

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет будівництва,  
транспорту та енергетики

Кафедра  
електротехнічних  
систем та енергетичного  
менеджменту

## ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

*методичні рекомендації до виконання самостійної роботи*

*здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі*

*спеціальності G3 Електрична інженерія ОПП*

*"Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"*



Кропивницький  
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет будівництва,  
транспорту та енергетики

Кафедра  
електротехнічних  
систем та енергетичного  
менеджменту

## **ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ**

*методичні рекомендації до виконання самостійної роботи*

*здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі*

*спеціальності G3 Електрична інженерія ОПП*

*"Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"*

Затверджено  
на засіданні кафедри  
електротехнічних систем та  
енергетичного менеджменту  
Протокол № 11 від 08.01.2026 р.

Кропивницький  
2026

*ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ*: методичні рекомендації до виконання самостійної роботи здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності *G3* Електрична інженерія ОПП "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / [уклад.: П.Г.Плешков, Н.Ю.Гарасьова, С.В.Дубенко], Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2026 – 52с.

Укладачі: П.Г.Плешков – проф., к.т.н., зав. кафедри ЕТС та ЕМ;  
Н.Ю.Гарасьова – доц., к.т.н., доцент кафедри ЕТС та ЕМ;  
С.В.Дубенко – асистент кафедри ЕТС та ЕМ.

Рецензент: О.П. Голик – доц., к.т.н., доцент кафедри АВП ЦНТУ

© Плешков П.Г., Гарасьова  
Н.Ю., Дубенко С.В.  
2026  
© Центральноукраїнський  
національний технічний  
університет, 2026

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ОСВІТНЬОЇ КОМПОНЕНТИ.....	7
2. ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОБСЯГ ОСВІТНЬОЇ КОМПОНЕНТИ.....	9
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.....	9
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2.....	16
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3.....	20
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 4.....	24
3. ПЕРЕЛІК ТЕМ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	31
4. ПЕРЕЛІК ТЕМ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ.....	32
5. ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	33
6. ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	36
7. ПОЛІТИКА ДИСЦИПЛІНИ.....	38
8. СИСТЕМА ПОТОЧНОГО Й ПІДСУМКОВОГО ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ.....	39
9. ВІДПОВІДІ ДО ЗАДАЧ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	50
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	52

## ВСТУП

Навчальна дисципліна «Електричні машини» належить до циклу спеціальної (фахової) підготовки бакалаврів і є однією з базових у формуванні професійних компетентностей здобувачів освіти освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності G3 «Електрична інженерія». Засвоєння матеріалу курсу створює теоретичне та практичне підґрунтя для подальшого вивчення дисциплін електроенергетичного та електромеханічного спрямування, а також для майбутньої інженерної діяльності.

Відповідно до навчального плану дисципліна вивчається протягом двох семестрів загальним обсягом 180 годин (6 кредитів ECTS). У першому семестрі основна увага приділяється лекційним та лабораторним заняттям із підсумковою формою контролю у вигляді заліку. У другому семестрі, поряд із лекціями та лабораторними роботами, передбачені практичні заняття, а підсумковий контроль здійснюється у формі екзамену. Значна частка навчального навантаження відводиться самостійній роботі студентів, що зумовлює необхідність її чіткої методичної організації.

Тематика курсу охоплює ключові розділи теорії та практики електричних машин і послідовно розкривається у п'ятнадцяти лекціях, які структуровано за змістовими модулями: вступ і трансформатори; загальні питання теорії електричних машин та обмоток; асинхронні машини; синхронні машини; машини постійного струму. Така логічна побудова курсу забезпечує поетапне формування системного уявлення про принципи електромеханічного перетворення енергії, конструктивні особливості, режими роботи, характеристики та області застосування основних типів електричних машин.

Самостійна робота студентів з курсу «Електричні машини» спрямована на поглиблення та закріплення знань, отриманих під час лекційних, лабораторних і практичних занять, а також на розвиток навичок інженерного мислення, аналізу технічної інформації та роботи з нормативно-довідковими джерелами. У процесі самостійного опрацювання матеріалу здобувачі освіти повинні:

- опанувати теоретичні положення з тем курсу відповідно до робочої програми;
- готуватися до лабораторних і практичних занять, а також до поточного й підсумкового контролю;
- аналізувати конструкції електричних машин і трансформаторів, їх принципи дії та експлуатаційні характеристики;

- виконувати розрахунки, працювати з паспортними та експериментальними даними;
- узагальнювати матеріал у вигляді конспектів, таблиць, схем та графічних залежностей.

Методичні рекомендації до самостійної роботи встановлюють єдині вимоги до організації навчальної діяльності студентів, структури опрацювання навчального матеріалу та рівня його засвоєння. Виконання завдань самостійної роботи передбачає систематичність, дотримання календарного графіка навчального процесу, відповідальність за результати навчання та готовність до їх обґрунтованого захисту під час аудиторних занять.

Запропоновані методичні рекомендації покликані сприяти формуванню у студентів цілісного розуміння ролі електричних машин у сучасних електроенергетичних та електромеханічних системах, а також розвитку професійних компетентностей, необхідних для подальшої навчальної та інженерної діяльності.

## 1. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ОСВІТНЬОЇ КОМПОНЕНТИ

**Метою вивчення** навчальної дисципліни «Електричні машини» є набуття майбутніми інженерами-електриками, електроенергетиками теоретичних і практичних знань у галузі електромеханічного перетворення енергії. Предметом вивчення є електричні машини і трансформатори, які є основними ланками в сучасних енергетичних і електромеханічних устаткуваннях.

### **Завдання вивчення дисципліни:**

- надання студентам теоретичних знань та практичних навичок щодо оволодіння навичкам проектування та експлуатації електричних машин;
- формування компетентностей, важливих для особистісного розвитку фахівців та їхньої конкуренто-спроможності на сучасному ринку праці.

### **Результати навчання**

Програмні результати вивчення дисципліни. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

#### **знати :**

- принципи дії та будову будь-яких електричних машин і трансформаторів;
- вплив параметрів машин на їхні електричні показники;
- експлуатаційні характеристики електричних машин;
- методи експериментального визначення властивостей та основних характеристик машин.

#### **вміти:**

- вибирати машини і трансформатори для конкретних умов використання;
- використовувати паспортні і експериментальні дані для визначення характеристик трансформаторів та електричних машин;
- виконувати випробування основних типів електричних машин і трансформаторів;
- здійснювати технічне обслуговування електричних машин в процесі експлуатації.

Вивчення цієї навчальної дисципліни сприяє формуванню інтегральної компетентності (ІК), загальних (K01- K08) та фахових компетентностей (K12; K15; K19-K21):

- здатність розв'язувати спеціалізовані задачі та вирішувати практичні проблеми під час професійної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки або у процесі навчання, що передбачає

застосування теорій та методів фізики та інженерних наук і характеризується комплексністю та невизначеністю умов (ІК);

- K01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу.
- K02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- K03. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.
- K04. Здатність спілкуватися іноземною мовою.
- K05. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- K06. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
- K07. Здатність працювати в команді.
- K08. Здатність працювати автономно.
- K12. Здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки.
- K15. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних машин, апаратів та автоматизованого електроприводу.
- K19. Усвідомлення необхідності підвищення ефективності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування.
- K20. Усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.
- K21. Здатність оперативно вживати ефективні заходи в умовах надзвичайних (аварійних) ситуацій в електроенергетичних та електромеханічних системах.

### **Пререквізити**

Враховуючи послідовність накопичення знань та інформації, дисципліна вивчається після викладання наступних дисциплін: математика; фізика; теоретичні основи електротехніки; основи метрології та електричних вимірювань; вступ до спеціальності; робітнича професія, алгоритмізація та програмування, комп'ютерна графіка.

## 2. ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОБСЯГ НОРМАТИВНОЇ ОСВІТНЬОЇ КОМПОНЕНТИ

Курс структуровано за чотирма змістовими модулями, що охоплюють п'ять тем. У даному розділі наведено перелік тем лекцій та контрольні питання до кожної з них. Під час самостійного опрацювання навчального матеріалу за кожною темою здобувачам вищої освіти пропонується виконання розрахункових завдань, спрямованих на закріплення основних теоретичних положень і формування базових практичних навичок аналізу електромеханічних процесів.

### *Змістовий модуль 1.*

#### **Тема 1. Вступ. Трансформатори.**

**Лекція 1.** Основні типи електричних машин та область їх застосування. Перспективи розвитку. Конструктивне виконання трансформаторів (ТР) та його основних елементів. Принцип дії трансформатора та основні визначення. Комплексні рівняння трансформаторів.

#### **Контрольні запитання до лекції № 1:**

1. Які основні типи електричних машин застосовуються в електроенергетиці та електроприводі?
2. У чому полягає функціональне призначення трансформатора?
3. Які основні елементи конструкції трансформатора та їх призначення?
4. Які типи магнітопроводів трансформаторів існують?
5. З яких елементів складаються обмотки трансформатора?
6. У чому полягає принцип дії трансформатора?
7. Які основні параметри трансформатора визначаються під час експлуатації?
8. Які втрати виникають у трансформаторі?
9. Які фактори впливають на ККД трансформатора?
10. Які перспективи розвитку електричних машин і трансформаторів?

**Лекція 2.** Поняття приведеного трансформатора. Приведення напруг, струмів, опору. Т-подібна схема заміщення трансформатора. Визначення її параметрів з дослідів ХХ та КЗ. Робота трансформатора під навантаженням. Векторна діаграма (повна та спрощена). Трикутник КЗ, визначення зміни вторинної напруги при зміні навантаження. Зовнішня характеристика. Енергетична діаграма, ККД.

### Контрольні запитання до лекції № 2:

1. Що таке приведений трансформатор?
2. З якою метою виконують приведення напруг, струмів і опорів?
3. Поясніть фізичний зміст Т-подібної схеми заміщення трансформатора.
4. Які параметри схеми заміщення визначаються з досліду холостого ходу?
5. Які параметри визначаються з досліду короткого замикання?
6. Як трансформатор працює під навантаженням?
7. У чому полягає побудова векторної діаграми трансформатора?
8. Що таке трикутник короткого замикання?
9. Як визначається зміна вторинної напруги при навантаженні?
10. Як визначається ККД трансформатора?

**Лекція 3.** Трифазні трансформатори. Тристрижневі та групові, переваги та недоліки, область застосування. Групи з'єднання обмоток. Паралельна робота трансформаторів, умови паралельної роботи.

### Контрольні запитання до лекції № 3:

1. Які особливості конструкції трифазних трансформаторів?
2. У чому різниця між тристрижневими та груповими трансформаторами?
3. Які переваги трифазних трансформаторів порівняно з однофазними?
4. Що таке групи з'єднання обмоток трансформаторів?
5. Які групи з'єднання застосовуються найчастіше?
6. Як визначається векторна група трансформатора?
7. У чому полягає суть паралельної роботи трансформаторів?
8. Які умови необхідні для паралельної роботи трансформаторів?
9. Які наслідки порушення умов паралельної роботи?
10. У яких випадках застосовується паралельна робота трансформаторів?

### Задачі для самостійної роботи за темою 1.

**Задача 1.1.** Визначити номінальний струм вторинної обмотки  $I_{2н}$  однофазного трансформатора, якщо номінальна потужність  $S_n = 20$  кВА, номінальна напруга первинної обмотки  $U_{1н} = 10$  кВ, коефіцієнт трансформації  $k = 15$ .

**Задача 1.2.** Для однофазного трансформатора відомі: номінальна потужність  $S_n = 100$  кВА, номінальна первинна напруга  $U_{1н} = 10$  кВ, коефіцієнт потужності  $\cos\varphi_2 = 0.8$ , коефіцієнт корисної дії  $\eta = 0.97$ , втрати холостого ходу  $P_0 = 700$  Вт. Визначити активний опір первинної обмотки, вважаючи  $r_1 = r_2$ .

**Задача 1.3.** Максимальний магнітний потік в осерді однофазного трансформатора  $\Phi_{\max} = 0.02$  Вб, число витків первинної обмотки  $W_1 = 500$ . Визначити коефіцієнт трансформації  $k$  і підведену напругу  $U_1$ , якщо напруга на затискачах вторинної обмотки в режимі холостого ходу  $U_{2o} = 127$  В, частота напруги мережі  $f = 50$  Гц.

**Задача 1.4.** Номінальна напруга первинної обмотки однофазного трансформатора  $U_{1н} = 200$  В, потужність навантаження  $P_2 = 1$  кВт, коефіцієнт потужності навантаження  $\cos\varphi_2 = 0.8$ . Визначити значення коефіцієнта трансформації  $k$ .

**Задача 1.5.** Число витків первинної обмотки однофазного трансформатора  $W_1 = 100$ , магнітний потік в сердечнику  $\Phi = 0.01$  Вб. Визначити ЕРС  $E_1$ , якщо частота струму живлячої мережі  $f = 50$  Гц.

**Задача 1.6.** Визначити активну складову струму холостого ходу  $I_{0a}$  однофазного трансформатора, якщо його номінальна потужність  $S_n = 100$  ВА, номінальний первинний струм  $I_{1н} = 1$  А, втрати холостого ходу  $P_0 = 10$  Вт.

