



# ВИМІРЮВАННЯ ВИСОКИХ НАПРУГ І ВЕЛИКИХ СТРУМІВ

## 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>Вибіркова</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 – 72 год: лекції – 36 годин; лабораторні заняття – 36 годин самостійна робота – 108 години</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен, МКР</i>
Розклад занять	<i>1,0 лекція (2 години) 1,0 рази на тиждень 1 лабораторне заняття (4 години) 1 раз на тиждні</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н, доцент, Проценко Олександр Ростиславович, <a href="mailto:apro54@ukr.net">apro54@ukr.net</a> Практичні заняття: к.т.н, доцент, Проценко Олександр Ростиславович, <a href="mailto:apro54@ukr.net">apro54@ukr.net</a></i>
Розміщення курсу	<i><a href="https://classroom.google.com/c/NTg4Mzc4NjlzMTU1?cjc=ekyg54v">https://classroom.google.com/c/NTg4Mzc4NjlzMTU1?cjc=ekyg54v</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Силабус освітнього компонента «Вимірювання високих напруг і великих струмів» 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: ЗК02. Здатність до використання інформаційних і комунікаційних технологій. ЗК03. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. ФК08. Здатність демонструвати обізнаність та вміння використовувати нормативно-правові актів, норми, правила й стандарти в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці. ФК13. Здатність запроваджувати комплексний контроль технічного стану ізоляції різноманітного високовольтного обладнання енергосистеми, включаючи трансформатори, реактори, ізолятори.

**Предметом** вивчення дисципліни: - ізоляція та ізоляційні системи високовольтного обладнання, ефективні методи випробувань електрообладнання електричних мереж; обладнання для проведення випробувань електроустаткування, особливості його застосування в лабораторії та в процесі експлуатації; сучасні методики обробки та аналізу результатів випробувань електроустаткування.

**Програмні результати навчання, на формування та покращення яких спрямована дисципліна:** РН03. Аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексах і системах. РН12. Демонструвати розуміння нормативно-правових актів, норм, правил та стандартів в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. РН16. Використовувати сучасні методи моніторингу та діагностування стану ізоляції високовольтного електрообладнання в електричних системах та мережах, електричних станціях та підстанціях, на об'єктах альтернативної енергетики. РН17. Обслуговувати та експлуатувати високовольтне випробувальне електроустаткування, 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. Вимірювання високих постійних, імпульсних напруг, максимального та діючого значення змінної напруги.**

Тема 1.1. Вимірювання максимальних значень постійних, імпульсних та змінних напруг за допомогою розрядників

1.1.1. Кульові розрядники. Розрядники з однорідним полем. Стрижневі розрядники.

Тема 1.2. Вимірювання високої постійної напруги та діючого значення змінної напруги.

1.2.1. Високовольтні резистори та подільники напруги.

1.2.2. Електростатичні вольтметри.

Тема 1.3. Вимірювання діючого значення змінної високої напруги.

1.3.1. Додаткові конденсатори та ємнісні подільники напруги

1.3.2. Ємнісні трансформатори напруги

1.3.3. Індуктивні трансформатори напруги.

Тема 1.4. Вимірювання максимальних значень змінних та імпульсних високих напруг.

1.4.1. Вимірювання максимального значення напруги по Хубу та Фортеске.

1.4.2. Пристрої для вимірювання максимальних значень напруги із застосуванням подільників.

1.4.3. Пристрої для вимірювання імпульсних напруг із застосуванням подільників напруги.

Тема 1.5. Вимірювання високих постійних напруг та миттєвих значень змінної напруги роторними кіловольтметрами.

Тема 1.6. Абсолютні вимірювання напруги.

**Розділ 2. Вимірювання високих імпульсних напруг за допомогою подільників напруги.**

Тема 2.1. Вимірювальні ланцюги та їх передавальні характеристики.

