



ВИСОКОВОЛЬТНІ ВИПРОБУВАЛЬНІ УСТАНОВКИ

Силабус освітнього компонента

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський професійний)</i>
Галузь знань	<i>14 «Електрична інженерія»</i>
Спеціальність	<i>141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»</i>
Освітня програма	<i>Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси</i>
Статус дисципліни	<i>Обов'язкова (нормативна)</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>Всього 6 кредитів ECTS / 180 годин; аудиторних – 108 год: лекції – 90 годин; практичні заняття – 18 годин; самостійна робота – 72 години</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	<i>2,5 лекцій (5 години) 2,5 рази на тиждень 1 практичне заняття (2 години) 1 раз на тиждень</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н, доцент, Проценко Олександр Ростиславович, apro54@ukr.net Практичні заняття: к.т.н, доцент, Проценко Олександр Ростиславович, apro54@ukr.net</i>
Розміщення курсу	<i>https://classroom.google.com/c/NTg2NTg5MDY3ODAx?cjc=6rnlsj</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Силабус освітнього компонента «Високовольтні випробувальні установки» складено відповідно до освітньої програми підготовки магістрів «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси» спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Метою навчальної дисципліни є формування та закріплення у студентів наступних компетентностей: ФК-11. Здатність оцінювати показники надійності та ефективності функціонування електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних об'єктів та систем; ФК17. Здатність проектувати та розробляти випробні та спеціалізовані високовольтні трансформатори та генератори постійної високої напруги, ємнісні високовольтні генератори імпульсних напруг та імпульсних струмів.; ФК18. Здатність запроваджувати комплексний контроль технічного стану ізоляції різноманітного високовольтного обладнання енергосистеми, включаючи трансформатори, реактори, ізолятори.

Предметом вивчення дисципліни: - випробувальні установки для генерування високих напруг постійного струму, змінного струму та імпульсного струму. Методи розрахунків елементів такого обладнання.

Програмні результати навчання, на формування та покращення яких спрямована дисципліна:
ПРН02. Відтворювати процеси в електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах при їх комп'ютерному моделюванні.

ПРН07. Володіти методами математичного та фізичного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.

ПРН22. Використовувати сучасні методи моніторингу та діагностування стану ізоляції високовольтного електрообладнання в електричних системах та мережах, електричних станціях та підстанціях, на об'єктах альтернативної енергетики.

ПРН23. Обслуговувати та експлуатувати високовольтне випробувальне електро- устаткування, вимірювальне обладнання, а також обробляти результати вимірювань.

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

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти освітніми компонентами "Техніка високих напруг", «Електрична частина станцій та підстанцій», «Теоретичні основи електротехніки», «Ізоляція електротехнічного обладнання», «Діагностування стану електротехнічного обладнання».

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Випробування на змінній напрузі. Випробні та спеціалізовані трансформатори

Тема 2.1. Призначення генераторів та основні схеми високовольтних випрямлячів.

Тема 1.1. Вимоги до основних електричних параметрів

Тема 1.2. Випробні трансформатори.

Тема 1.3. Спеціалізовані трансформатори.

Розділ 2. Випробування на постійній напрузі. Генератори постійної високої напруги

Тема 2. 2. Каскадні генератори

Тема 2.3. Електростатичні генератори

Розділ 3. Випробування на імпульсній напрузі. Ємнісні накопичувачі і генератори імпульсних

напруг

Тема 3.1. Схеми ємнісних накопичувачів і генераторів імпульсних напруг

Тема 3.2. Аналіз розрядного контуру генератора та наближений розрахунок розрядних та фронтових опорів

Тема 3.3. Вплив параметрів об'єкту та розрядного контуру на форму імпульсу.

Тема 3.4. Спеціальні види генераторів імпульсних напруг

Розділ 4. Ємнісні генератори імпульсних струмів

Тема 4.1. Загальні характеристики та розрахунок генераторів

Тема 4.2. Узгодження генератора з навантаженням.

Тема 4.3. Генератори комутаційних імпульсів.

Розділ 5. Електрофізичні установки.

Тема 5.1. Малоіндуктивні генератори імпульсної напруги.

Розділ 6. Установки резонансного типу для випробувань кабелів з ізоляцією з зшитого поліетилену змінною напругою.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні інформаційні ресурси:

1. СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007 Норми випробування електрообладнання (нова редакція 2020).
2. Техніка високих напруг. Розрахунок і конструювання електричної ізоляції: Навч. посібник / А.Г.Гурін , В.В.Рудаков. – Х.: Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ», 2014. – 192 с.
3. Високовольтні випробувальні установки: Методичні вказівки до курсового проектування для студентів спеціальності 7.090604, 8.090604 "Техніка і електрофізика високих напруг" / Уклад.: Б.М. Кондра, С.А. Соколовський, В.І. Хомініч, К.: НТУУ «КПІ», 2010, 59.
4. Василець С.В., Василець К.С. Техніка високих напруг: навчальний посібник. [Електронне видання]. – НУВГП, 2018. – 187 с.