**Задача 1.7.** У досліді короткого замикання однофазного трансформатора вольтметр показує значення 5 В, амперметр - 1 А, ватметр - 3 Вт. Визначити опори схеми заміщення  $z_k$  та  $x_k$ .

**Задача 1.8.** Струм холостого ходу однофазного трансформатора  $I_0 = 1$  А, первинна обмотка має 100 витків. Визначити значення МРС при холостому ході трансформатора.

**Задача 1.9.** Потужність, споживана однофазним знижувальним трансформатором,  $S_1 = 500$  ВА. Напруга мережі  $U_c = 100$  В. Коефіцієнт трансформації  $k = 10$ . Визначити струм навантаження.

**Задача 1.10.** Зміна вторинної напруги однофазного трансформатора при номінальному навантаженні і коефіцієнті потужності  $\cos\varphi_2 = 1$  складає 1.97%. Визначити електричні втрати в обмотках, якщо номінальна потужність трансформатора  $S_n = 100$  кВА.

**Задача 1.11.** На вхід однофазного трансформатора подано напругу  $U_1 = 220$  В частотою  $f = 50$  Гц, число витків вторинної обмотки  $W_2 = 30$ , напруга на виході трансформатора в режимі холостого ходу  $U_{2o} = 36$  В, площа поперечного перерізу сердечника магнітопроводу  $S_{ст} = 36$  см<sup>2</sup>. Визначити число витків первинної обмотки і максимальне значення магнітної індукції в сердечнику.

**Задача 1.12.** Для однофазного трансформатора проведені вимірювання при номінальній первинній напрузі в режимі холостого ходу і при номінальному

струмі в обох обмотках в режимі короткого замикання. Показання приладів в первинній та вторинній ланцюга наступні:  $U_{1н} = 6$  кВ,  $U_{2о} = 220$  В,  $I_{1о} = 0.18$  А,  $P_{1о} = 70$  Вт,  $U_{1к} = 188$  В,  $I_{1к} = 3$  А,  $I_{2к} = 46$  А,  $P_{1к} = 250$  Вт. Визначити: номінальну потужність трансформатора, ККД при номінальному навантаженні для значень коефіцієнта потужності  $\cos\varphi_2 = 1$  і  $\cos\varphi_2 = 0.8$ , параметри схеми заміщення за допущення  $r_1 = r_2'$ ,  $x_{\sigma 1} = x'_{\sigma 1}$ .

**Задача 1.13.** Визначити номінальну потужність трифазного трансформатора  $S_n$  та номінальний струм первинної обмотки  $I_{1н}$ , якщо номінальна напруга первинної обмотки  $U_{1н} = 20$  кВ, номінальна напруга вторинної обмотки  $U_{2н} = 0.4$  кВ, номінальний струм вторинної обмотки  $I_{2н} = 150$  А.

**Задача 1.14.** Знайти діючі значення ЕРС в обмотках  $E_1$  і  $E_2$ , якщо максимальний магнітний потік  $\Phi_{\max} = 0.02$  Вб, частота струму  $f = 50$  Гц, кількість витків первинної і вторинної обмоток відповідно  $W_1 = 100$ ,  $W_2 = 50$ .

**Задача 1.15.** Визначити приведені значення струму вторинної обмотки  $I'_{2н}$ , якщо номінальний струм вторинної обмотки  $I_{2н} = 10$  А, номінальні напруги первинної та вторинної обмоток відповідно  $U_{1н} = 10$  кВ і  $U_{2н} = 0.4$  кВ, обмотки з'єднані за схемою Y/ $\Delta$ .

**Задача 1.16.** Трансформатор включений в мережу змінного струму промислової частоти. Індуктивність розсіювання первинної обмотки  $L_{\sigma 1} = 0.001$  Гн. Визначити індуктивний опір розсіювання первинної обмотки.

**Задача 1.17.** Відомо, що вторинна обмотка трансформатора з'єднана за схемою «трикутник», струм навантаження  $I_2 = 100$  А. На який струм повинні бути розраховані котушки фаз вторинної обмотки?

**Задача 1.18.** Обмотки трифазного трансформатора з'єднані за схемою Y/ $\Delta$ , число витків кожної фази первинної обмотки  $W_1 = 1000$ , вторинної обмотки  $W_2 = 200$ . Визначити лінійну напругу на виході трансформатора, якщо лінійна напруга живлячої мережі  $U_1 = 1000$  В.

**Задача 1.19.** У режимі холостого ходу трансформатор споживає потужність  $P_0 = 3.6$  Вт, в режимі короткого замикання -  $P_k = 2$  Вт, маса сталі осердя трансформатора  $G = 3$  кг. Визначити питомі втрати в сталі  $p_0$ .

**Задача 1.20.** Первинна обмотка одного трифазного трансформатора з'єднана за схемою «зірка», іншого - «трикутник». Обидва трансформатора приєднані до мережі з однаковою напругою і мають однакові магнітні потоки. Як відрізняються числа витків первинних обмоток трансформаторів?

**Задача 1.21.** На щитку трансформатора позначено:  $U_{1н} = 110$  кВ,  $U_k = 10$  %. Яку напругу слід подати на первинну обмотку, щоб у режимі короткого замикання в обмотках протікали номінальні струми?

**Задача 1.22.** Втрати короткого замикання трансформатора  $P_k = 3$  кВт, номінальна потужність трансформатора  $S_n = 100$  кВА. Визначити активну складову напруги короткого замикання у відсотках.

**Задача 1.23.** При замкнутій накоротко вторинній обмотці на вхід трансформатора подано напругу  $U_k = 10$  В, що складає 5% від номінального значення, при цьому струми в обмотках  $I_{1к} = I_{1н} = 2.5$  А,  $I_{2к} = I_{2н} = 10$  А. Визначити потужність однофазного трансформатора і напругу на виході при номінальному навантаженні.

**Задача 1.24.** При номінальному режимі роботи трансформатора втрати в сталі магнітопровода становлять 400 Вт. Визначити втрати в сталі при досліді короткого замикання, якщо напруга короткого замикання  $U_k = 5\%$ .

**Задача 1.25.** Номінальна потужність на виході трансформатора  $P_{2н} = 0.97$  кВт. У режимі холостого ходу ватметр показує 10 Вт, в режимі короткого замикання при номінальних струмах в обмотках - 20 Вт. Визначити ККД трансформатора при номінальному навантаженні.

**Задача 1.26.** Чому дорівнює значення напруги на затискачах трансформатора, якщо зміна вторинної напруги  $\Delta U = 4\%$ , коефіцієнт навантаження  $k_n = 0.5$ , номінальна напруга вторинної обмотки  $U_{2н} = 400$  В?

**Задача 1.27.** Номінальна первинна напруга  $U_{1н} = 6$  кВ, коефіцієнт трансформації  $k = 15$ . Визначити зміну вторинної напруги трансформатора у відсотках, якщо при номінальному навантаженні  $\Delta U_n = 380$  В.

**Задача 1.28.** Визначити напругу на затискачах вторинної обмотки при активному номінальному навантаженні, якщо активна складова напруги короткого замикання  $U_{ка} = 2\%$ , номінальна вторинна напруга  $U_{2н} = 400$  В.

**Задача 1.29.** Чому дорівнює кут між векторами однойменних лінійних напруг обмоток трансформатора, якщо їхня схема та група з'єднання - Y/Y-8?

**Задача 1.30.** Які групи можна отримати при з'єднанні обмоток трифазного трансформатора за схемою Y/Δ?

**Задача 1.31.** Які групи з'єднання обмоток трифазного трансформатора можливі за схемою Y/Y?

**Задача 1.32.** Визначити відсоткову зміну вторинної напруги трансформатора при струмі навантаження  $I_2 = 0.5I_{2n}$  і коефіцієнті потужності  $\cos\varphi_2 = 0.8$  за наступними даними:  $S_n = 100$  кВА,  $P_k = 1970$  Вт,  $U_k = 4.5\%$ .

**Задача 1.33.** Трифазний трансформатор номінальною потужністю  $S_n = 63$  кВА і напругою обмоток  $U_{1n}/U_{2n} = 10$  кВ/0.4 кВ при струмі навантаження  $I_2 = 45.5$  А і коефіцієнті потужності  $\cos\varphi_2 = 0.9$  має на обмотці низької напруги  $U_2 = 393$  В. Схема і група з'єднання обмоток - Y/Y-0. Визначити реактивну складову напруги короткого замикання  $U_{кр}$ , якщо втрати короткого замикання  $P_k = 1280$  Вт

**Задача 1.34.** Трансформатор потужністю  $S_n = 63$  кВА має втрати короткого замикання  $P_k = 1280$  Вт і напругу короткого замикання  $U_k = 4.5\%$ . Знайти значення кута навантаження, при якому зміна вторинної напруги не відбувається.

**Задача 1.35.** Визначити ККД трифазного трансформатора, якщо номінальна потужність  $S_n = 100$  кВА, коефіцієнт потужності навантаження  $\cos\varphi_2 = 0.8$ , втрати короткого замикання  $P_k = 2000$  Вт, втрати холостого ходу  $P_0 = 500$  Вт, коефіцієнт навантаження  $k_n = 0.5$ .

## **Тема 2. Загальні питання теорії електричних машин. Якірні обмотки електричних машин.**

**Лекція 4.** Закони електромеханічного перетворення енергії, номінальні режими роботи електричних машин. Принципи дії і основні типи стандартних обмоток машин змінного струму (ЗС). Коефіцієнт скорочення кроку, розподілення, обмоточний коефіцієнт. Засоби зниження вищих гармонік в кривій ЕРС. МРС однофазної обмотки, пульсуюче поле. Розкладення пульсуючого поля на два обертаючих. МРС трифазної обмотки. Обертаюче магнітне поле.

### **Контрольні запитання до лекції № 4:**

1. У чому полягає суть електромеханічного перетворення енергії?
2. Які номінальні режими роботи електричних машин?
3. Які типи обмоток машин змінного струму існують?
4. Що таке крок обмотки і коефіцієнт скорочення кроку?
5. Як визначається обмоточний коефіцієнт?
6. Які методи застосовуються для зниження вищих гармонік ЕРС?
7. Що таке магніторушійна сила (МРС) однофазної обмотки?
8. Як утворюється пульсуюче магнітне поле?
9. Як пульсуюче поле розкладається на два обертаючих?

10. Яким чином утворюється обертаюче магнітне поле трифазної обмотки?

### Задачі для самостійної роботи за темою 2.

**Задача 2.1.** Визначити кількість пазів на полюс і фазу, якщо машина має кількість пазів  $Z=36$ , число фаз  $m=3$  та кількість пар полюсів  $2p=4$ .

**Задача 2.2.** Визначити полюсну поділку (у пазах), якщо число пазів статора  $Z=48$ , а число полюсів  $2p=6$ .

**Задача 2.3.** Визначити кількість котушок у фазі трифазної обмотки, якщо  $Z=36$ , число фаз  $m=3$ .

**Задача 2.4.** Визначити повний крок обмотки, якщо число пазів статора  $Z=24$ , а число полюсів  $2p=4$ .

**Задача 2.5.** Визначити скорочений крок обмотки, якщо повний крок становить  $y=6$  пазів, а скорочення дорівнює 1 паз.

**Задача 2.6.** Визначити кількість фазних зон у трифазній машині з кількістю полюсів  $2p=4$ .

**Задача 2.7.** Визначити кількість пазів, що припадає на полюс та фазу, якщо  $Z=72$ ,  $m=3$ ,  $2p=6$ .

**Задача 2.8.** Визначити кількість котушкових груп у трифазній обмотці, якщо число полюсів  $2p=4$ .

**Задача 2.9.** Визначити число провідників у пазу, якщо в обмотці є  $N=144$  провідників і  $Z=36$  пазів.

**Задача 2.10.** Для трифазної машини з параметрами  $Z=36$ ,  $2p=4$ ,  $m=3$  визначити: кількість пазів на полюс, кількість пазів на полюс і фазу, число котушок у фазі.

**Задача 2.11.** Чому дорівнює обмотковий коефіцієнт для зосередженої обмотки?

**Задача 2.12.** Визначити загальне число провідників трифазної обмотки  $N$ , якщо число послідовно з'єднаних витків у фазі  $W_{\phi}=20$ ; число паралельних віток у фазі  $a_{\phi}=1$ .

**Задача 2.13.** Чому дорівнює обмотковий коефіцієнт для розподіленої обмотки з діаметральним кроком?

**Задача 2.14.** Визначити значення обмоткового коефіцієнту, якщо  $k_{ск}=1$ ;  $k_p=0,97$ .

## **Змістовий модуль 2.**

### **Тема 3. Асинхронні машини.**

**Лекція 5.** Асинхронні машини. Принцип дії асинхронної машини. Конструктивне виконання. Асинхронна машина при нерухомому роторі. Асинхронна машина при роторі, що обертається.

#### **Контрольні запитання до лекції № 5:**

1. Яке призначення асинхронної машини?
2. З яких основних елементів складається асинхронна машина?
3. Які типи роторів застосовуються в асинхронних машинах?
4. У чому полягає принцип дії асинхронної машини?
5. Що таке ковзання асинхронної машини?
6. Як працює асинхронна машина при нерухомому роторі?
7. Які процеси відбуваються при обертанні ротора?
8. Як формується електромагнітний момент?
9. Які режими роботи асинхронної машини можливі?
10. Де застосовуються асинхронні машини?