2.1.1. Визначення передавальних характеристик шляхом вимірювання частотних характеристик

2.1.2. Визначення передавальних характеристик шляхом вимірювання реакції системи на прямокутний імпульс

2.1.3. Імпульсні генератори в схемах вимірювання реакції системи на прямокутний імпульс

2.1.4. Час наростання та час реакції на прямокутний імпульс

2.1.5. Визначення похибок вимірювання максимального значення зрізаного на фронті імпульса

2.1.6. Обернений вплив подільника напруги на джерело високої напруги

Тема 2.2. Омичні подільники напруги.

2.2.1. Омичний подільник напруги з паралельним з'єднанням елементів та без урахування паразитних індуктивностей та ємностей

2.2.2. Омичний подільник напруги з урахування розподілених індуктивностей та ємностей

Тема 2.3. Ємнісні подільники напруги

2.3.1. Ємнісний подільник напруги та вплив елементів його підключення на характеристики

2.3.2. Ємнісний подільник напруги з зосередженою ємністю на стороні високої напруги

2.3.3. Ємнісний подільник напруги з роззосередженими ємностями на стороні високої напруги

2.3.4. Плече низької напруги ємнісного подільника напруги

2.3.5. Узгодження кабелю в плечі низької напруги ємнісного подільника напруги.

**Розділ 3. Вимірювання великих імпульсних струмів**

Тема 3.1. Шунти

3.1.1. Конструкції шунтів

3.1.2. Визначення характеристик шунтів

Тема 3.2. Пояс Роговського

3.2.1. Конструкції поясу Роговського та його характеристики

Тема 3.3. Застосування ефекту Холла в пристроях вимірювання великих струмів

3.3.1. Конструкції датчиків на основі ефекту Холла

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

##### ***Основні інформаційні ресурси:***

1. Вимірювання високих напруг і великих струмів / Навчальний посібник для студентів спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціалізації «Техніка та електрофізика високих напруг» // Укладачі: Бржезицький В. О., Проценко О. Р., Лапоша М. Ю. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 133 с.

2. Приймальні та експлуатаційні випробування електроустановок: Навч. посібник / Уклад.: В.Б.Абрамов, В.О.Бржезицький, О.Р.Проценко, під ред. Бржезицького В.О. –К.:НТУУ «КПІ», 2015. – 235 с.

3. СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007 Норми випробування електрообладнання (нова редакція 2020).

4. СОУ-Н ЕЕ 43.101:2009. Приймання, застосування та експлуатація трансформаторних масел. Норми оцінювання якості. (Діючий на 2022р.)

##### ***Додаткові інформаційні ресурси:***

1. СОУ-Н ЕЕ 20.577:2007 (Діючий на 2022р.) Технічне діагностування електрообладнання та контактних з'єднань електроустановок і повітряних ліній електропередачі засобами інфрачервоної техніки., ДП НТУКЦ «АсЕл-Енерго», Київ, 2007. (Нормативний документ Міністерства палива та енергетики України).

2. Техніка і електрофізика високих напруг: Навч. посібник / За ред. В.О.Бржезицького та В.М.Михайлова. – Харків: НТУ „ХПІ” – Торнадо, 2005. – 930 с.

