



# СИЛОВІ ТРАНСФОРМАТОРИ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	14 «Електрична інженерія»
Спеціальність	141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма	Електричні машини і апарати (electric machines and apparatus)
Статус дисципліни	Цикл професійної підготовки
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	II курс, весняний
Обсяг дисципліни	90 годин / 3 кредити ECTS
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік/МКР/ДКР
Розклад занять	<a href="http://rozklad.kpi.ua">http://rozklad.kpi.ua</a>
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., проф. Васьковський Юрій Миколайович, тел. 0501022010 Практичні: асистент Бобер В.А. Лабораторні: асистент Бобер В.А.
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс Moodle <a href="https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=883">https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=883</a>

### Програма навчальної дисципліни

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

Програму навчальної дисципліни «Силові трансформатори» складено відповідно до Освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти підготовки бакалавра за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та спеціалізацію «Електричні машини і апарати».

**Метою навчальної дисципліни** є вивчення студентами конструкції, принципу дії, фізичних процесів в трансформаторах та їх основних параметрів і характеристик, типових методів розрахунку і дослідження трансформаторів.

**Предметом навчальної дисципліни** є сукупність конструктивно-технологічних параметрів та експлуатаційних характеристик сучасних силових трансформаторів, методи їх дослідження та розрахунку.

**Програмні результати навчання:**

**Компетенції:** Здатність ефективно виконувати фахові обов'язки, виробничі функції та вирішувати типові задачі діяльності фахівця в сфері розрахунку, виробництва та експлуатації силових трансформаторів в рамках спеціалізації "Електричні машини і апарати", які передбачені для первинних посад у певному виді економічної діяльності.

**Знання:** Конструкції сучасних силових трансформаторів, типових методик, алгоритмів та програмного забезпечення для розрахунку їх параметрів і характеристик.

**Уміння:** Планувати і виконувати типові інженерно-технічні задачі щодо розробки та експлуатації сучасних силових трансформаторів, критично аналізувати результати власної інженерно-технічної діяльності у контексті усього комплексу сучасних знань щодо силових трансформаторів.

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

**Пререквізити:** успішне засвоєння дисципліни базується на знаннях, отриманих студентом під час вивчення таких дисциплін, як «Фізика», «Вища математика», «Теоретичні основи електротехніки».

**Постреквізити:** В структурно-логічній схемі навчального плану підготовки бакалаврів дисципліна «Силові трансформатори» забезпечує подальше вивчення таких спеціальних дисциплін, як «Електричні машини», «Основи автоматизованого проектування електричних машин», «Виробництво та експлуатація електричних машин».

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

*Дисципліна структурно складається з 2-х змістовних модулів, а саме:*

### **Змістовий модуль 1. Конструкція, параметри та характеристики трансформаторів.**

*Тема 1.1. Призначення, класифікація та принцип дії трансформаторів.*

*Тема 1.2. Намагнічування магнітопроводів трансформаторів.*

*Тема 1.3. Схема заміщення трансформатора.*

*Тема 1.4. Робота трансформатора під навантаженням.*

### **Змістовий модуль 2. Режими роботи та спеціальні типи трансформаторів.**

*Тема 2.1. Несиметричне навантаження трансформаторів.*

*Тема 2.2. Перехідні процеси в трансформаторах.*

*Тема 2.3. Спеціальні типи трансформаторів.*

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

### Основні інформаційні ресурси:

1. Андрієнко В.М., Куєвда В.П. Електричні машини. Київ, НУХТ, 2010. – 366 с.
2. Вольдек А.И. Электрические машины. М.-Л.: Энергия, 1978. – 832 с.
3. Читечян В.И. Электрические машины. Сборник задач. М.: Высшая школа, 1988. – 231 с.
4. Данку А., Фаркаш А., Надь Л. Электрические машины. Сборник задач и упражнений. М.: Энергоатомиздат, 1984. – 362 с.
5. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов. – М.: Энергия, 1978. – 356 с.
6. Електричні машини. Розділ Трансформатори (методичні вказівки до практичних занять студентів ОКР “бакалавр”) // Васьковський Ю.М., Гераскін О.А. Електронне видання з грифом ФЕА НТУУ «КПІ», протокол ради ФЕА №8 від 27.03.2013 р., – 37 с.
7. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт, розділи «Трансформатори», «Асинхронні машини». // Реуцький М.О., Анпілогов М.Г., Давидов О.М., Дубчак Є.М. К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 54с.

### Додаткові інформаційні ресурси:

8. Грабко В. В. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина IV. Трансформатори: навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, С. М. Левицький. – Вінниця : ВНТУ, 2008. – 219 с
9. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. Л.: Энергия, ч. 2, 1972. – 543 с.