**Лекція 6.** Т-подібна схема заміщення, векторна діаграма. Г-подібна схема заміщення та визначення її параметрів. Енергетична діаграма та ККД. Пусковий та максимальний моменти. Критичне ковзання.

#### **Контрольні запитання до лекції № 6:**

1. Яке призначення Т-подібної схеми заміщення асинхронної машини?
2. Які параметри входять до схеми заміщення?
3. Як визначаються параметри Г-подібної схеми заміщення?
4. У чому полягає побудова векторної діаграми АМ?
5. Які складові має енергетична діаграма асинхронної машини?
6. Як визначається ККД асинхронного двигуна?
7. Що таке пусковий момент?
8. Що таке максимальний момент асинхронної машини?
9. Як визначається критичне ковзання?
10. Від чого залежать пускові властивості АД?

**Лекція 7.** Колова діаграма асинхронної машини. Механічні характеристики асинхронного двигуна. Умови стійкої роботи.

### Контрольні запитання до лекції № 7:

1. Для чого застосовується колова діаграма асинхронної машини?
2. Які параметри можна визначити за коловою діаграмою?
3. Що таке механічна характеристика асинхронного двигуна?
4. Які типи механічних характеристик існують?
5. Як змінюється момент при зміні ковзання?
6. Які фактори впливають на форму механічної характеристики?
7. Що таке стійкий режим роботи АД?
8. За яких умов робота асинхронної машини є нестійкою?
9. Як визначається робоча точка двигуна?
10. Яке практичне значення механічних характеристик?

**Лекція 8.** Пуск в хід асинхронних двигунів. Пусковий момент та пусковий струм. Способи пуску в хід асинхронних двигунів. Регулювання частоти обертання асинхронних двигунів. Основні способи регулювання, плавний пуск асинхронних двигунів.

### Контрольні запитання до лекції № 8:

1. Які проблеми виникають під час пуску асинхронного двигуна?
2. Що таке пусковий струм?
3. Які способи пуску асинхронних двигунів існують?
4. У чому полягає прямий пуск АД?
5. Які переваги та недоліки різних способів пуску?
6. Що таке плавний пуск асинхронного двигуна?
7. Які основні методи регулювання частоти обертання АД?
8. Як впливає зміна напруги на швидкість обертання?
9. Як впливає зміна частоти живлення на характеристики двигуна?
10. Де застосовується частотне регулювання АД?

### Задачі для самостійної роботи за темою 3.

**Задача 3.1.** Шість котушок, осі яких зсунуті в просторі одна відносно іншої на кут  $60^\circ$ , живляться трифазним струмом частотою  $f=50$  Гц. Визначити частоту обертання магнітного поля  $n_l$ .

**Задача 3.2.** Магнітне поле, створене трифазним струмом частотою  $f=50$  Гц, обертається з частотою  $n_l=3000$  об/хв. Скільки полюсів  $2p$  має це магнітне поле?

**Задача 3.3.** Три котушки обмотки статора асинхронної машини живляться від мережі трифазного струму частотою  $f=50$  Гц. Ротор обертається з частотою  $n=2850$  об/хв. Визначити ковзання  $s$ .

**Задача 3.4.** Частота струму живильної мережі збільшилася в 2 рази. Як зміниться частота ЕРС в обмотці нерухомого ротора?

**Задача 3.5.** Частота струму живильної мережі  $f=50$  Гц. Ковзання асинхронного двигуна  $s=2\%$ . Визначити частоту струму в обмотці ротора  $f_2$ .

**Задача 3.6.** Магнітне поле щодо ротора переміщується з частотою  $n_s=60$  об/хв. Визначити частоту струму в обмотці ротора  $f_2$ , якщо число пар полюсів  $p=2$ .

**Задача 3.7.** При ковзанні  $s=2\%$  електрорушійна сила у фазі обмотки ротора  $E_{2s}=1$ В. Чому дорівнює ЕРС цієї обмотки при нерухомому роторі?

**Задача 3.8.** Активний опір фази обмотки нерухомого ротора  $r_2=10$  Ом, індуктивний опір розсіювання -  $x_2=150$  Ом. Як зміняться величини цих опорів при ковзанні  $s=10\%$ ?

**Задача 3.9.** Чи змінюється кут між векторами струму і ЕРС фази обмотки ротора при зміні частоти його обертання в діапазоні  $n \in [0; n_n]$ ?

**Задача 3.10.** Напруга на затискачах асинхронного двигуна зменшилася в 2 рази. Як зміниться його обертовий момент?

**Задача 3.11.** На заводській табличці асинхронного двигуна зазначено:  $U_n=380$ В/220В. Двигун підключають до мережі напругою  $U_r=220$ В. Якою має бути схема обмотки статора?

**Задача 3.12.** Дві котушки, зрушені в просторі на кут  $90^\circ$ , живляться двофазним струмом частотою  $f=50$  Гц. Визначити частоту обертання магнітного поля.

**Задача 3.13.** Відомо, що струми в фазах двофазної обмотки змінюються по закону:  $i_A=I_{\max}\cos\omega t$ ,  $i_B=I_{\max}\sin\omega t$ . Чому дорівнюють значення струмів  $i_A$ ,  $i_B$  в моменти часу  $t=T/4$  і  $t=T/2$  ( $T$  - період струму)?

**Задача 3.14.** На який кут повернеться за чверть періоду: а) двополюсне обертове магнітне поле; б) шестиполюсне обертове магнітне поле?

**Задача 3.15.** Частота трифазного струму обмотки статора  $f=50$  Гц. Визначити частоту обертання: а) двополюсного магнітного поля; б) шестиполюсного магнітного поля.

**Задача 3.16.** Скільки котушок, які живляться трифазним струмом, необхідно для отримання шестіполюсного обертового магнітного поля?

**Задача 3.17.** Активний опір обмотки ротора збільшено в два рази. Як зміниться величина максимального обертаючого моменту двигуна при інших рівних умовах?

**Задача 3.18.** При ковзанні  $s = 1$  обертаючий момент  $M_{\Pi} = 1$  Н·м, момент навантаження на валу двигуна  $M_2 = 1.5$  Н·м, максимальний момент  $M_{max} = 2$  Н·м. Чи можна запустити цей двигун під навантаженням?

**Задача 3.19.** На яку потужність повинен бути розрахований генератор, живлячий асинхронний двигун, який розвиває на валу механічну потужність  $P_2 = 5$  кВт, якщо відомо, що коефіцієнт потужності двигуна  $\cos \varphi = 0.8$ , а його коефіцієнт корисної дії  $\eta = 0.9$ ?

**Задача 3.20.** Пусковий момент асинхронного двигуна при номінальній напрузі  $M_{\Pi} = 100$  Н·м. Чи можливий запуск двигуна при зниженні напруги на 10%, якщо момент навантаження на валу  $M_C = 90$  Н·м?

**Задача 3.21.** Максимальний момент асинхронного двигуна  $M_{max} = 100$  Н·м, номінальний –  $M_n = 50$  Н·м. Як зміниться перевантажувальна здатність двигуна при зниженні напруги на 10 %?

**Задача 3.22.** Опір фази ротора трифазного асинхронного двигуна з контактними кільцями  $r'_2 = 0.01$  Ом. Визначити опір пускового реостата, що забезпечує при включенні в ланцюг ротора запуск двигуна з максимально можливим моментом, якщо відомо, що критичне ковзання  $s_k = 0.2$  в.о.

**Задача 3.23.** Паспортні дані асинхронного двигуна:  $P = 100$  кВт,  $U = 380$  В,  $\eta = 91.5\%$ ,  $\cos \varphi_2 = 0.92$ ,  $n = 2960$  об/хв. Визначити номінальний струм, номінальний момент, ковзання і частоту струму в роторі, якщо частота споживаного з мережі струму  $f = 50$  Гц.

**Задача 3.24.** Для трифазного асинхронного двигуна відомі наступні дані: номінальна частота обертання  $n_n = 1450$  об/хв, частота напруги живлячої мережі  $f = 50$  Гц, електромагнітна потужність  $P_{em} = 500$  Вт, механічні втрати  $\Delta P_{мех} = 53.3$  Вт. Визначити номінальний і електромагнітний моменти двигуна.

**Задача 3.25.** Визначити пусковий момент асинхронного двигуна, якщо електричні втрати в роторному ланцюзі при пуску складають 6.25 кВт, частота струму живлячої мережі  $f = 50$  Гц, номінальна частота обертання  $n_n = 570$  об/хв.

**Задача 3.26.** Значення ЕРС, індукованої у фазі ротора асинхронної машини при ковзанні  $s=0.03$ , дорівнює 6 В. Визначити струм в обмотці нерухомого ротора, якщо активний опір фази обмотки ротора  $r_2=0.01$  Ом, індуктивність розсіювання  $L_2=2.2 \cdot 10^{-4}$  Гн, частота мережі  $f=50$  Гц.

**Задача 3.27.** Асинхронний двигун з фазним ротором має активний опір фази ротора  $r_2=0.01$  Ом, індуктивний опір нерухомого ротора  $x_2=2.2$  Ом. Відомо, що ЕРС фази нерухомого ротора  $E_2=300$ В, частота обертання ротора  $n=1440$ об/хв. Визначити ЕРС при обертовому роторі  $E_{2s}$ , струм у фазі ротора  $I_{2s}$  при вказаній частоті обертання і в момент пуску.

**Задача 3.28.** Ковзання шестиполюсного асинхронного двигуна дорівнює 3 %. Визначити частоту обертання ротора  $n$ , частоту струму обмотки ротора  $f_2$ , якщо частота струму обмотки статора  $f_1=50$  Гц.

**Задача 3.29.** Електромагнітна потужність асинхронного двигуна  $P_{em} = 500$  Вт, повна механічна потужність  $P_{мех} = 470$  Вт Знайти ковзання, при якому працює двигун, і електричні втрати в роторі.

**Задача 3.30.** Чотириполюсний асинхронний двигун живиться від мережі частотою  $f_m = 50$  Гц. Знайти частоту обертання двигуна, якщо відомо, що електромагнітна потужність  $P_{em} = 500$  Вт, механічна потужність  $P_{мех} = 470$  Вт.

### *Змістовий модуль 3.*

#### **Тема 4. Синхронні машини.**

**Лекція 9.** Конструктивне виконання синхронної машини (СМ). Особливості конструктивного виконання явно- та неявнополюсних синхронних машин. Живлення обмоток збудження синхронних машин. Области застосування СМ, турбо та гідрогенератори. Принцип дії синхронної машини. Режими генератора, двигуна, синхронного компенсатора. Взаємодія магнітних полів. Механічна модель синхронної машини. Магнітні поля та основні параметри синхронних машин.

#### **Контрольні запитання до лекції № 9:**

1. З яких основних частин складається синхронна машина?
2. У чому різниця між явно- та неявнополюсними СМ?
3. Які способи збудження застосовуються в синхронних машинах?
4. У яких галузях застосовуються синхронні машини?

5. У чому полягає принцип дії синхронної машини?
6. Які режими роботи синхронної машини можливі?
7. Як взаємодіють магнітні поля статора і ротора?
8. Що таке механічна модель синхронної машини?
9. Які основні параметри синхронних машин?
10. Чим відрізняються турбо- та гідрогенератори?

**Лекція 10.** Робота СГ в режимі холостого ходу. Система відносних одиниць. Форма кривої напруги. Поле обмотки збудження та реакції якоря. Залежність реакції якоря від навантаження. Продольна та поперечна реакції якоря. Потоки розсіяння.

Характеристики синхронного генератора. Основні характеристики, залежність їх від виду навантаження, експериментальне визначення. Трикутник КЗ, дослід КЗ, втрати та ККД.

#### **Контрольні запитання до лекції № 10:**

1. Що таке режим холостого ходу синхронного генератора?
2. Яке призначення системи відносних одиниць?
3. Яка форма кривої напруги СГ?
4. Що таке реакція якоря?
5. Як впливає навантаження на реакцію якоря?
6. У чому різниця між поздовжньою та поперечною реакцією якоря?
7. Які втрати виникають у синхронному генераторі?
8. Як визначаються характеристики СГ експериментально?
9. У чому полягає дослід короткого замикання?
10. Як визначається ККД синхронного генератора?

**Лекція 11.** Паралельна робота синхронних машин з мережею. Умови вмикання на паралельну роботу. Методи синхронізації. Кутові характеристики. Поняття про статичну стійкість. Синхронізуюча потужність та момент.

#### **Контрольні запитання до лекції № 11:**

1. Що таке паралельна робота синхронних машин?
2. Які умови необхідні для вмикання СМ на паралельну роботу?
3. Які методи синхронізації застосовуються?
4. Що таке кутові характеристики синхронної машини?
5. Як змінюється потужність при зміні кута навантаження?
6. Що таке статична стійкість СМ?

7. Які фактори впливають на стійкість роботи?
8. Що таке синхронізуюча потужність?
9. Що таке синхронізуючий момент?
10. Яке практичне значення паралельної роботи СМ?

**Лекція 12.** Синхронний двигун. Принцип роботи синхронного двигуна. Кутові характеристики,  $U$ -подібні характеристика СД. Застосування  $U$ -подібних характеристик синхронного двигуна на практиці.

Способи пуску в хід та регулювання частоти обертання синхронних двигунів. Синхронні компенсатори, особливості режиму роботи.