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
	<b>Розділ 1. Вимірювання високих постійних, імпульсних напруг, максимального та діючого значення змінної напруги.</b>
1	Тема 1.1. Вимірювання максимальних значень постійних, імпульсних та змінних напруг за допомогою розрядників Лекція №1. Кульові розрядники. Розрядники з однорідним полем. Стрижневі розрядники.
2	Тема 1.2. Вимірювання високої постійної напруги та діючого значення змінної напруги. Лекція №2. Високовольтні резистори та подільники напруги.
3	Лекція №3. Електростатичні вольтметри.
4	Тема 1.3. Вимірювання діючого значення змінної високої напруги. Лекція 4. Додаткові конденсатори та ємнісні подільники напруги Ємнісні трансформатори напруги. Індуктивні трансформатори напруги.
5	Тема 1.4. Вимірювання максимальних значень змінних та імпульсних високих напруг. Лекція 5.. Вимірювання максимального значення напруги по Хубу та Фортеске. Пристрої для вимірювання максимальних значень напруги із застосуванням подільників.
6	Лекція 6. Пристрої для вимірювання імпульсних напруг із застосуванням подільників напруги.
7	Тема 1.5. Вимірювання високих постійних напруг та миттєвих значень змінної напруги роторними кіловольтметрами. Лекція 7. Вимірювання високих постійних напруг та миттєвих значень змінної напруги роторними кіловольтметрами
8	Тема 1.6. Абсолютні вимірювання напруги. Лекція 8. Абсолютні вимірювання напруги.
	<b>Розділ 2. Вимірювання високих імпульсних напруг за допомогою подільників напруги.</b>
9	Тема 2.1. Вимірювальні ланцюги та їх передавальні характеристики. Лекція 9. Визначення передавальних характеристик шляхом вимірювання частотних характеристик. Визначення передавальних характеристик шляхом вимірювання реакції системи на прямокутний імпульс.
10	Лекція 10. Імпульсні генератори в схемах вимірювання реакції системи на прямокутний імпульс. Час наростання та час реакції на прямокутний імпульс. Визначення похибок вимірювання максимального значення зрізаного на фронті імпульса. Обернений вплив подільника напруги на джерело високої напруги.
11	Тема 2.2. Омичні подільники напруги. Лекція 11. Омичний подільник напруги з паралельним з'єднанням елементів та без урахування паразитних індуктивностей та ємностей. Омичний подільник напруги з урахування розподілених індуктивностей та ємностей.
12	Тема 2.3. Ємнісні подільники напруги Лекція 12.. Ємнісний подільник напруги та вплив елементів його підключення на характеристики
13	Лекція 13.Ємнісний подільник напруги з зосередженою ємність на стороні високої напруги. Ємнісний подільник напруги з розсосередженими ємностями на стороні високої напруги.
14	Лекція 14. Плече низької напруги ємнісного подільника напруги. Узгодження кабелю в плечі низької напруги ємнісного подільника напруги.
	<b>Розділ 3. Вимірювання великих імпульсних струмів</b>
	Тема 3.1. Шунти
15	Лекція 15.. Конструкції шунтів.
16	Лекція 16.. Визначення характеристик шунтів.
	Тема 3.2. Пояс Роговського.

17	Лекція 17.. Конструкції поясу Роговського та його характеристики.
18	Тема 3.3. Застосування ефекту Холла в пристроях вимірювання великих струмів Лекція 18.. Конструкції датчиків на основі ефекту Холла.

### **Лабораторні заняття**

<b>№ з/п</b>	<b>Назва лабораторної роботи</b>	<b>Кількість ауд. годин</b>
1	Вступне заняття	2
2	Дослідження кіловольтметрів	4
3	Дослідження вимірювача високої напруги постійного та змінного струмів ВВН-0,8-100М	4
4	Дослідження високовольтного осцилографа ОВ-2	4
5	Дослідження трансформатора ИОМ-100/25	4
6	Дослідження цифрового осцилографа OWON XDS3000	4
7	Визначення амплітудно-частотної характеристика широкосмугового подільника напруги.	4
8	Визначення полоси пропускання імпульсних вимірювальних систем шляхом реєстрації реакції на прямокутний імпульс.	4
9	Дослідження генераторів синхронізації реєстрації високовольтних генераторів з вимірювальними системами.	4
10	Коллоквиум	2
	Всього:	36

## **6. Самостійна робота студента**

<b>№з/п</b>	<b>Вид самостійної роботи</b>
1	Підготовка до лабораторних занять та проведення розрахунків за первинними даними, отриманими на лабораторних заняттях
2	Підготовка до МКР
4	Підготовка до екзамену

## **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:

- несвоєчасний 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, лабораторні роботи.

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

**Семестровий контроль:** екзамен

**Умови допуску до семестрового контролю:** мінімально позитивна оцінка за виконання усіх лабораторних робіт.

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

- в виконання та захист шести практичних робіт;
- виконання та захист чотирьох лабораторних робіт;
- виконання однієї контрольної роботи у рамках модульної контрольної роботи (МКР).

