8</p> <p><a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
9	<p><b>Лекція 9. Пуск, реверс та гальмування колекторних двигунів.</b> Пускові струми та методи їх обмеження. Реверсування: зміна полярності обмотки якоря або збудження. Режими гальмування: рекуперативне, динамічне, противключенням. Захист колекторних двигунів від перевантажень та короткого замикання.</p> <p>літературні джерела [1], с.344-350.</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» лекція 9</p> <p><a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
10	<p><b>Лекція 10. Несправності, діагностика та технічне обслуговування колекторних машин.</b> Типові несправності: знос щіток і колектора, міжвиткові замикання, пробій ізоляції. Методи діагностики: вимірювання опору обмоток, іскроутворення на колекторі, аналіз вібрації та шуму. Обслуговування: заміна щіток, проточка колектора, очищення від вугільного пилу.</p> <p>літературні джерела: [1], с.28-44; [4] с. 66-73</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» лекція 10</p> <p><a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
11	<p><b>Розділ 3. Безколекторні електричні машини в побутовій техніці</b></p> <p><b>Лекція 11. Будова та принцип дії безколекторного двигуна постійного струму (BLDC).</b> Конструктивні схеми: inrunner та outrunner. Постійні магніти на роторі: матеріали NdFeB та ферит, їх характеристики. Принцип електронної комутації обмоток статора. Порівняння BLDC з УКД: ресурс, ефективність, рівень шуму, вартість.</p> <p>літературні джерела: [1], с.45-54; [4] с. 76-83;</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» лекція 11</p> <p><a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
12	<p><b>Лекція 12. Електронний комутатор для BLDC-двигунів. Схема трифазного інвертора на транзисторних ключах.</b> Алгоритми комутації: 6-крокова (трапецієподібна) та синусоїдальна. Датчики положення ротора: датчики Холла, принцип роботи, розміщення. Формування керуючих сигналів та часові діаграми комутації.</p> <p>літературні джерела: [1], с.55-64; [4] с. 86-93.</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» лекція 12</p> <p><a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>

13	<p><b>Лекція 13. Електронний комутатор для BLDC-двигунів.</b> Схема трифазного інвертора на транзисторних ключах. Алгоритми комутації: 6-крокова (трапецієподібна) та синусоїдальна. Датчики положення ротора: датчики Холла, принцип роботи, розміщення. Формування керуючих сигналів та часові діаграми комутації.</p> <p>літературні джерела: [1], с.65-74; [4] с. 94-98.</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» 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. Електронний комутатор для BLDC-двигунів.</b> Схема трифазного інвертора на транзисторних ключах. Алгоритми комутації: 6-крокова (трапецієподібна) та синусоїдальна. Датчики положення ротора: датчики Холла, принцип роботи, розміщення. Формування керуючих сигналів та часові діаграми комутації.</p> <p>літературні джерела: [1], с.75-87; [4] с. 101-108.</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» 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. Асинхронні двигуни в побутовій техніці.</b> Будова та принцип дії однофазного та трифазного асинхронного двигуна. Однофазні АД із пусковим та робочим конденсатором. Застосування в кондиціонерах, холодильних компресорах, вентиляторах, насосах. Характеристики та режими роботи.</p> <p>літературні джерела: [2], с.83-87; [3] с. 131-138</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» 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. Векторне керування та пряме керування моментом для безколекторних машин.</b> Принципи векторного керування: орієнтація за полем, системи координат d-q. Пряме керування моментом (DTC): структура, переваги швидкодії. Реалізація в побутовій техніці класу Inverter: кондиціонери, пральні машини, холодильники. Порівняння FOC та DTC.</p> <p>літературні джерела: [2], с.101-187; [3] с. 139-148.</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» 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. Енергоефективність електричних машин побутової техніки.</b> Класи енергоефективності IE1–IE4 та їх застосування до побутових машин. Директиви ЄС щодо мінімально допустимої ефективності (MEPS). Методи підвищення ефективності: оптимізація магнітопроводу, застосування рідкоземельних магнітів, частотне регулювання. Маркування енергоефективності побутових приладів (A+++).</p> <p>літературні джерела: [1], с.216-232; [3] с. 731-738.</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» 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. Енергоефективність електричних машин побутової техніки.</b> Класи енергоефективності IE1–IE4 та їх застосування до побутових машин. Директиви ЄС щодо мінімально допустимої ефективності (MEPS). Методи підвищення ефективності: оптимізація магнітопроводу, застосування рідкоземельних магнітів, частотне регулювання. Маркування енергоефективності побутових приладів (A+++).</p> <p>літературні джерела: [1], с.236-252; [3] с. 740-748.</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» 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>