Додаткові інформаційні ресурси:

1. Техніка і електрофізика високих напруг: Навч. посібник / За ред. В.О.Бржезицького та В.М.Михайлова. – Харків: НТУ „ХПІ” – Торнадо, 2005. – 930 с.
2. Adolf J.Schwab. Hochspannungs messtechnik mexxgerate und messverfahren. Springer – Verlag, Heidelberg. 1981.

3. M.Beyer, W.Boeck, K.Moller, W.Zaengel. Hochspannungstechnik. Theoretische und praktische Grundlagen. Springer – Verlag, Heidelberg. 1986.
4. Partial discharge measurements. IEC, Doc. 60270, Geneva, 1999.
5. E.Kuffel, W.S Zaengl, J.Kuffel. High Voltage Engineering. Newnes. 1995.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

<i>Назва теми лекції та перелік основних питань</i>
Розділ 1. Випробування на змінній напрузі. Випробувальні та спеціалізовані трансформатори
Тема 1.1. Загальні вимоги до випробувальних та спеціалізованих трансформаторів.
Лекція 1. Випробувальні трансформатори. Вимоги, які ставляться до випробувальних трансформаторів. Конструкції випробувальних трансформаторів.
Лекція 2. Вимоги до індуктивності намагнічування. Вимоги до індуктивності розсіяння та її розрахунок.
Лекція 3. Зниження індуктивності розсіяння за допомогою зрівнювальних обмоток.
Лекція 4. Їмність обмоток трансформаторів. Вплив ємності та індуктивності розсіяння обмоток імпульсного трансформатора на форму вихідного сигналу.
Лекція 5. Розрахунок ємності обмоток трансформатора. Вимірювання ємності обмоток трансформатора.
Лекція 6. Каскадне з'єднання трансформаторів. Регулювання та стабілізація напруги на зажимах трансформатора.
Лекція 7. Робота випробувальних та спеціалізованих трансформаторів на резонансне навантаження.
Лекція 8. Випробування шунтуючих реакторів у режимі резонансу струмів. Випробування шунтуючих реакторів у режимі резонансу напруг
Лекція 9. Спеціалізовані трансформатори. Резонансні трансформатори високої частоти. Трансформатор на зв'язаних L-C контурах. Імпульсний трансформатор з обмотками з одножильного кабеля. Конструкції резонансних трансформаторів.
Розділ 2. Випробування на постійній напрузі. Генератори постійної високої напруги.
Лекція 10. Загальні відомості щодо генераторів. Схеми високовольтних випрямлячів та помножувачів. Схема однонапівперіодного випрямлення. Схеми двонапівперіодного випрямлення.
Лекція 11. Схеми випрямлення з помноженням напруги.
Лекція 12. Схеми подвоєння напруги. Схема потроєння напруги.
Лекція 13. Каскадні генератори постійної високої напруги. Класична схема каскадного генератора.
Лекція 14. Методика визначення амплітуди пульсацій і середнього значення падіння напруги. Вплив паразитних ємностей на вихідну напругу генераторів.
Лекція 15. Схема А.К.Вальтера і В.Д Сінельникова. Схема Попкова. Симетрична схема генератора.
Лекція 16. Визначення амплітуди пульсації і середнього значення падіння напруги.
Лекція 17. Симетрична схема Гельперна. Схема Уокера-Петерса.
Лекція 18. Циклічні каскадні випрямні установки.
Лекція 19. Трифазні каскадні випрямлячі.
Лекція 20. Динамітрон. Каскадні випрямлячі з індуктивною розв'язкою за напругою. Випрямлячі з ізольованим сердечником трансформатора.
Лекція 21. Трансформаторно-випрямні пристрої. Електростатичні генератори.
Розділ 3. Випробування на імпульсній напрузі. Ємнісні накопичувачі і генератори імпульсних напруг.