### Контрольні запитання до лекції № 12:

1. У чому полягає принцип роботи синхронного двигуна?
2. Які особливості пуску синхронного двигуна?
3. Що таке  $U$ -подібні характеристики СД?
4. Як змінюється струм збудження при зміні навантаження?
5. Яке практичне значення  $U$ -подібних характеристик?
6. Які способи пуску синхронних двигунів застосовуються?
7. Як регулюється частота обертання СД?
8. Що таке синхронний компенсатор?
9. У яких режимах працює синхронний компенсатор?
10. Де застосовуються синхронні двигуни?

### Задачі для самостійної роботи за темою 4.

**Задача 4.1.** Ротор трифазного синхронного генератора має 12 полюсів. Частота напруги на затискачах генератора  $f = 50$  Гц. Корисна потужність приводного двигуна 5 кВт. Визначити обертаючий момент на валу генератора.

**Задача 4.2.** Трифазний синхронний генератор виробляє напругу частотою  $f = 50$  Гц. Кількість полюсів  $2p = 2$ . Приводний двигун створює обертаючий момент на валу  $M_1 = \text{Н}\cdot\text{м}$ . Визначити корисну потужність приводного двигуна.

**Задача 4.3.** Трифазний чотириполюсний синхронний двигун має наступні дані: номінальна потужність  $P_n = 500$  кВт, номінальна напруга  $U_n = 0,66$  кВ, коефіцієнт корисної дії  $\eta_n = 0,95$ , коефіцієнт потужності  $\cos\varphi_n = 0,8$  (випереджаюче струм), частота струму  $f = 50$  Гц. Визначити частоту обертання ротора, номінальний обертаючий момент, активну та реактивну складові потужності, споживаний з мережі струм статора і його реактивну складову.

**Задача 4.4.** Трифазний синхронний двигун включений в мережу напругою 380 В і розвиває на валу потужність 75 кВт. ККД двигуна - 92%, коефіцієнт потужності. Визначити реактивну складову споживаного з мережі струму.

**Задача 4.5.** Повна потужність, споживана з мережі синхронним двигуном,  $S_1=45$  кВА. Коефіцієнт потужності  $\cos\varphi=0.8$ . Сумарні втрати потужності  $\Sigma\Delta P=4$ кВт. Визначити коефіцієнт корисної дії двигуна.

**Задача 4.6.** Визначити напругу на затискачах трифазного синхронного генератора, який працює в режимі холостого ходу, при з'єднанні обмотки статора за схемою «трикутник» і «зірка», якщо відомо, що частота  $f=50$  Гц, число послідовно з'єднаних витків фази обмотки статора  $W_1=180$ , обмотувальний коефіцієнт  $k_{o1}=0,92$ , максимальне значення магнітного потоку однієї фази  $\Phi_{\max}=0,012$  Вб.

**Задача 4.7.** Трифазний синхронний генератор розрахунковою потужністю  $S_n=5$  МВА характеризується такими даними: номінальна напруга  $U_n =6,3$  кВ, коефіцієнт потужності  $\cos\varphi=0.8$ , активний опір фази обмотки статора  $r_1=0.04$  Ом, схема з'єднання обмотки статора - «зірка». Визначити ККД генератора, якщо втрати в магнітопроводі  $P_{ст}=20$  кВт, додаткові втрати складають 5% від номінальної потужності, механічні втрати  $\Delta P_{мех}=0,005P_n$ . Напруга збудника  $U_{зб}=113$  В, струм збудження в номінальному режимі  $I_{зб}= 274$ А, коефіцієнт корисної дії збудника  $\eta_n=0,95$ .

**Задача 4.8.** В цеху встановлюють синхронний двигун номінальною потужністю  $P_n=200$  кВт, коефіцієнтом корисної дії  $\eta_n=93\%$ , коефіцієнтом потужності  $\cos\varphi_n=0.9$ . Двигун призначений для роботи в режимі перезбудження. Визначити коефіцієнт потужності навантаження після установки синхронного двигуна, якщо в цеху встановлено асинхронний двигун, який споживає потужність  $P_{1(АД)}= 400$  кВт і має  $\cos\varphi_{(АД)}=0.8$ .

**Задача 4.9.** Трифазний синхронний двигун в номінальному режимі має технічні дані: потужність  $P_n=600$  кВт, напруга  $U_n =3000$  В, коефіцієнт корисної дії  $\eta_n=93\%$ , коефіцієнт потужності  $\cos\varphi=0.8$ , кут навантаження  $\theta=30^\circ$ . Визначити споживаний з мережі струм і перевантажувальну здатність двигуна.

**Задача 4.10.** Трифазний синхронний двигун включений в мережу напругою 220 В, споживає лінійний струм  $I_n=100$  А і розвиває потужність на валу  $P_n=25$  кВт. ККД двигуна  $\eta=90\%$ . Визначити реактивну потужність, споживану двигуном з мережі.

**Задача 4.11.** Трифазний синхронний двигун включений в мережу напругою  $U_n = 660$  В і споживає струм  $I = 50$  А, ККД двигуна  $\eta_n = 0,9$ , коефіцієнт потужності  $\cos\varphi = 0,8$ . Визначити сумарні втрати потужності в двигуні.

**Задача 4.12.** На який кут повернеться ротор чотириполюсного синхронного двигуна за чверть періоду струму?

**Задача 4.13.** Обертаючий момент на валу трифазного синхронного генератора - 48 Нм. Корисна потужність приводного двигуна - 5 кВт. Частота напруги на затискачах генератора  $f = 50$  Гц. Визначити число полюсів генератора.

**Задача 4.14.** Зовнішній обертаючий момент неявнополюсного генератора, що працює паралельно з мережею нескінченно великої потужності, при незмінному струмі збудження  $I_{зв}$  зменшився у два рази в порівнянні з його номінальним значенням. Відомо, що коефіцієнт статичної перенавантажуваності  $k_n = 2$ . Визначити кут між векторами ЕРС та напруги генератора. Як зміниться значення кута, якщо при номінальному навантаженні струм збудження генератора зменшити до значення  $I_{зб} = 0,75 \cdot I_{зб}$ ?

**Задача 4.15.** Турбогенератор включений на паралельну роботу в енергетичну систему. При цьому кут між векторами ЕРС  $\vec{E}_B$  і струму навантаження  $\vec{I}$  в номінальному режимі дорівнює  $57^\circ$ , коефіцієнт потужності при відстаючому струмі  $\cos\varphi = 0,8$ . Визначити кут навантаження і коефіцієнт статичної переважності генератора

**Задача 4.16.** Трифазний синхронний двигун, номінальна потужність якого  $P_n = 6300$  кВт, працює в режимі холостого ходу при  $U_n = 6$  кВ і  $\cos\varphi = 1$ . Визначити споживаний двигуном струм, якщо сумарні втрати потужності  $\Sigma\Delta P = 6$  кВт.

## **Змістовий модуль 4.**

### **Тема 5. Машини постійного струму.**

**Лекція 13.** Конструктивне виконання машин постійного струму. Основні елементи конструкції. Статор. Ротор. Колектор. Щіточний апарат. Колектор як механічний випрямляч.

Принцип дії машини постійного струму в режимі генератора та двигуна. ЕРС і електромагнітний момент машини постійного струму. Якірні обмотки машин постійного струму.

Магнітне поле машини постійного струму. Холостий хід. Реакція якоря. Розмагнічуюча дія поперечного поля реакції якоря. Коловий вогонь на колекторі. Основні заходи поліпшення комутації.

### **Контрольні запитання до лекції № 13:**

1. З яких основних елементів складається машина постійного струму?
2. Яке призначення статора та ротора МПС?
3. Яку роль виконує колектор?
4. Яке призначення щіточного апарата?
5. Чому колектор називають механічним випрямлячем?
6. У чому полягає принцип дії МПС?
7. Як визначається ЕРС машини постійного струму?
8. Як формується електромагнітний момент?
9. Що таке реакція якоря?
10. Які заходи застосовуються для поліпшення комутації?

**Лекція 14.** Генератори постійного струму (ГПС). Властивості ГПС. Генератор з незалежним збудженням. Генератор з паралельним збудженням. Процес самозбудження генератора з паралельним збудженням. Генератор з послідовним збудженням. Генератор зі змішаним збудженням. Основні характеристики.

Паралельна робота генераторів постійного струму. Підключення генераторів до мережі. Навантаження генераторів. Особливості паралельної роботи генераторів зі змішаною обмоткою збудження.

### **Контрольні запитання до лекції № 14:**

1. Які типи генераторів постійного струму існують?
2. У чому особливість генератора з незалежним збудженням?
3. Як працює генератор з паралельним збудженням?
4. У чому полягає процес самозбудження ГПС?
5. Які особливості генератора з послідовним збудженням?
6. Що таке змішане збудження?
7. Які основні характеристики генераторів постійного струму?
8. У чому полягає паралельна робота ГПС?
9. Які труднощі виникають при паралельній роботі?
10. Де застосовуються генератори постійного струму?

**Лекція 15.** Електродвигуни постійного струму. Класифікація двигунів за способом збудження. Двигуни з незалежним, паралельним, послідовним та змішаним збудженням. Схеми підключення, механічні та робочі характеристики.

Пуск в хід електродвигунів постійного струму. Прямий та реостатний способи пуску. Пуск за допомогою зміни напруги. Принципи регулювання частоти обертання ДПС. Включення реостату в ланцюг якоря. Зміна магнітного потоку двигуна. Зміна напруги на затискачах якоря.

### Контрольні запитання до лекції № 15:

1. Які типи електродвигунів постійного струму існують?
2. У чому різниця між двигунами з різними видами збудження?
3. Які механічні характеристики ДПС?
4. Як здійснюється пуск електродвигуна постійного струму?
5. У чому полягає прямий пуск ДПС?
6. Для чого застосовується реостатний пуск?
7. Які методи регулювання частоти обертання ДПС існують?
8. Як впливає зміна напруги якоря на швидкість обертання?
9. Як впливає зміна магнітного потоку на характеристики двигуна?
10. У яких галузях застосовуються ДПС?

### Задачі для самостійної роботи за темою 5.

**Задача 5.1.** У чотириполюсній машині постійного струму довжина кола якоря  $\pi \cdot D_a = 0,4$  м, активна довжина провідника обмотки якоря  $l = 0,1$  м, магнітний потік обмотки збудження  $\Phi_{\delta} = 0,01$  Вб. Визначити середнє значення магнітної індукції.

**Задача 5.2.** У шестиполюсній машині постійного струму потік збудження  $\Phi_{\delta} = 0,01$  Вб, якір обертається з частотою  $n = 60$  об/хв. Визначити середнє значення ЕРС, індукованої в провіднику обмотки якоря.

**Задача 5.3.** У чотириполюсній машині постійного струму довжина кола якоря  $\pi \cdot D_a = 0,4$  м, активна довжина провідника якірної обмотки  $l = 0,1$  м, індукція в повітряному зазорі  $B_{\delta} = 1$  Тл. Визначити ЕРС якірної обмотки, якщо частота обертання ротора  $n = 60$  об/хв, обмотка має 460 провідників і одну пару паралельних гілок.

**Задача 5.4.** Пластини колектора рухаються щодо щіток з лінійною швидкістю  $v = 25$  м / с, ширина щітки  $b_{щ} = 0,01$  м. Визначити період комутації.

**Задача 5.5.** ЕРС генератора незалежного збудження  $E_a = 240$  В, опір якірної обмотки  $r_a = 0,1$  Ом. Визначити напругу на щітках генератора при струмі навантаження  $I_n = 100$  А.

**Задача 5.6.** Напруга на затискачах генератора паралельного збудження  $U_{\text{ном}} = 220$  В, опір якірного обмотки  $r_a = 0,1$  Ом, опір обмотки збудження  $r_{\text{зб}} = 100$  Ом. Визначити ЕРС обмотки якоря, якщо відомо, що струм навантаження  $I_n = 100$  А.

**Задача 5.7.** Чи збудиться генератор паралельного збудження, якщо змінити напрямок обертання якоря?

**Задача 5.8.** Потужність, споживана генератором постійного струму від приводного двигуна,  $P_1 = 50$  кВт, сумарні втрати потужності в генераторі  $\Sigma \Delta P = 5$  кВт. Визначити коефіцієнт корисної дії генератора.

**Задача 5.9.** Як зміняться електричні втрати в обмотці якоря генератора незалежного збудження при збільшенні навантаження генератора в два рази?

**Задача 5.10.** Двигун постійного струму паралельного збудження при напрузі  $U = 110$  В, частоті обертання  $n = 1000$  об/хв, коефіцієнті корисної дії  $\eta = 0.85$  розвиває потужність на валу  $P_2 = 5$  кВт. Визначити значення пускового моменту, якщо значення пускового струму  $I_{\text{п}}$ , обмеженого пусковим реостатом, дорівнює 160 А. Насиченням магнітної системи і реакцією якоря знехтувати.

**Задача 5.11.** Визначити силу, що діє на провідник якоря чотириполюсної машини постійного струму, якщо діаметр якоря  $D_a = 0,04$  м, активна довжина провідника якірної обмотки  $l = 0.05$  м, потік збудження  $\Phi_{\text{зб}} = 0,01$  Вб, струм у провіднику  $I_{\text{пр}} = 10$  А.

