



Основи автоматизованого проектування електричних машин. Курсовий проєкт. Частина 1. Трансформатори

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 «Електрична інженерія»</i>
Спеціальність	<i>141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»</i>
Освітня програма	<i>ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ (ELECTRIC MACHINES AND APPARATUS)</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна(денна)/заочна/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>III курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>45 годин / 1,5 кредити ECTS</i>
Семестровий контроль / контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Керівник: к.т.н., доц. Цивінський Сергій Станіславович, 0984424965</i>
Розміщення курсу	<i>https://do.ipk.kpi.ua</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Програма навчальної дисципліни «Основи автоматизованого проектування електричних машин. Курсовий проєкт. Частина 1. Трансформатори» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Метою навчальної дисципліни є отримання теоретичних і практичних знань процесів електромеханічного перетворення енергії та формування у студентів здатностей:

- у дослідницькій діяльності – здатність до пошуку та аналізу наукової, технічної та нормативно-технічної інформації в електроенергетичній галузі;
- у проектно-конструкторській діяльності – здатність до виконання проектних розрахунків силових трансформаторів та їх характеристик;
- у управлінській діяльності – здатність до розроблення та складання технічної документації, забезпечення виконання робіт з урахуванням ефективності енерговикористання та якості продукції, вимог екології;
- у прогностичній діяльності – здатність до прогнозування впливу діяльності енергооб'єктів на екологію, людину та суспільство;

- у технологічній діяльності – здатність до виконання технічних та розрахункових задач на виробництві.

Предмет навчальної дисципліни – конструкція, принципи роботи, фізичні явища та процеси в трансформаторах; типові методи проектування силових трансформаторів з масляним охолодженням; основні характеристики трансформаторів.

Програмні результати навчання:

Компетенції: (ЗК 2, 3, 5, 8) Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях, Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово, Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел, Здатність працювати автономно.

(ФК 17, 24, 25, 27) Здатність розробляти проекти електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування із дотриманням вимог законодавства, стандартів і технічного завдання, Здатність здійснювати теплові розрахунки електричних машин і трансформаторів, виконувати їх моделювання та аналіз, Здатність здійснювати розрахунки механічної частини електричних машин і апаратів, механічних перехідних процесів, розраховувати параметри електричних машин і апаратів, виконувати їх моделювання та аналіз, Здатність вирішувати комплексні практичні задачі, пов'язані з розробкою фізичних й математичних моделей досліджуваних машин, приводів, систем, процесів, явищ і об'єктів у професійній сфері, розробляти методики та організувати проведення експериментів з аналізом результатів.

(ПР 7, 22, 24, 28) Здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах, Застосовувати сучасні методи математичного моделювання електричних машин і апаратів, електромеханічних перетворювачів енергії, електромеханічних комплексів, Розуміти особливості конструкції, технічних характеристик, принципів дії та режимів роботи електромеханічних пристроїв, електричних машин і апаратів, у тому числі потужних турбо- і гідрогенераторів, Вміти застосовувати сучасні пакети прикладних програм для моделювання електромагнітних полів електричних машин.

Знання:

- конструкції та принципів роботи трансформаторів,
- фізичних явищ та процесів в трансформаторах,
- типових методів дослідження трансформаторів,
- основних характеристик трансформаторів.

Уміння:

- аналізувати передовий вітчизняний та зарубіжний досвід щодо ефективного використання, технічного обслуговування і ремонту електрообладнання,
- досліджувати фізичні явища і процеси в силових трансформаторах,
- використовувати сучасні інформаційні технології у професійній діяльності,
- дотримуватися вимог ГОСТ та ДСТУ під час розробки конструкторської документації,
- аналізувати дані та розробляти алгоритми вирішення інженерних задач професійної діяльності,
- оцінювати показники ефективності функціонування електроенергетичних об'єктів та застосовувати методи їх оптимізації,
- аналізувати процеси в енергетичному обладнанні,
- контролювати обладнання та впроваджувати заходи з підвищення надійності та ефективності його функціонування,
- виконувати технічні креслення електроенергетичного устаткування,
- вибирати трансформатори для конкретних практичних умов,
- створювати математичні моделі трансформаторів, адекватні завданням,
- виконувати розрахунки параметрів та основних режимів роботи трансформаторів,
- давати аналіз та опис усталених та перехідних процесів в системах, в яких є електричні машини та апарати і робити відповідні висновки.

Досвід:

- з проектування трансформаторів,
- у математичному моделюванні трансформаторів, розрахунку їх параметрів,
- у використанні сучасних інформаційних технологій у професійної діяльності,
- у дотриманні вимог ГОСТ та ДСТУ під час розробки конструкторської документації,
- у виконанні технічних креслень електроенергетичного устаткування.