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття:

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)
1	<p><b>Лекція 1. Призначення, класифікація та принцип дії трансформаторів.</b> Роль та значення трансформаторів у сучасній електротехніці. Принцип дії та класифікація трансформаторів. Визначення ЕРС обмоток. Конструкція силових трансформаторів.</p> <p>Література: [2], Гл.12, с.240-253; [1], Гл. 1, с. 11- 22.</p> <p>Завдання на СРС: Види та конструкція магнітопроводів і обмоток трансформаторів. Методи та засоби охолодження трансформаторів.</p>
2	<p><b>Лекція 2. Намагнічування магнітопроводів трансформаторів.</b> Схеми та групи з'єднання обмоток трансформаторів. Явище намагнічування магнітопроводів трансформаторів.</p> <p>Література: [2], Гл.12, с.253-260, [1], Гл. 1, с. 23- 27.</p> <p>Завдання на СРС: Розрахунок магнітного кола трансформаторів.</p>
3	<p><b>Лекція 3. Параметри трансформатора і рівняння напруг його обмоток.</b> Індуктивні опори трансформатора. Рівняння напруг обмоток трансформатора в комплексній формі. Приведення вторинної обмотки до первинної.</p> <p>Література: [2], Гл.14, с.269-273, [1], с.34-46.</p> <p>Завдання на СРС: Спрощена схема заміщення трансформатора.</p>
4	<p><b>Лекція 4. Схема заміщення трансформатора.</b> Схема заміщення трансформатора без врахування втрат в сталі та з їх врахуванням. Режими неробочого (холостого) ходу та короткого замикання (КЗ) трансформатора. Експериментальне визначення параметрів схеми заміщення.</p> <p>Література: [2], Гл.14, с.274-296; [1], с.34-46.</p> <p>Завдання на СРС: Розрахункове визначення параметрів схеми заміщення.</p>
5	<p><b>Лекція 5. Робота трансформатора під навантаженням.</b> Векторні та енергетичні діаграми трансформатора. Змінення напруги трансформатора. Зовнішня характеристика трансформатора. Втрати і ККД трансформатора.</p> <p>Література: [2], Гл.15, с.298-310; [1], Гл.11, с. 49-54.</p> <p>Завдання на СРС: Регулювання напруги трансформатора.</p>
6	<p><b>Лекція 6. Паралельна робота трансформаторів.</b> Умови включення трансформаторів на паралельну роботу.</p> <p>Література: [2], Гл.15, с.310-316.</p> <p>Завдання на СРС: Розподіл потужності між трансформаторами, що працюють паралельно.</p>
7	<p><b>Лекція 7. Несиметричне навантаження трансформатора.</b> Використання методу несиметричних складових. Несиметричне навантаження трансформатора при відсутності та наявності струмів нульової послідовності.</p> <p>Література: [2], Гл.16, с.324-328; [1], с. 61-65,[3], Завдання на СРС: Несиметричні КЗ трансформатора.</p>
8	<p><b>Лекція 8. Перехідні процеси в трансформаторах.</b> Вмикання трансформатора під напругу. Раптове КЗ трансформатора. Наслідки дії струмів КЗ.</p> <p>Література: [2], Гл.17, с.328-344; [1] с. 66-73.</p> <p>Завдання на СРС: Визначення аперіодичної складової струму КЗ.</p>

9	<p><b>Лекція 9. Спеціальні типи трансформаторів.</b> Трьох обмоткові трансформатори. Автотрансформатори. Література: [2], Гл.18, с.344-350. Завдання на СРС: Порівняльний аналіз та визначення ефективності використання трансформаторів та автотрансформаторів.</p>
---	--

**Практичні заняття:** На практичних заняттях методика виконання типових розрахунків повинна ставати робочим інструментом, який студент може використовувати в подальшій роботі. Темі практичних занять:

№	Назва теми заняття та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)
1	<p><b>Заняття 1. Конструкція трансформаторів.</b> Стержньова та броньова конструкції магнітопроводів. Обмотки трансформаторів. Література: [2], с.244-253</p>
2	<p><b>Заняття 2. Розрахунок магнітного кола трансформатора.</b> Методи розрахунку магнітного кола трансформатора. Розв'язання задач. Література: [3], с.8-10. Завдання на СРС: Розв'язання задач.</p>
3	<p><b>Заняття 3. Електромагнітні процеси в трансформаторах при неробочому ході і КЗ.</b> Розрахунок параметрів і схеми заміщення трансформатора по даним дослідів неробочого ходу і КЗ. Література: [3], с. 11-22; [5], с.11-15; [6], с.8-15. Завдання на СРС: Розв'язання задач.</p>
4	<p><b>Заняття 4. Робота трансформаторів під навантаженням.</b> Втрати та ККД трансформаторів. Зміна напруги та зовнішня характеристика трансформатора. Розв'язання задач. Література: [3], с. 11-22; [6], с. 15-20. Завдання на СРС: Розв'язання задач.</p>
5	<p><b>Заняття 5. Паралельна робота трансформаторів.</b> Паралельна робота трансформаторів. Розв'язання задач. Контрольна робота (частина 1). Література: [3], с. 11-22; [6], с. 15-20.</p>
6	<p><b>Заняття 6. Несиметрична робота трансформаторів.</b> Несиметричне навантаження трифазних трансформаторів. Розв'язання задач. Література: [3], с.37-42; [4], с. 21-22. Завдання на СРС: Розв'язання задач.</p>
7	<p><b>Заняття 7. Перехідні процеси в трансформаторах.</b> Включення трансформатора та його КЗ. Розв'язання задач. Література: [3], с.42-45; [4], с.23-24. Завдання на СРС: Розв'язання задач.</p>
8	<p><b>Заняття 8. Спеціальні типи трансформаторів.</b> Три обмоткові трансформатори та автотрансформатори. Модульна контрольна робота (частина 2). Література: [2], Гл.18, с.344-350. Завдання на СРС: Розв'язання задач.</p>
9	<p><b>Заняття 9. Залік</b></p>

**Лабораторні заняття:** Кожне лабораторне заняття розраховано на 4 аудиторні години.

№	Назва лабораторного заняття
1	<b>Заняття 1. Вступне заняття.</b> Інструктаж з правил техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт. Особливості монтажу схем дослідження трансформаторів, вибору приладів та реостатів.
2	<b>Заняття 2. Дослідження трифазного двох обмоткового трансформатора.</b> Література: [2], с.291-297с.301-304, с.307-310; [1], с.21-35.
3	<b>Заняття 3. Дослідження паралельної роботи двох обмоткових трифазних трансформаторів.</b> Групи з'єднань трансформаторів. Література: [2], с.253-257, с.310-316; [7], с.36-44.
4	<b>Заняття 4. Дослідження однофазного трьох обмоткового трансформатора.</b> Література: [2], с.344-347; [7], с.44-53.

## 6. Самостійна робота студента

В таблиці наведено основні завдання, що виносяться на самостійну роботу студентів

№	Назва теми, що виносяться на самостійне опрацювання
1	<b>Завдання для СРС 1.</b> Види та конструкція магнітопроводів і обмоток трансформаторів. Методи та засоби охолодження трансформаторів.
2	<b>Завдання для СРС 2.</b> Розрахунок магнітного кола трансформаторів.
3	<b>Завдання для СРС 3.</b> Спрощена схема заміщення трансформатора.
4	<b>Завдання для СРС 4.</b> Розрахункове визначення параметрів схеми заміщення.
5	Виконання домашньої контрольної роботи
6	<b>Завдання для СРС 5.</b> Регулювання напруги трансформатора.
7	<b>Завдання для СРС 6.</b> Розподіл потужності між трансформаторами, що працюють паралельно.
8	<b>Завдання для СРС 7.</b> Несиметричні КЗ трансформатора.
9	<b>Завдання для СРС 8.</b> Визначення аперіодичної складової струму КЗ.
10	<b>Завдання для СРС 9.</b> Порівняльний аналіз та визначення ефективності використання трансформаторів та автотрансформаторів.
11	Підготовка до модульної контрольної роботи
12	Підготовка до заліку

**Домашня контрольна робота.** Для закріплення та узагальнення отриманих знань з теорії трансформаторів студенти виконують індивідуальне семестрове завдання – домашню контрольну роботу (ДКР). Тема ДКР: «Розрахунок параметрів та характеристик трифазного силового трансформатора». Варіант вхідних даних узгоджується та надається викладачем.

**Модульна контрольна робота.** Для одержання студентами стійких знань передбачено виконання модульної контрольної роботи, на яку виносяться основні питання дисципліни.

Модульна контрольна робота складається з двох частин (контрольних робіт):

- контрольна робота 1 по темам 1.1 – 1.4.
- контрольна робота 2 по темам 2.1 – 2.3.

## 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 захисту індивідуальних завдань:** захист ДКР з дисципліни здійснюється індивідуально і лише у випадку, коли студент не погоджується із нарахованими балами за результатами перевірки ДКР (за умови дотримання календарного плану виконання ДКР);

• **політика дедлайнів та перескладань:** якщо студент не проходив або не з'явився на МКР (без поважної причини), його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання результатів МКР не передбачено;

• **політика щодо академічної доброчесності:** Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з даної дисципліни;

• **при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соцмережах 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, МКР, ДКР.