**Задача 5.12.** Визначити обертаючий момент чотириполюсного двигуна, якщо діаметр якоря  $D_a = 0,05$  м, активна довжина провідника якірної обмотки  $l = 0.04$  м, індукція в повітряному зазорі  $B_{\delta} = 1$  Тл, струм якоря  $I_a = 10$  А, число провідників простий петлевої обмотки якоря  $N = 200$ .

**Задача 5.13.** Як зміниться обертаючий момент двигуна постійного струму паралельного збудження при збільшенні струму обмотки якоря в два рази?

**Задача 5.14.** При частоті обертання  $n = 975$  об/хв двигун постійного струму віддає корисну потужність  $P_2 = 5$  кВт. Визначити корисний момент двигуна.

**Задача 5.15.** При напрузі  $U_{\text{ном}} = 220$  В двигун постійного струму споживає з мережі струм  $I_n = 20$  А. Потужність на валу двигуна  $P_2 = 3.3$  кВт. Визначити сумарні втрати потужності в двигуні.

**Задача 5.16.** При напрузі  $U_{\text{ном}} = 220$  В двигун паралельного збудження споживає струм  $I_{\text{н}} = 20$  А і обертається з частотою  $n=1400$  об / хв. Визначити частоту обертання двигуна після введення додаткового опору в ланцюг якоря  $r_{\text{д}} = r_{\text{а}}$ , якщо відомо, що  $r_{\text{а}} = 0,1$  Ом, а опір обмотки збудження  $r_{\text{зб}} = 100$  Ом.

**Задача 5.17.** Для генератора постійного струму незалежного збудження відомі технічні дані: номінальна напруга  $U_{\text{ном}} = 230$  В, споживана потужність  $P_1 = 45$  кВт, струм збудження  $I_{\text{зб}} = 20$  А, опір обмотки збудження і якоря відповідно  $r_{\text{зб}}=100$  Ом і  $r_{\text{а}}=0.12$  Ом, коефіцієнт корисної дії  $\eta=0.86$ . Визначити ЕРС якірної обмотки  $E_{\text{н}}$ , електромагнітну потужність  $P_{\text{ем}}$ , втрати в обмотці збудження  $\Delta P_{\text{сл.зб}}$ , сумарні втрати потужності  $\Sigma \Delta P$ .

**Задача 5.18.** Для генератора постійного струму незалежного збудження відомі технічні дані: номінальна потужність  $P_{\text{н}} = 40$ к Вт, номінальна напруга  $U_{\text{н}} = 230$  В, опір кола якоря при робочій температурі  $r_{\text{а}} = 0.12$  Ом, коефіцієнт корисної дії  $\eta=0.86$ , номінальна частота обертання  $n = 1470$  об/хв. Визначити: номінальний струм генератора  $I_{\text{н}}$ , опір навантаження  $r_{\text{н}}$ , ЕРС генератора  $E_{\text{а}}$ , сумарні втрати потужності  $\Sigma \Delta P$ , електромагнітну потужність  $P_{\text{ем}}$ , електромагнітний момент  $M_{\text{ем}}$ .

**Задача 5.19.** Генератор паралельного збудження працює на мережу напругою  $U_{\text{ном}} = 120$  В. Опори обмоток якоря і збудження в робочому режимі  $r_{\text{а}}=0.08$  Ом,  $r_{\text{зб}} = 18$  Ом, опір навантаження  $r_{\text{н}} =1,2$  Ом. Визначити: струм навантаження генератора, струм в ланцюзі збудження, струм якоря, ЕРС генератора, корисну потужність, втрати в колі якоря, втрати в колі збудження.

**Задача 5.20.** Для генератора постійного струму паралельного збудження відомі технічні дані: номінальна напруга  $U_{\text{ном}} = 115$  В, номінальний струм  $I_{\text{н}} = 20$  А, опір кола якоря працюючої машини  $r_{\text{а}}=0.4$  Ом, опір кола збудження працюючої машини  $r_{\text{зб}} = 145$  Ом, коефіцієнт корисної дії  $\eta=0.8$ , частота обертання  $n=2850$  об/хв. Визначити: номінальну потужність генератора, потужність первинного двигуна, струм якоря, електромагнітну потужність, ЕРС генератора, електромагнітний момент.

**Задача 5.21.** Напруга на затискачах генератора паралельного збудження  $U_{\text{ном}} =120$  В, опір навантаження  $r_{\text{н}} = 4$  Ом, опору обмоток якоря і збудження при робочій температурі  $r_{\text{а}}=0.25$  Ом,  $r_{\text{зб}} = 60$  Ом. Визначити: струм якоря, номінальну потужність генератора, ЕРС генератора, електромагнітну потужність генератора.

**Задача 5.22.** Для генератора постійного струму змішаного збудження відомі технічні дані: номінальна потужність  $P_{\text{н}}=10$  кВт, номінальна напруга  $U_{\text{ном}} =220$

В, ЕРС  $E_a = 230$  В, струм збудження  $I_{зб} = 2$  А, опір послідовної обмотки збудження  $r_{зб} = 0,15$  Ом, частота обертання  $n=1470$  об/хв. Визначити: струм якоря, опір якірного кола, опір кола збудження (паралельний), електромагнітну потужність, електромагнітний момент.

**Задача 5.23.** Для двигуна постійного струму паралельного збудження відомі технічні дані: номінальна потужність  $P_n=10$  кВт, номінальна напруга  $U_{ном} =220$  В, опір кола якоря при робочій температурі  $r_a=0.3$  Ом, опір кола збудження при робочій температурі:  $r_{зб} = 85$  Ом, ККД двигуна  $\eta=0.795$ . Визначити: споживану потужність, струм якоря, ЕРС, електричні втрати в колі якоря, втрати в ланцюзі збудження, сумарні втрати потужності, втрати холостого ходу.

**Задача 5.24.** Тяговий двигун постійного струму послідовного збудження має номінальну потужність  $P_n = 52$  кВт, коефіцієнт корисної дії  $\eta=81\%$ , частоту обертання  $n = 650$  об/хв, номінальну напругу  $U_n = 550$  В, загальний опір обмоток якоря і збудження  $r_a + r_{зб} = 0,095$  Ом. Визначити: споживану потужність, струм двигуна, корисний момент на валу, ЕРС, сумарні втрати потужності.

**Задача 5.25.** Двигун постійного струму змішаного збудження має наступні технічні дані: номінальна потужність  $P_n=25$  кВт, номінальна напруга  $U_n = 220$ В, опір якірного кола  $r_a=0,111$  Ом, опір послідовної обмотки збудження  $r_{зб} = 0,0048$  Ом, опір паралельної обмотки збудження  $r_{зб.пар.} = 48,4$  Ом, коефіцієнт корисної дії  $\eta=0,86$ . Визначити: номінальний струм двигуна, струм якоря, споживану потужність, ЕРС, електричні втрати в паралельній обмотці збудження.

Структуру навчальної дисципліни «Електричні машини» наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Структура навчальної дисципліни «Електричні машини»

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	Усього	у тому числі					Усього	у тому числі				
		лк	пз	лаб	інд	с.р		лк	пз	лаб	інд	с.р
<b>Тема 1.</b> Вступ. Трансформатори	40	6	4	10		20	40	1	1	1		37
<b>Тема 2.</b> Загальні питання теорії електричних машин.	20	2	2	-		16	20	0,5				19,5
<b>Тема 3.</b> Асинхронні машини.	40	8	4	6		22	40	1	0,5	1		37,5
<b>Тема 4.</b> Синхронні машини.	40	8	2	6		24	40	1		1		38
<b>Тема 5.</b> Машини постійного струму	40	6	2	8		24	40	0,5	0,5	1		38
<b>Усього годин</b>	180	30	14	30	0	106	180	4	2	4	0	170

### 3. ПЕРЕЛІК ТЕМ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

В таблиці 2 наведено перелік тем лабораторних робіт.

Таблиця 2 – Перелік тем лабораторних робіт

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1	Конструктивне виконання електричних машин:		
1.1	Конструкція трифазного силового трансформатора	2	1
1.2	Конструктивне виконання асинхронних машин з короткозамкненим та фазним ротором	2	
1.3	Конструктивне виконання синхронних машин	2	
1.4	Конструктивне виконання колекторних машин постійного струму.	2	
2	Дослідження однофазного трансформатора	4	0,5
3	Маркування обмоток і визначення групи з'єднань трифазних трансформаторів	4	0,5
4	Дослідження способів пуску трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором	4	0,5
5	Дослідження трифазного синхронного двигуна	4	0,5
6	Дослідження генератора постійного струму паралельного збудження	6	1
	Разом	30	4

#### 4. ПЕРЕЛІК ТЕМ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

В таблиці 3 наведено перелік тем практичних робіт.

Таблиця 3 – Перелік тем практичних робіт

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1	Практичне заняття № 1. Визначення основних параметрів однофазного трансформатора	2	
2	Практичне заняття № 2. Визначення основних параметрів трифазного трансформатора	2	0,5
3	Практичне заняття № 3. Виконання обмоток машин змінного струму	2	
4	Практичне заняття № 4. Визначення втрат потужності в асинхронних двигунах	2	0,5
5	Практичне заняття № 5. Дослідження механічної характеристика асинхронного двигуна	2	0,5
6	Практичне заняття № 6. Визначення основних параметрів трифазних синхронних генераторів	2	
7	Практичне заняття № 7 Визначення енергетичних характеристик двигунів постійного струму паралельного збудження	2	0,5
	Разом	14	2

## 5. ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Важливою складовою успішного засвоєння навчального матеріалу з дисципліни «Електричні машини» є самостійна робота здобувачів освіти, що передбачає цілеспрямоване опрацювання навчальних і науково-технічних джерел вітчизняних та зарубіжних авторів, а також методичних матеріалів кафедри.

Самостійна робота студентів є основним засобом оволодіння навчальним матеріалом у позааудиторний час, тобто в період, вільний від лекційних, лабораторних і практичних занять. Вона спрямована на поглиблення теоретичних знань, формування практичних умінь і навичок, розвиток аналітичного мислення та здатності до самостійного розв'язання інженерних завдань.

До основних видів самостійної роботи, на які студентам необхідно звертати особливу увагу, належать:

- опрацювання та осмислення лекційного матеріалу;
- вивчення рекомендованої основної та додаткової літератури;
- підготовка до лабораторних і практичних занять;
- підготовка до обговорень, дискусій та інших навчальних завдань, запропонованих викладачем;
- виконання індивідуальних навчальних завдань;
- самоконтроль і самоперевірка рівня засвоєння матеріалу за контрольними запитаннями;
- підготовка до поточного та підсумкового контролю знань (заліку, екзамену).

### *Опрацювання лекційного матеріалу*

У системі навчального процесу лекція посідає провідне місце, оскільки саме на лекційних заняттях викладач подає систематизований виклад теоретичних положень, формує логіку вивчення дисципліни, акцентує увагу на ключових поняттях і проблемних питаннях, а також визначає напрями подальшої самостійної роботи студентів.

Взаємозв'язок лекційних занять і самостійної роботи здобувачів освіти реалізується за такими напрямами:

- лекція виступає початковою та визначальною ланкою, що формує зміст і обсяг самостійного опрацювання матеріалу;
- застосування викладачем методичних прийомів активізації пізнавальної діяльності стимулює самостійну роботу студентів;

- самостійне опрацювання матеріалу сприяє поглибленому та усвідомленому засвоєнню теми на основі прослуханої лекції.

Перший етап самостійної роботи розпочинається безпосередньо під час слухання та конспектування лекцій. Грамотно складений конспект є ефективним інструментом подальшої навчальної діяльності, оскільки містить стислий, логічно структурований виклад основних положень теми. Здобувач освіти повинен усвідомлювати, що конспект - це не дослівний запис лекції, а короткий тезовий виклад ключових понять, визначень, формул, схем і висновків.

Складання та опрацювання конспекту є початковим етапом самостійної роботи над темою чи розділом курсу. Конспект сприяє раціональній підготовці до лабораторних і практичних занять, підсумкового контролю, а також допомагає визначити напрями та обсяг подальшої роботи з навчальною і науковою літературою.

Під час підготовки до чергової лекції студенту рекомендується повторити матеріал попередньої теми з використанням підручників, навчальних посібників та інших інформаційних джерел. Слід урахувати, що на лекціях розглядаються лише основні теоретичні положення та найбільш актуальні питання курсу, тоді як значна частина матеріалу виноситься на самостійне опрацювання.

#### *Підготовка до лабораторних та практичних занять*

Підготовка до лабораторних і практичних занять розпочинається з попереднього опрацювання відповідного лекційного та методичного матеріалу. Здобувач освіти повинен самостійно ознайомитися з темою заняття згідно з робочою програмою дисципліни, вивчити теоретичні положення, підготувати відповіді на контрольні запитання та опрацювати алгоритм виконання завдань.

Лабораторні та практичні заняття сприяють поглибленню й закріпленню теоретичних знань, розвитку творчої активності студентів, формуванню практичних умінь і навичок роботи з електричними машинами та трансформаторами. Вони є важливою ланкою у формуванні професійних компетентностей майбутніх фахівців.