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	<p><b>Практична робота № 1. Огляд та аналіз конструкцій електричних машин побутової техніки.</b> Ознайомлення з інтерактивними 3D-моделями електричних машин. Ідентифікація конструктивних елементів: статор, ротор, обмотки, колектор, підшипники. Складання порівняльної таблиці конструктивних особливостей машин різних типів за технічними паспортами реальних виробів.</p> <p>літературні джерела [1], с.244-253;                      дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки»  <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
2	<p><b>Практична робота № 2. Розрахунок енергетичного балансу та ККД електричної машини.</b> Використання табличного процесора для розрахунку втрат у міді, сталі та механічних втрат. Побудова діаграми розподілу потужності. Аналіз впливу навантаження на ККД для двигунів різної потужності (0,1–3,0 кВт).</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки»  <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
3	<p><b>Практична робота № 3. Теплові режими електричних машин побутового призначення.</b> Моделювання теплового балансу двигуна в середовищі MS Excel. Побудова кривих нагрівання та охолодження для різних режимів роботи (S1–S6). Визначення допустимого навантаження за класом ізоляції (A, B, F, H). Аналіз впливу умов вентиляції на температуру обмоток.</p> <p>літературні джерела [4], с. 181-182;                      дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки»  <a href="https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
4	<p><b>Практична робота № 4. Комп'ютерне моделювання магнітного поля електричної машини.</b> Введення у метод скінченних елементів. Робота у середовищі FEMM: побудова геометрії поперечного перерізу машини, завдання матеріалів та граничних умов. Розрахунок розподілу магнітної індукції у зазорі. Аналіз впливу геометричних параметрів на магнітне поле.</p> <p>літературні джерела [4], с. 191-192;                      дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки»  <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>Практична робота № 5. Розрахунок та побудова характеристик двигуна постійного струму.</b> Розрахунок механічної характеристики <math>n = f(M)</math> та електромеханічної характеристики <math>n = f(I)</math>. Вплив напруги живлення та опору якірного кола на характеристики. Визначення пускового струму та моменту. Порівняння розрахункових характеристик із паспортними даними реальних двигунів.</p> <p>літературні джерела [3], с. 811-812.                      дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки»  <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>Практична робота № 6. Моделювання універсального колекторного двигуна.</b> Побудова схеми живлення УКД від мережі змінного струму 230 В. Симуляція перехідних процесів при пуску та зміні навантаження. Аналіз форми струму та напруги на обмотках. Порівняння режимів роботи на постійному та змінному струмі.</p> <p>літературні джерела [3], с. 813-814;                      дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки»  <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>Практична робота № 7. Моделювання симісторного регулятора швидкості колекторного двигуна.</b> Розробка схеми фазового керування симістором. Симуляція роботи регулятора при різних кутах відкривання (30°–150°). Побудова залежності</p>

	<p>середнього значення напруги та частоти обертання від кута керування. Аналіз форми струму та вищих гармонік.</p> <p>Модульна контрольна робота (частина 1).</p> <p>літературні джерела [3], с.742-745.</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки»  <a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
8	<p><b>Практична робота № 8. Моделювання ШІМ-регулювання колекторного двигуна.</b> Побудова схеми ШІМ-регулятора на транзисторах, генератор ШІМ-сигналу. Симуляція роботи при коефіцієнті заповнення 25%, 50%, 75%, 100%. Побудова залежності середньої напруги та швидкості від шпаруватості. Реверс двигуна засобами H-мосту.</p> <p>літературні джерела: [3], с.746-750.</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки»;  <a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
9	<p><b>Практична робота № 9. Розрахунок та аналіз пускових режимів колекторних двигунів.</b> Розрахунок пускових струмів та моментів при прямому пуску. Визначення необхідного опору пускового реостата. Моделювання реостатного пуску у MATLAB/Simulink. Порівняння способів пуску за струмом, моментом та тривалістю перехідного процесу.</p> <p>літературні джерела: [3], с.746-750.</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки»;  <a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
10	<p><b>Практична робота № 10. Діагностика несправностей колекторних двигунів за допомогою комп'ютерних інструментів.</b> Аналіз осцилограм струму та напруги при несправностях (міжвиткове замикання, знос щіток). Ідентифікація характерних несправностей за діагностичними ознаками. Формування висновку про технічний стан двигуна.</p> <p>літературні джерела [3], с. 813-814;</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки»  <a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
11	<p><b>Практична робота № 11. Моделювання BLDC-двигуна та алгоритму 6-крокової комутації.</b> Ознайомлення з моделлю BLDC-двигуна у середовищі MATLAB/Simulink. Налаштування параметрів двигуна за паспортними даними реального виробу. Побудова часових діаграм фазових струмів, ЕРС та електромагнітного моменту.</p> <p>літературні джерела [3], с. 813-814;</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки»  <a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
12	<p><b>Практична робота № 12. Моделювання безсенсорного керування BLDC-двигуном методом зворотної ЕРС.</b> Реалізація алгоритму детектування переходу зворотної ЕРС через нуль у середовищі MATLAB/Simulink. Дослідження умов стійкого пуску без датчиків положення. Аналіз поведінки системи при різких змінах навантаження.</p> <p>літературні джерела [3], с. 813-814;</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки»  <a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>
13	<p><b>Практична робота № 13. Розрахунок та моделювання PMSM із прямим приводом для пральної машини.</b> Вибір параметрів PMSM за технічними вимогами до пральної машини (режими прання, віджимання). Моделювання у MATLAB/Simulink: побудова моделі PMSM, налаштування параметрів. Дослідження механічних характеристик при різних частотах обертання (від 50 до 1200 об/хв). Аналіз переваг прямого приводу порівняно з ремінним.</p> <p>літературні джерела [3], с. 813-814;</p> <p>дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки»  <a href="https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431">https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=4431</a></p>