Тема 3.1. Принцип дії та схеми генераторів
Лекція 22. Конструкції генераторів. Класична схема Маркса. Пряма, обернена схеми.
Лекція 23. Схема Маргера. Симетричні схеми.
Тема 3.2. Аналіз розрядного контура генератора та наближений розрахунок розрядних та фронтових опорів
Лекція 24. Аналітичне розв'язання системи диференційних рівнянь для схеми заміщення генератора.
Тема 3.3. Вплив параметрів об'єкту та розрядного контуру на форму імпульса
Лекція 25. Вплив індуктивності та ємності розрядного контуру генератора на форму імпульса.
Лекція 26. Генератори з перезарядкою конденсаторів, (Фітча), Генератори з багатозазорними розрядниками.
Лекція 27. Розміщення ГІН у високовольтному залі
Розділ 4. Генератори імпульсних струмів
Тема 4.1. Загальні характеристики генераторів.
Лекція 28. Розрахунок генератора імпульсних струмів
Лекція 29 Аналітичне розв'язання системи рівнянь для схеми заміщення розрядного контуру генератора.
Лекція 30. Інтеграл питокої та повної дії струму.
Лекція 31. Особливості розв'язання рівнянь схеми заміщення при врахуванні комутуючих елементів.
Лекція 32. Узгодження генератора з навантаженням.
Тема 4.2. Генератори з шунтуванням конденсаторів. Нагромаджувачі з узгоджувальним трансформатором.
Лекція 33. Оптимізація параметрів генератора у залежності від параметрів розрядного контура.
Тема 4.3. Генератори комутаційних імпульсів.
Лекція 34. Основні параметри комутаційних імпульсів напруги
Лекція 35. Схеми генераторів комутаційних імпульсів
Лекція 36. Для розрахунку форми імпульсу напруги в залежності від параметрів схеми.
Розділ 5. Електрофізичні установки.
Тема 5.1. Малоіндуктивні генератори імпульсної напруги.
Лекція 37. Принципові схеми
Лекція 38. Імпульсні конденсатори
Лекція 39. Кабелі
Лекція 40. Комутуючі пристрої
Лекція 41. Конструктивне виконання ГІТ. Розрахунок параметрів ланцюга розряду ГІТ та магнітних сил
Лекція 42. Малоіндуктивні генератори імпульсних напруг. Призначення малоіндуктивних ГІН
Лекція 43. Кріплення струмопровідних шин та розрахунок електродинамічних сил.
Розділ 6. Установки резонансного типу для випробувань кабелів з ізоляцією з зшитого поліетилену змінною напругою.
Лекція 44. Використання послідовного резонансу в випробних установках для випробувань кабелів на високій змінній напрузі.
Лекція 45. Моделювання роботи випробних установок з послідовним резонансним контуром.

Практичні заняття

№ з/п	Назва практичної роботи	Кількість ауд. годин
1	Система схемотехнічного моделювання електротехнічних аналогових пристроїв в системі MultiSim. Можливості системи MultiSim.	2
2	Дослідження однонапівперіодного напівпровідникового випрямляча.	2
3	Дослідження двонапівперіодного напівпровідникового випрямляча з відведенням від середньої точки.	2
4	Дослідження двонапівперіодного напівпровідникового мостового випрямляча	2
5	Колоквіум	2
6	Дослідження однофазного однонапівперіодного подвоювача напруги	2
7	Однокаскадна схема подвоєння напруги	2
8	Дослідження каскадної схеми множення напруги.	2
9	Колоквіум	2

6. Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи
1	Підготовка до практичних занять та проведення розрахунків за темою заняття
2	Підготовка до МКР
3	Підготовка до заліку

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.
- обов'язковою умовою допуску до екзамену є
 - відпрацювання, оформлення протоколу та захист лабораторних робіт з дисципліни;
- правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних та лабораторних 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 лабораторних робіт: допускається як індивідуальний захист лабораторних робіт, так і колективний (у складі бригади, склад якої визначають на першому лабораторному занятті). В обох випадках оцінюють індивідуальні відповіді кожного студента.
- політика дедлайнів та перескладань:
 - несвоечасний захист лабораторних робіт передбачають зменшення максимального балу зазначеного у РСО за відповідний контрольний захід до 75 %. Мінімальний бал не змінюється.
 - перескладання захисту лабораторних робіт не передбачено;
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів:
 - заохочувальні бали не входять до основної шкали РСО, а їх сума не перевищує 10% стартової шкали. Заохочувальні бали нараховують за участь у факультетських та університетських олімпіадах, участь у 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: МКР, практичні 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 за виконання усіх практичних робіт.

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

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

Практичні роботи	МКР
60	40

Виконання та захист практичних робіт

Ваговий бал – 10.

Максимальна кількість балів за всі практичні роботи – 10 балів * 6 = 60 балів.