Самостійна робота під час підготовки до лабораторних і практичних занять є обов'язковою складовою навчального процесу, без якої неможливе якісне та повноцінне засвоєння навчального матеріалу. Відповідно до навчального плану лабораторні заняття з дисципліни проводяться протягом двох семестрів. Тематичний план практичних і лабораторних занять щорічно уточнюється викладачем та доводиться до відома здобувачів на початку навчального семестру.

У вступній лекції викладач надає рекомендації щодо основної та додаткової літератури, методичних матеріалів до самостійної роботи та

організації практичних і лабораторних занять. У методичних вказівках до кожної теми подано перелік питань для теоретичної підготовки, що допомагає студентам раціонально організувати самостійну навчальну діяльність.

У разі виникнення труднощів під час самостійного опрацювання матеріалу здобувачі освіти можуть звернутися за консультацією до викладача відповідно до встановленого графіка консультацій кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту. Раціонально організовані консультації дозволяють своєчасно скоригувати напрям самостійної роботи, підвищити її результативність та забезпечити глибше розуміння навчального матеріалу.

Основні етапи самостійної роботи здобувачів зображено на рис. 1.



Рис. 1. Основні етапи самостійної роботи здобувачів

## 6. ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Розподіл годин самостійної роботи здобувачів денної та заочної форм навчання наведено у таблиці 4.

Таблиця 4 - Розподіл годин самостійної роботи

Тема	Опрацювання лекційного матеріалу	Підготовка до лабораторних робіт	Підготовка до практичних занять	Підготовка до тестування	Виконання індивідуального завдання	Разом	
						Денна форма	ЦЗДО
Тема 1. Вступ. Трансформатори	3/8	5/5	2/4	5/10	5/10	20	37
Тема 2. Загальні питання теорії електричних машин	14/12,5	-	1/2	1/5	-	16	19,5
Тема 3. Асинхронні машини	12/17,5	3/6	2/4	5/10	-	22	37,5
Тема 4. Синхронні машини.	10/10	3/6	1/2	5/10	5/10	24	38
Тема 5. Машини постійного струму	14/18	4/8	1/2	5/10	-	24	38
	53/66	15/25	7/14	21/45	10/20	106	170

Він включає підготовку до аудиторних (лабораторних, практичних) занять; підготовку до контрольних заходів; опрацювання окремих тем програми або її частин, які не викладаються на лекціях; виконання індивідуального домашнього завдання (рефератів) здобувачами денної форми навчання; виконання контрольної роботи здобувачами заочної форми навчання.

### *Рекомендовані теми індивідуальних домашніх завдань (рефератів)*

1. Еволюція конструктивного виконання силових трансформаторів та напрями їх удосконалення.
2. Втрати потужності в трансформаторах: фізична природа, методи зменшення та вплив на енергоефективність.

3. Паралельна робота трансформаторів: умови, проблеми та практичні аспекти експлуатації.
4. Порівняльний аналіз однофазних і трифазних трансформаторів в системах електропостачання.
5. Електромеханічне перетворення енергії в електричних машинах: фізичні основи та математичні моделі.
6. Роль обмоток статора в формуванні обертаючого магнітного поля машин змінного струму.
7. Вплив вищих гармонік магнітного поля на роботу електричних машин та методи їх зменшення.
8. Конструктивні особливості асинхронних двигунів з короткозамкненим та фазним ротором.
9. Механічні характеристики асинхронного двигуна та їх значення для електроприводів.
10. Пуск асинхронних двигунів: методи, порівняння та область застосування.
11. Регулювання частоти обертання асинхронних двигунів сучасними методами.
12. Енергетичні показники асинхронних машин та шляхи підвищення їх енергоефективності.
13. Конструктивне виконання синхронних машин: явнополюсні та неявнополюсні машини.
14. Паралельна робота синхронних генераторів з мережею: умови та особливості синхронізації.
15. Стійкість роботи синхронних машин в енергосистемах.
16. Синхронні двигуни та синхронні компенсатори: принцип дії та практичне застосування.
17. Конструкція та принцип дії машин постійного струму в режимах генератора і двигуна.
18. Реакція якоря та проблеми комутації в машинах постійного струму.
19. Порівняльний аналіз генераторів постійного струму з різними видами збудження.
20. Електродвигуни постійного струму: механічні характеристики, способи пуску та регулювання швидкості.

Рекомендації щодо виконання рефератів:

- обсяг: 10–15 сторінок формату А4;
- структура: вступ, основна частина, висновки, список використаних джерел;
- обов'язкове використання навчальної та науково-технічної літератури;
- бажане включення схем, характеристик, таблиць та графіків;
- дотримання академічної доброчесності.

## 7. ПОЛІТИКА ДИСЦИПЛІНИ

Здобувачі вищої освіти зобов'язані дотримуватися принципів академічної доброчесності та усвідомлювати відповідальність за їх порушення.

У процесі навчання вони повинні керуватися положеннями «Кодексу академічної доброчесності», який визначає систему цінностей університетської спільноти Центральноукраїнського національного технічного університету та регламентує етичні норми взаємовідносин в академічному середовищі.

Відвідування навчальних занять є важливою складовою освітнього процесу та передбачає обов'язкову участь здобувачів у лекційних і практичних заняттях. У разі пропуску занять здобувач повинен відпрацювати пропущений матеріал у встановлені терміни, але не пізніше ніж за тиждень до початку залікової сесії. Навчальні завдання, подані на перевірку з порушенням установлених термінів, як правило, не підлягають оцінюванню.

У межах вивчення дисципліни передбачена можливість участі здобувачів у позааудиторних заходах, зокрема виїзних заняттях, науково-практичних конференціях, форумах та круглих столах. Під час навчальних занять здобувачі повинні дотримуватися норм академічної етики та внутрішнього розпорядку, зокрема недопустимими є запізнення, прояви академічної недоброчесності та несвоєчасне виконання навчальних завдань.

Організація освітнього процесу в Центральноукраїнському національному технічному університеті здійснюється відповідно до чинних нормативних документів, зокрема:

- Положення про організацію освітнього процесу в ЦНТУ;
- Положення про організацію вивчення вибіркових навчальних дисциплін;
- Положення про систему забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти;
- Положення про рубіжний контроль успішності та сесійну атестацію здобувачів;
- Положення про дотримання академічної доброчесності науково-педагогічними працівниками та здобувачами;
- Положення про критерії оцінювання навчальних досягнень.

## 8. СИСТЕМА ПОТОЧНОГО Й ПІДСУМКОВОГО ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ

Навчальний процес з дисципліни «Електричні машини» організовано відповідно до принципів поєднання теоретичної підготовки, практичної діяльності та самостійної роботи здобувачів освіти. Для досягнення запланованих результатів навчання використовуються різноманітні методи навчання, що класифікуються за джерелами знань, характером пізнавальної діяльності та рівнем самостійності студентів.

За джерелами знань у навчальному процесі застосовуються словесні методи (лекція, пояснення, інструктаж), наочні методи (ілюстрація, демонстрація схем, моделей і характеристик електричних машин) та практичні методи (лабораторні роботи, практичні завдання, розрахункові задачі). За логікою пізнання використовуються аналітичні, синтетичні, індуктивні, дедуктивні та аналітико-синтетичні методи, що забезпечують формування системного інженерного мислення.

За рівнем самостійної розумової діяльності застосовуються проблемний, частково-пошуковий та дослідницький методи, які спрямовані на розвиток здатності до аналізу, узагальнення та прийняття технічних рішень.

Система контролю знань є складовою внутрішнього забезпечення якості вищої освіти та включає самоконтроль, вхідний, поточний і семестровий контроль, а також підсумкову атестацію. Для дисципліни «Електричні машини» впродовж навчального року застосовуються самоконтроль, поточний контроль і семестровий контроль у формі заліку (перший семестр) та екзамену (другий семестр), що відповідає загальним підходам, наведеним у методичних матеріалах

Самоконтроль передбачає самостійну оцінку студентами рівня засвоєння матеріалу за допомогою контрольних запитань, тестів та завдань для самоперевірки.

Вхідний контроль проводиться на початку вивчення дисципліни з метою визначення рівня базової підготовки здобувачів та за потреби коригування навчального процесу.

Поточний контроль здійснюється протягом семестру під час лекційних, лабораторних і практичних занять та спрямований на перевірку готовності студентів до виконання конкретних видів навчальної діяльності і засвоєння програмного матеріалу.

Критерії поточного оцінювання знань здобувачів вищої освіти:

Усний виступ та виконання письмового завдання, тестування (бали)	Критерії оцінювання
5	У повному обсязі опанував навчальний матеріал, вільно самостійно та аргументовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей, глибоко та всебічно розкриває зміст теоретичних питань та практичних завдань. <u>Правильно вирішив усі тестові завдання.</u>
4	Достатньо повно володіє навчальним матеріалом, обгрунтовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей, в основному розкриває зміст теоретичних питань та практичних завдань, використовуючи при цьому обов'язкову літературу. Але при викладанні деяких питань не вистачає достатньої глибини та аргументації, допускаються при цьому окремі несуттєві неточності та незначні помилки. <u>Правильно вирішив більшість тестових завдань.</u>
3	В цілому володіє навчальним матеріалом викладає його основний зміст під час усних виступів та письмових відповідей, але без глибокого всебічного аналізу, обгрунтування та аргументації, без використання необхідної літератури допускаючи при цьому окремі суттєві неточності та помилки. <u>Правильно вирішив половину тестових завдань.</u>
2	Не в повному обсязі володіє навчальним матеріалом. Фрагментарно, поверхово (без аргументації та обгрунтування) викладає його під час усних виступів та письмових відповідей, недостатньо розкриває зміст теоретичних питань та практичних завдань, допускаючи при цьому суттєві неточності, правильно вирішив меншість тестових завдань.
1	Частково володіє навч. матеріалом не в змозі викласти зміст більшості питань теми під час усних виступів та письмових відповідей, допускаючи при цьому суттєві помилки. <u>Правильно вирішив окремі тестові завдання.</u>
0	Не володіє навчальним матеріалом та не в змозі його викласти, не розуміє змісту теоретичних питань та практичних завдань. Не вирішив жодного тестового завдання

*Загальні підходи до оцінювання.* Оцінювання результатів навчання з дисципліни «Електричні машини» здійснюється на основі рейтингової системи, що передбачає поетапне накопичення балів за різні види навчальної діяльності протягом семестру та їх узагальнення під час семестрового контролю. Такий підхід забезпечує об'єктивність оцінювання, стимулює систематичну навчальну роботу здобувачів освіти та сприяє формуванню професійних компетентностей у галузі електричної інженерії.

Під час оцінювання враховуються результати:

- аудиторної роботи (лабораторні та практичні заняття);
- самостійної роботи (опрацювання лекційного матеріалу, літератури);
- тестового контролю;
- виконання індивідуальних завдань;
- підсумкового контролю (залік або екзамен).

*Оцінювання знань у першому семестрі (залік).* У першому (осінньому) семестрі семестровий контроль з дисципліни здійснюється у формі заліку. Навчальна діяльність студентів у цей період спрямована на опанування базових розділів курсу, зокрема тем з трансформаторів та асинхронних машин, а також загальних положень теорії електричних машин.

Для успішного складання заліку здобувач освіти повинен систематично виконувати всі види навчальної роботи, передбачені робочою програмою дисципліни.

*Види навчальної діяльності та нарахування балів.* Максимальний рейтинг за семестр становить 100 балів, які рівномірно розподіляються між двома змістовими модулями (по 50 балів кожен).

Нарахування балів здійснюється за такими видами робіт:

- ***Виконання та захист лабораторних робіт.*** Передбачено виконання чотирьох лабораторних робіт, спрямованих на закріплення теоретичних знань з трансформаторів та асинхронних машин. Кожна лабораторна робота оцінюється в 10 балів, загальна кількість – **40** балів. Оцінюється рівень теоретичної підготовки, правильність виконання завдань, якість оформлення звіту та усний захист.
- ***Тестовий контроль.*** Протягом семестру проводяться два тестові контролю в системі дистанційної освіти за темами «Трансформатори» та «Асинхронні машини». Кожен тест оцінюється в 5 балів, разом – **10** балів.
- ***Самостійне опрацювання лекційного матеріалу.*** Передбачає ведення конспекту та підготовку відповідей на три контрольні запитання до кожної лекції (усього 8 лекцій). За кожен лекцію нараховується 3 бали, загальна

кількість – 24 бали. Оцінюється повнота, логічність і усвідомленість відповідей.

- **Індивідуальне завдання.** Індивідуальне завдання передбачає розв'язання двох розрахункових задач або однієї задачі та написання реферату з теми «Трансформатори» або «Асинхронні машини» (на вибір здобувача). Загальна кількість балів – 26 балів.

Розмір шкали рейтингу за осінній семестр:

$$R_{o.c} = R_1 + R_2 = 50 + 50 = 100 \text{ балів.}$$

Розмір шкали за перший змістовий модуль:

$$R_1 = R_{\text{лаб}} + R_{\text{тест}} + R_{\text{сам}} + R_{\text{інд}} = 20 + 5 + 12 + 13 = 50 \text{ балів.}$$

Розмір шкали за другий змістовий модуль:

$$R_2 = R_{\text{лаб}} + R_{\text{тест}} + R_{\text{сам}} + R_{\text{інд}} = 20 + 5 + 12 + 13 = 50 \text{ балів.}$$

При виставленні підсумкової оцінки за залік враховується сумарний рейтинг студента за семестр.