14	<p><b>Практична робота № 14. Моделювання векторного керування (FOC) безколекторним двигуном.</b> Побудова системи векторного керування PMSM у MATLAB/Simulink. Дослідження якості регулювання швидкості та моменту при ступінчастих змінах завдання.</p> <p>літературні джерела [3], с. 813-814;          дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки»  <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>Практична робота № 15. Моделювання асинхронного двигуна з конденсаторним пуском.</b> Побудова моделі однофазного асинхронного двигуна у MATLAB/Simulink. Дослідження впливу ємності пускового та робочого конденсатора на пусковий момент та усталений режим. Побудова механічних характеристик. Аналіз застосування у холодильних компресорах та вентиляторів кондиціонерів.</p> <p>літературні джерела [3], с. 813-814;          дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки»  <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>Практична робота № 16. Моделювання інверторного кондиціонера із частотним регулюванням.</b> Побудова системи «інвертор – PMSM/АД» у середовищі MATLAB/Simulink. Дослідження роботи компресора при різних частотах живлення (20–120 Гц). Порівняння споживання електроенергії інверторного та неінверторного кондиціонера при частковому навантаженні. Оцінка енергозбереження за річний розрахунковий період.</p> <p>Модульна контрольна робота (частина 2).          літературні джерела [3], с. 813-814; індивідуальні завдання на МКР ч.ІІ          дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки»  <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>Практична робота № 17. Розрахунок та порівняння енергоефективності електричних машин різних класів.</b> Збирання технічних даних реальних двигунів класів ІЕ1–ІЕ4 із відкритих каталогів виробників (ABB, WEG, Siemens, Leroy-Somer). Розрахунок річних витрат електроенергії та вартості експлуатації. Побудова графіків порівняння ефективності. Техніко-економічне обґрунтування доцільності заміни двигуна ІЕ1 на ІЕ3/ІЕ4.</p> <p>літературні джерела [3], с. 813-814;          дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки»  <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>Додаткове завдання: Комплексний аналіз та вибір електричного двигуна для заданого побутового пристрою. Видача індивідуального завдання: конкретний побутовий прилад (пральна машина, пилосос, кондиціонер тощо). Формулювання технічних вимог до приводу. Порівняльний аналіз альтернативних типів двигунів у зведеній таблиці. Обґрунтування оптимального вибору за критеріями: ефективність, вартість, ресурс, керованість. Оформлення звіту та захист результатів.</p> <p>Залік.          дистанційний курс «Електричні машини побутової техніки» індивідуальні завдання до заліку  <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. Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	10
2	Розв'язок завдань	14
3	Підготовка до МКР	16

4	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 «Електричні машини побутової техніки», 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 «Електричні машини побутової техніки»;
- 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, виконання практичних робіт.

**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 практичних робіт;
- виконання двох контрольних робіт у рамках модульної контрольної роботи (МКР).

Експрес-опитування	Виконання практичних робіт	МКР	Rc	Rзал	R
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 практичних 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.*

#### *Форма семестрового контролю – залік*

*Залікова робота складається з трьох теоретичних запитань*

*Максимальний рейтинг екзамену за три теоретичні питання становить  $R_z = 40$  балів.*

#### *Критерії оцінювання теоретичних питань*

- $R_z = 33 - 40$  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.*

<i>Сумарна кількість балів <math>R_p</math></i>	<i>Оцінка</i>	<i>Результат</i>
<i>95-100</i>	<i>Відмінно</i>	<i>зараховано</i>
<i>85-94</i>	<i>Дуже добре</i>	
<i>75-84</i>	<i>Добре</i>	
<i>65-74</i>	<i>Задовільно</i>	
<i>60-64</i>	<i>Достатньо</i>	
<i>Менше 60</i>	<i>Незадовільно</i>	<i>Не зараховано</i>
<i>Менше 30</i>	<i>Не допущено</i>	<i>Не допущено</i>