Критерії оцінювання

- якісна підготовка до практичної роботи (наявність протоколу, знання мети роботи, знання основних теоретичних положень, які перевіряються), активна участь у виконанні досліджень, правильна та охайна обробка результатів, чіткі відповіді на контрольні питання за темою роботи
 $(0,9..1)*10 = 9...10$ балів;
- добра підготовка до практичної роботи, активна участь у виконанні досліджень, несуттєві помилки при обробці результатів, неповні відповіді на контрольні питання –
 $(0,89..0,75)*10 = 7...8$ балів;
- недостатня підготовка до практичної роботи, пасивна участь у виконанні досліджень, значні помилки при обробці результатів, часткові відповіді на контрольні питання –
 $(0,74..0,6)*10 = 6$ балів;
- неготовність до практичної роботи, пасивна участь у виконання досліджень, неякісна обробка результатів, невірні відповіді на контрольні питання за темою роботи – 0 балів.

Модульна контрольна робота

МКР проводиться двічі за семестр. Завдання кожної контрольної роботи складається з двох теоретичних питань.

Ваговий бал кожної МКР – 20 балів.

Максимальний бал за МКР – 1 * 20 = 20 балів.

Критерії оцінювання

- правильна та повна відповідь на теоретичне питання – $(0,9..1)*18...20$ балів;
- правильна але не повна відповідь на теоретичне питання – $(0,89..0,75)*15...17$ балів;
- неправильна відповідь на теоретичне питання – $(0,74..0,6)*12...14$ балів;
- неправильна відповідь на теоретичне питання – 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.

Із загального розрахунку максимальна сума балів, що може бути отримана студентом протягом семестру складає:

$$R_D = 60 + 40 = 100 \text{ балів}$$

За результати навчальної роботи за перші 7 тижнів студент може набрати 50 балів. На першому календарному контролі (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 25 балів.

За результати 13 тижнів навчальної роботи студент максимально може набрати 100 балів. На другому календарному контролі (14-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 50 балів.

Необхідною умовою отримання допуску до екзамену є зарахування всіх практичних робіт та стартовий рейтинг не менше 60% від 100 балів, тобто 60 балів.

Форма семестрового контролю – залік

- За умови виконання вимог допуску до семестрового контролю та отримання не менше 60 балів стартового рейтингу студент має право переведення балів стартового рейтингу у підсумкову оцінку за дисципліну.

- За умови виконання вимог допуску до семестрового контролю, або якщо студент отримав 60 чи більше балів та хоче підвищення оцінки за дисципліну, він зобов'язаний писати залікову контрольну роботу, при цьому стартовий рейтинг студента скасовується, а оцінка за залікову контрольну роботу є підсумковою за дисципліну.

– **Залікове завдання** містить 3 залікових питання. Перше залікове питання оцінюється максимально у 34 бали, друге та третє залікові питання оцінюються максимально у 33 бали кожне.

– Критерії оцінювання **першого** залікового питання:

– «відмінно», повна відповідь (не менше 95% потрібної інформації) – 32-34 балів;

– «дуже добре», майже повна відповідь на питання у обсязі не менш, ніж 85% потрібної інформації, або незначні неточності – 29-33 балів;

– «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 25-28 балів;

– «задовільно», неповна відповідь у обсязі не менш ніж 65% потрібної інформації та деякі несуттєві помилки – 22-24 балів;

– «достатньо», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі суттєві помилки) – 20-21 балів;

– «незадовільно», незадовільна відповідь – 0 балів.

Критерії оцінювання **другого та третього** залікових питань:

– «відмінно», повна відповідь (не менше 95% потрібної інформації) – 32 – 33 балів,

– «дуже добре», майже повна відповідь на питання у обсязі не менш, ніж 85% потрібної інформації, або незначні неточності – 29-31 балів;

– «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 25-28 балів;

– «задовільно», неповна відповідь у обсязі не менш ніж 65% потрібної інформації та деякі несуттєві помилки – 22-24 балів;

– «достатньо», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі суттєві помилки) – 20 – 21 балів;

– «незадовільно», незадовільна відповідь – 0 балів.

Остаточний рейтинг студента складає суму балів, отриманих за виконання всіх завдань, передбачених РСО, або за виконання залікового завдання.

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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

У разі дистанційного навчання студент несе повну відповідальність за наявність у нього технічних засобів комунікації (інтернет, е-пошта, комп'ютер, веб-камера, відповідне програмне забезпечення тощо), необхідних для вивчення дисципліни.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцент кафедри теоретичної електротехніки, к.т.н, доцент, Проценко Олександр Ростиславович

Ухвалено кафедрою теоретичної електротехніки ФЕА (протокол № _10_ від 24.05.2023р.

Погоджено Методичною комісією факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол № 10 від 22.06.2023р.)