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

**Семестровий контроль:** залік.

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

**Умови допуску до семестрового контролю:** поточний семестровий рейтинг повинен складати не менше 30 балів.

Поточний семестровий рейтинг студента складається з балів, отриманих за:

- відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях;
- виконання модульної контрольної роботи (МКР);
- виконання домашньої контрольної роботи (ДКР);
- виконання та захист лабораторних робіт.

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

Ваговий бал за одне експрес-опитування – 1 бал.

Максимальна кількість балів на одного студента дорівнює: 1 бал \* 3 опитування = 3 бали. (виходячи із 5 опитаних студентів на одній лекції, усього 5 \* 9 = 45 опитувань і 45/15 = 3 опитування на одного студента)

Критерії оцінювання

- правильні відповіді на окремі питання з місця – 1 бал;

### **Індивідуальне семестрове завдання (ДКР)**

Згідно з робочою навчальною програмою студент виконує ДКР.

Максимальна кількість балів за виконання ДКР дорівнює 30 балів.

Критерії оцінювання

- повне і вчасне виконання – 26 ...30 балів (в залежності від якості оформлення);
- є окремі несуттєві помилки – 14...25 балів;
- є суттєві помилки – 2...13 балів;
- неправильне виконання ДКР – 0 балів;
- на виконання ДКР відводять 8 тижнів з моменту видачі завдання; здача ДКР після встановленого терміну передбачає зниження оцінки - 2 бали за кожен тиждень понад встановлений термін.

### **Модульна контрольна робота**

Максимальна кількість балів за виконання МКР дорівнює 6 балів.

#### *Критерії оцінювання*

- повна відповідь на запитання (більше 90% матеріалу) 6 балів;
- неповна відповідь на запитання (від 50 до 90% матеріалу) - 2 – 5 балів;
- відповідь містить менше 50 % правильних відповідей – 0 балів;

### **Лабораторні роботи**

- Ваговий бал — 7. Максимальна кількість балів за 3 лабораторні роботи дорівнює: 7 балів\*3 = 21 бал. Критерії оцінювання:
- 2 бали — підготовка до роботи,
- 2 бали — виконання лабораторної роботи,
- 3 бали — захист лабораторної роботи.

Календарний контроль базується на поточній рейтинговій оцінці. Умовою позитивної атестації є поточний рейтинг студента не менше 50% від максимально можливого, тобто 30 балів.

Максимальна сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:  $R_C = 3 + 30 + 6 + 21 = 60$  балів.

### **Форма семестрового контролю – залік**

Остаточне оцінювання результатів навчання проводиться за стобальною рейтинговою шкалою. Залікова складова шкали дорівнює 40% від загальної рейтингової шкали, тобто  $R_3 = 40$  балів. Необхідною умовою допуску до заліку є повний конспект лекцій, виконана і захищена РГР. Для отримання заліку без проведення семестрового контролю («автоматом») потрібно мати стартовий рейтинг не менше 60 балів, а також виконані інші умови допуску до заліку.

Залікова робота складається з двох теоретичних запитань

#### *Критерії оцінювання заліку*

- повна відповідь (повне, безпомилкове розв'язування завдання)  $R_3 = 39 - 40$  балів;
- відповідь з певними несуттєвими помилками  $R_3 = 30 - 38$  бали;
- відповідь без суттєвих помилок, але не з повним обсягом потрібної інформації  $R_3 = 20 - 29$  бали;
- неповна відповідь з певними помилками  $R_3 = 12 - 19$  балів;
- неповна відповідь зі значною кількістю помилок, але які не є принциповими  $R_3 = 8 - 11$  балів;
- повністю неправильна відповідь або відсутність відповіді – 0 балів.

Сумарна кількість рейтингових балів визначається як  $R_P = R_C + R_3$

Таблиця відповідності сумарних рейтингових балів оцінкам за наступною шкалою:

Сумарна кількість балів $R_P$	Оцінка	Результат
95-100	Відмінно	зараховано
85-94	Дуже добре	
75-84	Добре	
65-74	Задовільно	
60-64	Достатньо	
Менше 60	Незадовільно	Не зараховано
Менше 30	Не допущено	Не допущено

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором кафедри електромеханіки ФЕА, д.т.н. Васьковським Ю.М.  
Ухвалено кафедрою електромеханіки ФЕА (протокол № 11 від 24.06.2021 р.)  
Погоджено Методичною комісією ФЕА (протокол № 11 від 25.06.2021)