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

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

- 1. Роль та місце електричних машин у сучасній побутовій техніці. Сфери застосування.*
- 2. Класифікація електричних машин побутової техніки за принципом дії, конструкцією та родом струму.*
- 3. Закон електромагнітної індукції та сила Ампера як фізична основа роботи електричних машин.*

4. Електромагнітний момент: поняття, формування, залежність від параметрів машини.
5. Енергетичний баланс електричної машини. Складові втрати: електричні, магнітні, механічні.
6. ККД електричних машин побутового призначення та методи його визначення.
7. Конструктивні елементи електричних машин: статор, ротор, обмотки, магнітопровід, підшипникові вузли.
8. Класи ізоляції обмоток (А, В, F, H) та допустимі температури нагрівання.
9. Теплові режими роботи електричних машин. Криві нагрівання та охолодження.
10. Режими роботи електричних машин S1–S6 та їх застосування у побутовій техніці.
11. Будова колекторної машини постійного струму: якір, колектор, щіткові вузли, обмотка збудження.
12. Принцип перетворення енергії у колекторній машині. Рівняння ЕРС та електромагнітного моменту.
13. Механічна характеристика двигуна постійного струму  $n = f(M)$ . Жорстка та м'яка характеристики.
14. Універсальний колекторний двигун: конструктивні особливості, принцип роботи на змінному струмі.
15. Порівняльна характеристика УҚД та двигуна постійного струму за основними показниками.
16. Застосування УҚД у пирососах, міксерях, кавомолках: режими роботи та схеми підключення.
17. Застосування УҚД в електроінструменті (дріль, болгарка, лобзик): реверс, перевантаження, гальмування.
18. Регулювання частоти обертання УҚД методом фазового керування симістором.
19. Регулювання частоти обертання УҚД методом широтно-імпульсної модуляції.
20. Порівняння методів регулювання швидкості колекторних двигунів за енергоефективністю та якістю.
21. Пуск колекторних двигунів: пускові струми, реостатний пуск, методи обмеження пускового струму.
22. Реверс та режими гальмування колекторних двигунів: рекуперативне, динамічне, противключення.
23. Захист колекторних двигунів від перевантажень та короткого замикання.
24. Типові несправності колекторних машин: знос щіток і колектора, міжщіткові замикання, пробій ізоляції.
25. Методи діагностики колекторних машин: вимірювання опорів, аналіз іскроутворення, вібрація та шум.
26. Будова та принцип дії BLDC-двигуна. Конструктивні схеми.
27. Постійні магніти ротора BLDC: матеріали NdFeB та ферит, їх порівняльні характеристики.
28. Принцип електронної комутації обмоток статора BLDC-двигуна. Алгоритм 6-крокової комутації.
29. Датчики положення ротора BLDC: датчики Холла, їх принцип дії та розміщення.
30. Схема трифазного інвертора на транзисторних ключах для керування BLDC.
31. Безсенсорне керування BLDC-двигуном методом зворотної ЕРС: принцип та алгоритм.
32. Порівняння BLDC та УҚД за показниками ефективності, ресурсу, рівня шуму та вартості.
33. Синхронний двигун з постійними магнітами: конструкція та принцип дії.
34. Відмінності між BLDC та PMSM за формою ЕРС та характером керування.
35. Застосування PMSM у пральних машинах із прямим приводом: переваги технології.

36. Будова та принцип дії однофазного асинхронного двигуна з пусковим та робочим конденсатором.
37. Застосування асинхронних двигунів у кондиціонерах, холодильниках та вентиляційних системах.
38. Принципи векторного керування (FOC): орієнтація за полем, перетворення Кларка та Парка, системи координат  $d-q$ .
39. Пряме керування моментом (DTC): структура, переваги швидкодії, порівняння з FOC.
40. Реалізація інверторних систем у побутовій техніці: кондиціонери, пральні машини, холодильники класу A+++.
41. Класи енергоефективності електричних машин IE1–IE4: вимоги, методи визначення, директиви ЄС.
42. Методи підвищення енергоефективності: оптимізація магнітопроводу, рідкоземельні магніти, частотне регулювання.
43. Маркування енергоефективності побутових приладів. Техніко-економічне обґрунтування вибору класу.
44. Аксиальні двигуни: конструкція, переваги компактності та питомої потужності.
45. Лінійні електродвигуни в побутовій техніці: принцип дії та приклади застосування.
46. Інтеграція електричних машин із системами Smart Home та IoT: керування, моніторинг, предиктивна діагностика.
47. Сучасні тенденції розвитку електричних машин побутової техніки. Перспективні матеріали та технології.

**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.