Лабораторні роботи	МКР	Рекз
40	20	40

### Виконання та захист лабораторних робіт

Ваговий бал – 5.

Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи – 5 балів \* 8 = 40 балів.

Критерії оцінювання

- якісна підготовка до лабораторної роботи (наявність протоколу, знання мети роботи, знання основних теоретичних положень, які перевіряються), активна участь у виконанні досліджень, правильна та охайна обробка результатів дослідів, чіткі відповіді на контрольні питання за темою роботи  $-(0,9..1)*5 = 5,0$  балів;
- добра підготовка до лабораторної роботи, активна участь у виконанні досліджень, несуттєві помилки при обробці результатів дослідів, неповні відповіді на контрольні питання  $(0,89..0,75)*5 = 4,0$  бали;
- недостатня підготовка до лабораторної роботи, пасивна участь у виконанні досліджень, значні помилки при обробці результатів дослідів, часткові відповіді на контрольні питання –  $(0,74..0,6)*5 = 3,0$  балів;
- неготовність до лабораторної роботи, пасивна участь у виконання досліджень, неякісна обробка результатів, невірні відповіді на контрольні питання за темою роботи – 0 балів.

### Модульна контрольна робота

Модульна контрольна робота складається з двох частин. Завдання контрольної роботи складається з двох теоретичних питань.

Ваговий бал МКР – 10 балів.

Максимальний бал за МКР – 1 \* 10 = 10 балів.

#### Критерії оцінювання

- правильна та повна відповідь на теоретичне питання –  $(0,9..1)*10=9...10$  балів;
- правильна але не повна відповідь на теоретичне питання –  $(0,89..0,75)*10 = 7...8$  балів;
- неправильна відповідь на теоретичне питання –  $(0,74..0,6)*10=5...6$  балів;
- неправильна відповідь на теоретичне питання, розв'язання задачі з принциповими помилками – 0 балів.

Календарний контроль базується на поточній рейтинговій оцінці. Умовою позитивної атестації є значення поточного рейтингу студента не менше 50% від максимального можливого на час атестації.

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

$$R_D = 20+30+10 = 60 \text{ балів}$$

За результати навчальної роботи за перші 7 тижнів студент може набрати 30 балів. На першому календарному контролі (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 15 балів.

За результати 13 тижнів навчальної роботи студент максимально може набрати 60 балів. На другому календарному контролі (14-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 30 балів.

Необхідною **умовою отримання допуску до екзамену** є зарахування всіх практичних та лабораторних робіт та стартовий рейтинг **не менше 60%** від 60 балів, тобто 36 балів.

#### Форма семестрового контролю – екзамен

Екзаменаційна робота складається з двох завдань.

Кожне завдання включає два теоретичних питання з різних розділів програми навчального курсу.

#### Критерії оцінювання екзамену

Максимальний рейтинг екзамену - 40 балів.

Рейтинг екзамену 38 – 40 балів – студент дав чіткі та вичерпні відповіді на теоретичні питання.

Рейтинг екзамену 34 – 37 балів – дав чіткі відповіді на теоретичні питання.

Рейтинг екзамену 30 – 33 балів – відповідаючи на теоретичні питання, студент припускається окремих помилок, але може їх виправити за допомогою викладача.

Рейтинг екзамену 26 – 29 балів – при відповіді на теоретичні питання студент частково відповідає на екзаменаційні питання, знає визначення основних понять дисципліни, в цілому розуміє фізичних процесів.

Рейтинг екзамену 24 – 25 балів – показує знання основних понять і визначень дисципліни, але недостатньо розуміє фізичну суть процесів. Відповіді непослідовні і нечіткі.

Рейтинг екзамену 0 – у відповіді на теоретичні питання студент припускається суттєвих помилок, проявляє нерозуміння фізичної суті процесів, не може виправити помилки за допомогою викладача. Відповіді некоректні, а в деяких випадках не відповідають суті поставленого питання.

Остаточний рейтинг студента складає сума балів отриманих за семестр та екзамен.

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 електроенергетехніки та автоматики (протокол № 10 від 22.06.2023р.)