Критерії оцінювання мають якісний характер:

«**Зараховано**» – здобувач освіти демонструє стійкі знання основних понять дисципліни, розуміє фізичні процеси в електричних машинах, уміє встановлювати логічні та причинно-наслідкові зв'язки між теоретичними положеннями.

«**Незараховано**» – здобувач має суттєві прогалини в знаннях, не розуміє основних понять і принципів дії електричних машин, не виконав значну частину передбачених навчальних завдань.

Загальну структуру нарахування балів для отримання заліку наведено на рис.2.

# Путівник до заліку: Система оцінювання в I семестрі

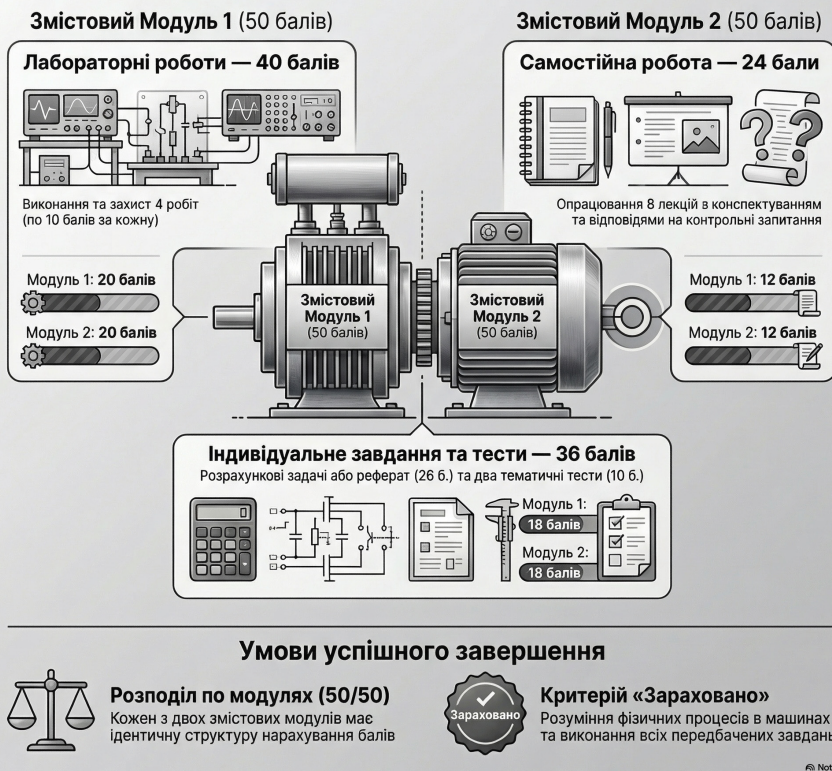


Рис. 2. Структура нарахування балів для отримання заліку

Оцінювання знань у другому семестрі (екзамен). У другому (весняному) семестрі семестровий контроль здійснюється у формі екзамену, який має на меті комплексну перевірку знань з розділів синхронних машин і машин постійного струму, а також уміння застосовувати теоретичні положення для аналізу режимів роботи електричних машин.

Максимальний рейтинг за семестр також становить 100 балів, з яких:

- 60 балів – за поточну навчальну діяльність (два змістові модулі);
- до 40 балів – за екзамен.

Поточний рейтинг формується за такими складовими:

- **Лабораторні роботи.** Передбачено виконання трьох лабораторних робіт, загальною кількістю **22 бали**, з урахуванням складності та обсягу кожної роботи.
- **Практичні заняття.** Оцінюється активна участь у семи практичних заняттях, розв'язання задач і робота з характеристиками електричних машин. Загальна кількість – **14 балів**.
- **Тестовий контроль.** Проводяться два тестові контролі за темами «Синхронні машини» та «Машини постійного струму», по 5 балів кожен (усього **10 балів**).
- **Самостійне опрацювання** лекційного матеріалу. Передбачає підготовку відповідей на два контрольні запитання до кожної з 7 лекцій, що оцінюється у **14 балів**.

Розмір шкали рейтингу за весняний семестр:

$$R_{в.с} = R_3 + R_4 = 30 + 30 = 60 \text{ балів.}$$

Розмір шкали за третій змістовий модуль:

$$R_3 = R_{\text{лаб}} + R_{\text{пз}} + R_{\text{тест}} + R_{\text{сам}} = 11 + 7 + 5 + 7 = 30 = 30 \text{ балів.}$$

Розмір шкали за четвертий змістовий модуль:

$$R_4 = R_{\text{лаб}} + R_{\text{пз}} + R_{\text{тест}} + R_{\text{сам}} = 11 + 7 + 5 + 7 = 30 = 30 \text{ балів.}$$

Виконання індивідуального завдання підвищеної складності (розв'язання задачі або написання реферату з тем «Синхронні машини» чи «Машини постійного струму») є додатковим чинником, який позитивно впливає на екзаменаційну оцінку та враховується при підсумковому оцінюванні.

Екзамен оцінюється в межах 40 балів і передбачає перевірку: глибини теоретичних знань; розуміння фізичних процесів в електричних машинах; здатності аналізувати характеристики та режими роботи; уміння застосовувати знання для розв'язання інженерних задач. На екзамен виносяться всі п'ять тем курсу.

Загальну структуру нарахування балів для отримання екзамену наведено на рис.3.

# Система оцінювання: II семестр (Електричні машини)

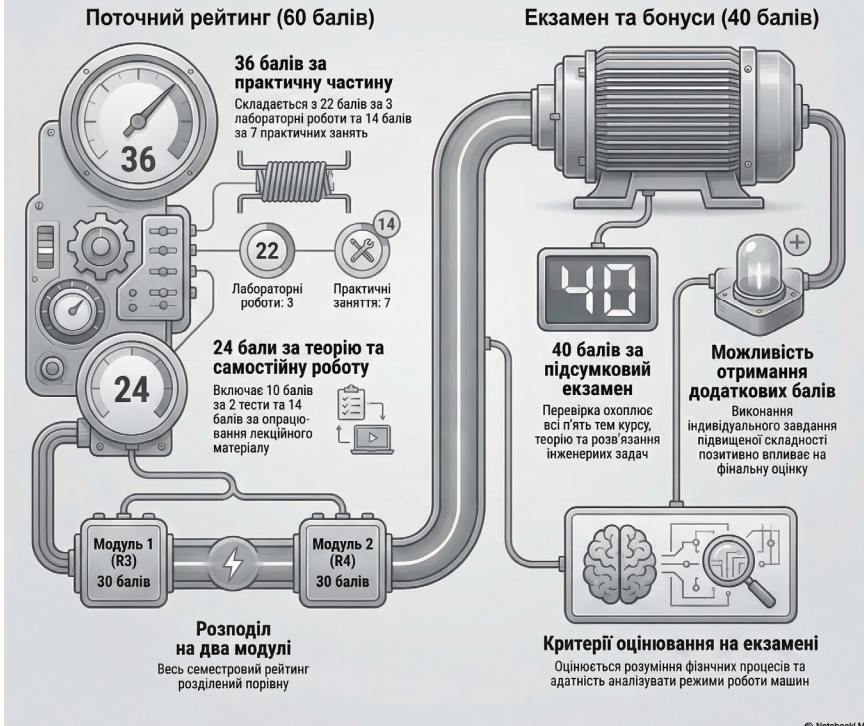


Рис. 3. Структура нарахування балів для отримання екзамену

## Орієнтовні екзаменаційні питання

1. Конструкція та принцип дії асинхронного двигуна.
2. Побудова колової діаграми асинхронної машини за експериментальними даними.
3. Механічні характеристики двигунів постійного струму.
4. Конструкція машини постійного струму, системи збудження, якоря, колектора.
5. Робота синхронної машини під навантаженням.
6. Принцип дії трансформатора

7. Зміна вторинної напруги трансформатора. Зовнішня характеристика.
8. Умови підключення генератора постійного струму на паралельну роботу з мережею..
9. Схеми підключення обмоток збудження машин постійного струму. Основні характеристики.
10. Визначення параметрів схеми заміщення трансформатора експериментальним шляхом.
11. Механічні характеристики двигунів постійного струму.
12. Принципи виконання обмоток машин змінного струму.
13. Енергетична діаграма машини постійного струму.
14. Трифазні трансформатори. Визначення групи з'єднання.
15. Системи збудження синхронних машин.
16. Схеми та групи з'єднання трифазного трансформатора.
17. Зміна струму та частоти обертання при реостатному пуску АД з ФР.
18. Енергетична діаграма та ККД трансформатора.
19. Конструктивне виконання та принцип дії синхронної машини.
20. Енергетична діаграма асинхронної машини.
21. Умови підключення синхронного генератора на паралельну роботу з мережею нескінченної потужності.
22. Методи регулювання швидкості асинхронних машин.
23. Синхронні двигуни.
24. Пусковий та максимальний моменти асинхронної машини.
25. Векторні діаграми синхронної машини при роботі під навантаженням.
26. Векторна діаграма трансформатора.
27. Реостатний спосіб пуску двигунів постійного струму.
28. Г-подібна схема заміщення асинхронної машини.
29. Режим роботи синхронного генератора паралельно з мережею при постійному струмі і змінному моменті.
30. Основні рівняння ідеального трансформатора.
31. Регулювання частоти обертання двигунів постійного струму.
32. Робочі характеристики асинхронного двигуна.
33. Паралельна робота генератора постійного струму з мережею нескінченної потужності.
34. Виконання та системи охолодження трансформаторів.
35. Механічні характеристики двигунів постійного струму при різних способах підключення обмотки збудження.
36. Способи пуску асинхронних двигунів.
37. Регулювання частоти обертання двигунів постійного струму.

Здобувачі вищої освіти можуть набрати від 0 до 100 балів, що переводяться у національну шкалу оцінювання і відповідно у шкалу ECTS. Кількість балів відповідає певному рівню засвоєння дисципліни:

За системою ЦНТУ	За шкалою ECTS	За національною системою	Визначення
90-100	A	5 (відмінно)	Повно та ґрунтовно засвоїв всі теми навчальної програми вміє вільно та самостійно викласти зміст всіх питань програми навчальної дисципліни, розуміє її значення для своєї професійної підготовки, повністю виконав усі завдання кожної теми та рубіжного контролю в цілому. Брав участь в олімпіадах, конкурсах, конференціях.
82-89	B	4 (дуже добре)	Недостатньо повно та ґрунтовно засвоїв окремі питання робочої програми. Вміє самостійно викласти зміст основних питань програми навчальної дисципліни, виконав завдання кожної теми та рубіжного контролю в цілому.
74-81	C	4 (добре)	Недостатньо повно та ґрунтовно засвоїв деякі теми робочої програми, не вміє самостійно викласти зміст деяких питань програми навчальної дисципліни. Окремі завдання кожної теми та рубіжного контролю в цілому виконав не повністю.
64-73	D	3 (задовільно)	Засвоїв лише окремі теми робочої програми. Не вміє вільно самостійно викласти зміст основних питань навчальної дисципліни, окремі завдання кожної теми рубіжного контролю не виконав.

60-63	E	3 (достатньо)	Засвоїв лише окремі питання навчальної програми. Не вміє достатньо самостійно викласти зміст більшості питань програми навчальної дисципліни. Виконав лише окремі завдання кожної теми та рубіжного контролю в цілому.
< 60	F X	2 (незадовільно)	Не засвоїв більшості тем навчальної програми не вміє викласти зміст більшості основних питань навчальної дисципліни. Не виконав більшості завдань кожної теми та рубіжного контролю в цілому.

Запропонована система оцінювання забезпечує прозорий, поетапний і комплексний контроль результатів навчання, стимулює систематичну роботу здобувачів протягом семестру та сприяє формуванню професійних компетентностей, необхідних для подальшої інженерної діяльності у сфері електроенергетики та електромеханіки.

Семестровий контроль результатів навчання здобувачів освіти (екзаменів, заліків) може здійснюватися через систему дистанційного навчання Moodle або за допомогою інших інструментів комунікації, зокрема сервісів відеоконференцій (Zoom, Google Meet тощо) з надійною ідентифікацією здобувача освіти.

Екзамен або залік у дистанційному режимі може проводитись у вигляді: усного опитування здобувачів освіти; складання тестів; розв'язання типових і комплексних задач та завдань, що потребують творчої відповіді та вміння синтезувати отримані знання і застосовувати їх при вирішенні практичних завдань.

Спосіб та етапи проведення екзамену (заліку) визначаються з урахуванням технічних і комунікативних можливостей учасників освітнього процесу. Здобувачі освіти повинні мати надійний інтернет зв'язок, для усних відповідей - телефон, смартфон, планшет або комп'ютер з мікрофоном тощо.

Завдання для екзамену (заліку) можуть складатися з:

- питань, які дозволяють оцінювати рівень теоретичної та практичної підготовки здобувача освіти і рівень його компетентності з навчальної дисципліни;
- тестових запитань з банку тестових питань, розміщених у системі дистанційної освіти Moodle;
- творчих завдань та ситуаційних задач, розв'язання яких потребує від здобувача освіти комплексних знань з дисципліни;

- інших завдань, які можуть продемонструвати рівень отриманих результатів навчання, на перевірку яких спрямований контрольний захід.