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». Дисципліна «Основи автоматизованого проектування електричних машин. Курсовий проект. Частина 1. Трансформатори», використовуючи відомі закони електротехніки, подає теорію трансформаторів. При вивченні конструкції та режимів роботи трансформаторів потрібні також знання з інженерної графіки, електротехнічних матеріалів, прикладної механіки, електроніки, основ метрології та електричних вимірювань. Значну увагу приділено аналізу сфери застосування трансформаторів та їх впливу на розвиток різноманітних галузей промисловості; передує вивченню дисциплін «Електрична частина станцій та підстанцій», «Електричні системи та мережі», «Релейний захист та автоматизація енергосистем», «Техніка високих напруг».

3. Зміст навчальної дисципліни

Курсовий проект складається з розрахункової та графічної частин.

Проектування силового трансформатора, до якого увійшли питання про призначення та класифікацію трансформаторів, основи теорії роботи трансформатора при холостому ході, короткому замиканні та під навантаженням, про підхід до попереднього обрання основних електромагнітних навантажень та визначення геометричних співвідношень у залежності від матеріалів магнітопроводу та обмоток, обрання конструкції магнітопроводу та обмоток, розрахунку втрат та напруги короткого замикання, зусиль при короткому замиканні, втрат та струму неробочого ходу, вибір виду та кількості радіаторів та тепловий розрахунок трансформатора, перевірку та корегування відхилень від заданих значень втрат та напруги короткого замикання, зусиль при короткому замиканні, втрат та струму неробочого ходу. Графічна частина складається з одного креслення формату А1 – загального виду спроектованого трансформатора.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні інформаційні ресурси:

1. Проектування електромеханічних перетворювачів енергії. Трансформатори. Основи автоматизованого проектування електричних машин - 1 [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Електричні машини і апарати» / О.М. Давидов, С.С. Цивінський; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 16 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 171 с.
2. Лябук М.Н. Розрахунок і конструювання силових трансформаторів. Навчальний посібник / М.Н. Лябук. – Луцьк. РВВ ЛДТУ, 2004. – 198 с.
3. Трифазний силовий масляний трансформатор загального призначення: курсовий проект [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньою програмою «Електричні машини і

апарати» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В.В. Чумак, С.С. Цивінський, В.В. Котлярова. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,61 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018 - 35 с.

4. Дистанційний курс «Основи автоматизованого проектування електричних машин-1 КП» <https://do.ipro.kpi.ua>

Додаткові:

1. Електричні машини і трансформатори : навч. посібник / М. О. Осташевський, О. Ю. Юр'єва; за ред. В. І. Мілих. – Харків : ФОРМ Панов А. М., 2017. – 452 с.
2. Андрієнко В.М., Куєвда В.П. Електричні машини: Навч. Посіб. – К.: НУХТ, 2010. – 366 с.
3. Красніков В.М., Сулейманов В.М., Давидов О.М. Електричні машини. Електромеханічні перетворювачі енергії. – Київ, Норіта-плюс, 2007.
4. Transformer Design Principles: With Applications to Core-Form Power Transformers, Robert M. Del Vecchio, Bertrand Poulin, Pierre T. Feghali, Dilipkumar M. Shah, Rajendra Ahuja, CRC Press; 2nd edition, June 2, 2010, 636 pages, ISBN: 978-1439805824
5. Power Transformer Design Practices, Fang Zhu, Baitun Yang, CRC Press; 1st edition, March 22, 2021, 282 pages, ISBN: 978-0367418434
6. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов: Учебное пособие для вузов.- 5-е изд.,вузов.- 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1986-528с.
7. Постников И.М. Проектирование электрических машин.-Київ: Гостехиздат УССР, 1960.- 910с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Кожному студенту надається технічне завдання на розробку, проектування та дослідження трифазного силового трансформатора загального призначення.

В процесі виконання курсового проекту студенти повинні виконати наступні етапи:

- Отримання завдання. Вимоги. Рекомендації щодо використання літературних та інших джерел.
- Вступ. Технічні умови.
- Вибір та опис конструкції трансформатора.
- Проектування обмоток НН та ВН.
- Розрахунок напруги та втрат короткого замикання. Механічний розрахунок.
- Розрахунок магнітного кола.
- Розрахунок робочих характеристик. Тепловий розрахунок. Висновки.
- Виконання графічної частини - загальний вигляд спроектованого трансформатора.
- Захист проекту

6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назва розділу, теми (окремого питання), що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1.	Технічні вимоги, опис конструкції трансформатора	2
2.	Розрахунок головних розмірів, визначення діаметру та довжини стрижня магнітопроводу.	2
3.	Розрахунок геометричних розмірів витків обмоток нижчої напруги та вищої напруги згідно з обраною конструкцією.	2
4.	Розрахунок втрат короткого замикання та принцип їх корегування.	4
5.	Розрахунок напруги короткого замикання та її корегування.	6
6.	Розрахунок електромеханічних зусиль при короткому замиканні.	3
7.	Розрахунок втрат та струму неробочого ходу та їх корегування.	3