За наявності технічної можливості для проведення екзамену (заліку) через систему дистанційного навчання Moodle, здобувачам освіти створюється можливість складання екзамену (заліку) у певному, узгодженому з викладачем, часовому проміжку.

Передекзаменаційні консультації проводяться шляхом організації аудіо-або відеоконференцій за затвердженим розкладом.

Під час проведення семестрового контролю у формі екзамену (заліку) необхідно забезпечити надійну ідентифікацію особи здобувача вищої освіти та дотримання вимог академічної доброчесності. Кількість здобувачів освіти, які одночасно складають екзамен, має бути одночасно контрольованою та не перевищувати 10-15 осіб.

## ВІДПОВІДІ ДО ЗАДАЧ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

У даному розділі наведено відповіді до задач для самостійної роботи, що представлені у відповідних темах дисципліни. Відповіді подано з метою забезпечення можливості самоконтролю здобувачів вищої освіти та підвищення ефективності засвоєння навчального матеріалу.

### Тема №1. Трансформатори. Задачі 1.1 – 1.35.

**1.1.**  $I_{2H} = 30$  А. **1.2.**  $r_1 = 5$  Ом. **1.3.**  $k = 17$ ;  $U_1 = 2190$  В. **1.4.**  $k = 10$ . **1.5.**  $E_1 = 222$  В. **1.6.**  $I_{0a} = 0.1$  А. **1.7.**  $z_K = 5$  Ом;  $x_K = 4$  Ом. **1.8.**  $F_0 = 100$  А. **1.9.**  $I_2 = 50$  А. **1.10.**  $P_{ел1} + P_{ел2} = 1970$  Вт. **1.11.**  $W_1 = 183$ ;  $\Phi_{max} = 1.5$  Тл. **1.12.**  $S_H = 10$  кВА;  $\eta_{\cos\varphi=1} = 0.97$ ;  $\eta_{\cos\varphi=0.8} = 0.96$ ;  $r_1 = r_2 = 14$  Ом. **1.13.**  $S_H = 104$  кВА;  $I_{1H} = 3$  А. **1.14.**  $E_1 = 444$  В;  $E_2 = 222$  В. **1.15.**  $I'_{2H} = 0.69$  А. **1.16.**  $x_{\sigma 1} = 0.314$  Ом. **1.17.**  $I_{2\phi} = 57.8$  А. **1.18.**  $U_{2л} = 115.6$  В. **1.19.**  $p_0 = 1.2$  Вт/кг. **1.20.** В 1.73 рази. **1.21.**  $U_{1к} = 11$  В. **1.22.**  $U_{ка} = 3$  %. **1.23.**  $S_H = 500$  Вт;  $U_{2H} = 50$  В. **1.24.**  $P_{ст} = 1$  Вт. **1.25.**  $\eta_H = 97$  %. **1.26.**  $U_2 = 392$  В. **1.27.**  $\Delta U_H = 5$  %. **1.28.**  $U_2 = 392$  В. **1.29.**  $\angle 240^\circ$ . **1.30.** Непарні. **1.31.** Парні. **1.32.**  $\Delta U = 2$  %. **1.33.**  $U_{кр} = 3.7$  %. **1.34.**  $\angle 26.6^\circ$ . **1.35.**  $\eta = 90$  %.

### Тема №2. Загальні питання теорії електричних машин. Задачі 2.1 – 2.14.

**2.1.**  $q = 3$ . **2.2.**  $\tau = 8$ . **2.3.**  $N_{к.ф.} = 6$ . **2.4.**  $y = 6$ . **2.5.**  $y_{ук} = 5$ . **2.6.**  $N_{ф.зон} = 12$ . **2.7.**  $N_1 = 4$ . **2.8.**  $N_{гр} = 12$ . **2.9.**  $N_{пр} = 4$ . **2.10.** Пазів на полюс: 9;  $q = 3$ ;  $N_{к.ф.} = 6$ . **2.11.**  $k_{об} = 1$ . **2.12.**  $N = 120$ . **2.13.**  $k_{об1} = кр1$ . **2.14.**  $k_{об} = 0,97$ .

### Тема №3. Асинхронні машини. Задачі 3.1 – 3.30.

**3.1.**  $n_1 = 1500$  об/хв. **3.2.**  $2p = 2$ . **3.3.**  $s = 5$  %. **3.4.** Збільшиться у два рази. **3.5.**  $f_2 = 1$  Гц. **3.6.**  $f_2 = 2$  Гц. **3.7.**  $E_2 = 50$  В. **3.8.**  $r_2 = 10$  Ом;  $x_2 = 15$  Ом. **3.9.** Так, змінюється. **3.10.** Зменшиться у чотири рази. **3.11.** Трикутник. **3.12.**  $n_1 = 3000$  об/хв. **3.13.** 1)  $t = T/4$ ;  $i_A = 0$ ;  $i_B = I_{max}$ ; 2)  $t = T/2$ ;  $i_A = -I_{max}$ ;  $i_B = 0$ . **3.14.** а)  $\angle 90^\circ$ ; б)  $\angle 45^\circ$ . **3.15.** а)  $n_1 = 3000$  об/хв; б)  $n_1 = 1000$  об/хв. **3.16.** Дев'ять. **3.17.** Не зміниться. **3.18.** Ні, не можна. **3.19.**  $S_r = 6.94$  кВА. **3.20.** Ні, не можливий. **3.21.** Зменшиться у 1.23 рази. **3.22.**  $r_d' = 0.04$  Ом. **3.23.**  $I_H = 181$  А;  $M_H = 323$  Н·м;  $s = 0.013$ ;  $f_2 = 0.65$  Гц. **3.24.**  $M_H = 2.94$  Н·м;  $M_{ем} = 3.18$  Н·м. **3.25.**  $M_{п} = 99.5$  Н·м. **3.26.**  $I_2 = 2865$  А. **3.27.**  $E_{2s} = 12$  В;  $I_{2s} = 19.8$  А;  $I_{2п} = 132$  А. **3.28.**  $n = 970$  об/хв;  $f_2 = 1.5$  Гц. **3.29.**  $s = 0.06$ ;  $P_{ел2} = 30$  Вт. **3.30.**  $n = 1410$  об/хв.

#### Тема №4. Синхронні машини. Задачі 4.1 – 4.16.

**4.1.**  $M_1 = 95.5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . **4.2.**  $P_1 = 9.1 \text{ кВт}$ . **4.3.**  $n = 1500 \text{ об/хв}$ ;  $M_H = 3185 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ;  $P_1 = 526 \text{ кВт}$ ;  $Q_1 = 395 \text{ кВАр}$ ;  $I_1 = 346 \text{ А}$ ;  $I_{1p} = 576 \text{ А}$ . **4.4.**  $I_{1p} = 93 \text{ А}$ . **4.5.**  $\eta = 89 \%$ . **4.6.**  $U_{0\Delta} = E_{0\Delta} = 441 \text{ В}$ ;  $U_{0Y} = E_{0Y} = 763 \text{ В}$ . **4.7.**  $\eta = 0.97$ . **4.8.**  $\cos\varphi = 0.95$ . **4.9.**  $I_1 = 155 \text{ А}$ ;  $k_H = 2$ . **4.10.**  $Q_l = 26 \text{ кВАр}$ . **4.11.**  $\Sigma\Delta P = 4.57 \text{ кВт}$ . **4.12.**  $\angle 45^\circ$ . **4.13.**  $2p = 6$ . **4.14.**  $\theta_1 = 15^\circ$ ;  $\theta_2 = 42^\circ$ . **4.15.**  $\theta = 20^\circ$ ;  $k_H = 2.9$ . **4.16.**  $I_1 = 621 \text{ А}$ .

#### Тема №5. Машини постійного струму. Задачі 5.1 – 5.25.

**5.1.**  $B = 1 \text{ Тл}$ . **5.2.**  $E = 0.6 \text{ В}$ . **5.3.**  $E = 230 \text{ В}$ . **5.4.**  $T = 4 \cdot 10^{-4} \text{ с}$ . **5.5.**  $U = 230 \text{ В}$ . **5.6.**  $E = 230 \text{ В}$ . **5.7.** Ні. **5.8.**  $\eta = 90 \%$ . **5.9.** Збільшиться у чотири рази. **5.10.**  $M_H = 143 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . **5.11.**  $F = 3.2 \text{ Н}$ . **5.12.**  $M = 0.5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . **5.13.** Збільшиться у два рази. **5.14.**  $M_2 = 49 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . **5.15.**  $\Sigma\Delta P = 1.1 \text{ кВт}$ . **5.16.**  $n = 1389 \text{ об/хв}$ . **5.17.**  $E_a = 250 \text{ В}$ ;  $P_{\text{ем}} = 42.1 \text{ кВт}$ ;  $P_{\text{ел.зб}} = 230 \text{ Вт}$ ;  $\Sigma\Delta P = 6.3 \text{ кВт}$ . **5.18.**  $I_H = 174 \text{ А}$ ;  $r_H = 1.3 \text{ Ом}$ ;  $E_a = 251 \text{ В}$ ;  $\Sigma\Delta P = 6.5 \text{ кВт}$ ;  $P_{\text{ем}} = 43.6 \text{ кВт}$ ;  $M_{\text{ем}} = 284 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . **5.19.**  $I_H = 100 \text{ А}$ ;  $I_B = 6.7 \text{ А}$ ;  $I_a = 107 \text{ А}$ ;  $E_a = 129 \text{ В}$ ;  $P_H = 12 \text{ кВт}$ ;  $P_{\text{ел.а}} = 0.91 \text{ кВт}$ ;  $P_{\text{ел.зб}} = 0.81 \text{ кВт}$ . **5.20.**  $P_H = 2.3 \text{ кВт}$ ;  $P_1 = 2.88 \text{ кВт}$ ;  $I_a = 20.8 \text{ А}$ ;  $P_{\text{ем}} = 2.56 \text{ кВт}$ ;  $M_{\text{ем}} = 8.6 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . **5.21.**  $I_a = 32 \text{ А}$ ;  $P_H = 3.6 \text{ кВт}$ ;  $E_a = 129 \text{ В}$ ;  $P_{\text{ем}} = 4096 \text{ Вт}$ . **5.22.**  $I_a = 47.5 \text{ А}$ ;  $r_a = 0.06 \text{ Ом}$ ;  $r_{\text{зб.щ}} = 110 \text{ Ом}$ ;  $P_{\text{ем}} = 10.9 \text{ кВт}$ ;  $M_{\text{ем}} = 20.9 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . **5.23.**  $P_1 = 12.6 \text{ кВт}$ ;  $I_a = 42.9 \text{ А}$ ;  $E_a = 207 \text{ В}$ ;  $P_{\text{ел.а}} = 551 \text{ Вт}$ ;  $P_{\text{ел.зб}} = 575 \text{ Вт}$ ;  $\Sigma\Delta P = 2.6 \text{ кВт}$ ;  $P_0 = 2.1 \text{ кВт}$ . **5.24.**  $P_1 = 64.2 \text{ кВт}$ ;  $I = 117 \text{ А}$ ;  $M_2 = 764 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ;  $E_a = 539 \text{ В}$ ;  $\Sigma\Delta P = 12.2 \text{ кВт}$ . **5.25.**  $I_H = 132 \text{ А}$ ;  $I_a = 128 \text{ А}$ ;  $P_1 = 29.1 \text{ кВт}$ ;  $E_a = 205 \text{ В}$ ;  $P_{\text{ел.зб.щ}} = 1 \text{ кВт}$ .

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Гайдено Ю. А. Електричні машини [Електронний ресурс] : курс лекцій : навч. посіб. Для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність» / Ю. А. Гайдено; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 211 с.
2. Проектування електричних машин : навч. посіб. / Д.В. Ципленков, О.Б. Іванов, О.В. Бобров, В.В. Кузнецов, В.В. Артемчук, М.О. Баб'як ; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2020. – 408 с.
3. Ковальов О.В. Електричні машини: курс лекцій / О.В. Ковальов. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – 175 с.
4. Загірняк М.В. Електричні машини: підручник / М.В. Загірняк, Б.І. Невзлін. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – К.: Знання, 2009. – 399 с.
5. Андрійко І. І., Гайдук В. Г. Електричні машини постійного струму.- Львівська політехніка, 2018.- 568 с.
6. Електричні машини і трансформатори / підручник за заг. ред. В. І. Мілих. – Х.: ХПІ, 2017. – 452 с.
7. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлев та ін. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 449 с
8. Електричні машини : підручник / Б.Т. Кононов, Г.І. Лагутін, О.Б. Котов та ін.; за заг. ред. Б.Т. Кононова. – Харків : ХУПС, 2015. – 493 с.
9. Андрієнко В.М. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напрямом підгот. «Електротехніка та електротехнології» / В.М. Андрієнко, В.П. Куєвда. – К. : НУХТ, 2010. – 366 с.
10. Белікова Л.Я. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – Одеса : Наука і техніка, 2012. – 478 с.

### Інформаційні ресурси:

1. Дистанційна освіта ЦНТУ [Електронний ресурс] / МОН України. - Кропивницький <https://moodle.kntu.kr.ua/>
2. Центральноукраїнський національний технічний університет: кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент» [Електронний ресурс] / МОН України. – Кропивницький: Кафедра ЕТС та ЕМ, 2022. – Режим доступу: <http://etsem.kntu.kr.ua/>