8.	Розрахунок перепаду температури в обмотках, мастилі, на поверхні баку трансформатора та радіаторів, розрахунок розмірів баку, підбір конструкції та кількості радіаторів, розрахунок поверхні конвекції та випромінювання, кінцевий перепад температури обмоток відносно повітря, корегування та кількості радіаторів	3
9.	Виконання ескізів головної ізоляції, витків обмоток, вишини та діаметрів обмоток, схеми регулювання напруги, ескізу зусиль при короткому замиканні, ескізу перерізу стрижня та ярма магнітопроводу, ескізу для визначення розмірів баку, радіаторів, поверхонь охолодження, та збирального креслення з повздовжнім та поперечним перерізами.	4
10.	Формулювання висновків, порівняння результатів розрахунків з завданням, та причини і наслідки відхилень.	6
11.	Оформлення пояснювальної записки та креслення.	6
12.	Підготовка до захисту.	4

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, участь у факультетських та інститутських наукових конференціях.
- 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;
- 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)

Поточний контроль: експрес-опитування на консультаціях після виконання кожного етапу роботи.

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

Семестровий контроль: залік

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка виконання графіку

роботи над проектом, семестровий рейтинг більше 30 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

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

- - відповіді під час проведення експрес-опитувань на консультаціях;
- - виконання графіку робіт з проектування;
- - якість оформлення креслення та пояснювальної записки КП;
- - відповіді при захисті курсового проекту.

Експрес-опитування	Виконання графіку робіт	Оформлення креслення	Оформлення пояснювальної записки	Rc	Rзах	R
10	10	20	20	60	40	100

Відповіді під час проведення експрес-опитувань

Ваговий бал – 1.

Максимальна кількість балів на всіх консультаціях – 1 бали * 10 = 10 балів.

Критерії оцінювання

- правильні відповіді на окремі питання – 1;

Виконання графіку проектування

Ваговий бал – 1.

Максимальна кількість балів за всі етапи проектування дорівнює 1 'x 10 = 10 балів.

Критерії оцінювання

- повне виконання етапу роботи, 10 балів;
- незначні затримки з виконанням етапу роботи – 4 ... 8 балів;
- суттєві затримки з виконанням етапу роботи – 1 ... 3 балів;
- затримки з виконанням етапу роботи більш за десять тижнів – 0 балів.

Оформлення креслення

Оформлення складального креслення має бути з виконанням усіх вимог що до комплектності, розмірів, відповідності до розрахунків.

Критерії оцінювання

- відсутність зауважень – 20 балів;
- малосуттєві зауваження (наявність незначних помилок) – 15-19 балів;
- суттєві зауваження (наявність значних графічних помилок) – 5-14 балів;
- невідповідність креслення розрахункам – 0 балів.

Оформлення пояснювальної записки

Оформлення пояснювальної записки має бути з виконанням усіх вимог що до правил оформлення технічної документації.

Критерії оцінювання

- відсутність зауважень – 20 балів;
- малосуттєві зауваження (наявність незначних помилок) – 15-19 балів;
- суттєві зауваження (наявність значних графічних помилок) – 5-14 балів;
- Невідповідність розрахунку та креслення – 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.

Форма семестрового контролю – залік (захист)

Залікова робота складається з відповіді на два теоретичних запитання

Критерії оцінювання захисту

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

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

Максимальний рейтинг екзамену $R_z = 40$ балів.

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

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

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

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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік тем, які виносяться на семестровий контроль

1. Призначення та класифікація трансформаторів.
2. Основні варіанти конструкції сучасних силових трансформаторів. Конструкція магнітопроводів і обмоток трансформаторів.
3. Схеми та групи з'єднання обмоток трансформаторів.
4. Принцип дії та електричні співвідношення в ідеальному трансформаторі.
5. Рівняння електрорушійних сил трансформатора.
6. Рівняння намагнічуючих сил.
7. Приведений трансформатор.
8. Схема заміщення трансформатора.
9. Намагнічуючий струм трансформатора.
10. Струм холостого ходу трансформатора.
11. Втрати холостого ходу трансформатора.
12. Холостий хід трансформатора.
13. Дослід холостого ходу трансформатора.
14. Режим і дослід короткого замикання реального трансформатора
15. Як покращити втрати K_3 , напругу K_3 , на що впливають ці показники.
16. Як покращити втрати H_X , струм H_X , на що впливають ці показники.
17. Як покращити охолодження трансформатора.
18. Робота трансформатора під навантаженням.
19. Зміна вторинної напруги трансформатора при навантаженні.
20. Зовнішня характеристика трансформатора.
21. Втрати і коефіцієнт корисної дії трансформатора.
22. Паралельна робота трансформаторів. Умови включення на паралельну роботу.
23. Пояснити, що відбувається при порушенні умов включення трансформаторів на паралельну роботу.
24. Мета теплового розрахунку трансформатора

25. Які способи теплопередачі мають місце у трансформаторі?

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., Цивінським С.С.

Ухвалено кафедрою електромеханіки ФЕА (протокол № 14 від 25.05.2022 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 16.06.2022 р.)