



# ПЕРЕНАПРУГИ ТА ЇХ ОБМЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

## 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>Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси</i>
Статус дисципліни	<i>Обов'язкова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>90 годин / 3 кредити ЄКТС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	<i><a href="http://rozklad.kpi.ua">http://rozklad.kpi.ua</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доцент, Троценко Євгеній Олександрович, <a href="mailto:trotsenko-fea@i111.kpi.ua">trotsenko-fea@i111.kpi.ua</a>, +380442048577 Лабораторні: к.т.н., доцент, Троценко Євгеній Олександрович, <a href="mailto:trotsenko-fea@i111.kpi.ua">trotsenko-fea@i111.kpi.ua</a>, +380442048577</i>
Розміщення курсу	<i><a href="https://classroom.google.com/c/NTU5MjUwMjlyNTc4?cjc=t5xfxea">https://classroom.google.com/c/NTU5MjUwMjlyNTc4?cjc=t5xfxea</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Програму дисципліни "Перенапруги та їх обмеження в електричних мережах" складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра "Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси" за спеціальністю 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка".

**Метою навчальної дисципліни** є формування у студентів наступних здатностей: ЗК6 – Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми; ЗК8 – Готовність та здатність високоякісно виконувати роботу як самостійно так і колективно та приймати рішення в межах своїх професійних знань та компетенцій; ФК2 – Здатність вирішувати практичні задачі із залученням апарату вищої математики, загальної фізики та теоретичної електротехніки; ФК3 – Здатність вирішувати практичні задачі, пов'язані з роботою електричних систем та мереж, електричної частини станцій і підстанцій та техніки високих напруг; ФК12 – Готовність до надзвичайних (аварійних) ситуацій в електроенергетичних та електромеханічних системах; ФК14 – Здатність перевіряти технічний стан, організовувати обслуговування та ремонт електроенергетичних та електротехнічних систем, пристроїв, комплексів та устаткування традиційної та альтернативної енергетики; ФК15 – Здатність використовувати нові технології в електроенергетиці, брати участь в модернізації та реконструкції високовольтного електричного обладнання, електричних машин та апаратів, електричних пристроїв, систем та комплексів традиційної та альтернативної енергетики.

**Предметом навчальної дисципліни** є вивчення питань обмеження внутрішніх перенапруг, які виникають в електричних мережах високої та надвисокої напруги.

**Програмні результати навчання, на покращення яких спрямована дисципліна:** ЗН5 – Знання основ теорії електромагнітного поля та методи розрахунку електричних кіл; ЗН14 – Знання методів і порядку проектування електричних апаратів; ЗН15 Знання електрофізичних процесів і явищ, що відбуваються в електричних апаратах; ЗН19 – Знання факторів, що призводять до виникнення незворотних процесів у високовольтній ізоляції електричних мереж та систем, обладнання електричних станцій та підстанцій, об'єктів альтернативної енергетики; ЗН21 – Знання методики експериментальних досліджень електрофізичних процесів та явищ, що відбуваються у високовольтній ізоляції електричних мереж та систем, високовольтному електрообладнанні електричних станцій та підстанцій.

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

У відповідності із структурно-логічною схемою навчання, наведеній у освітній програмі, вивчення навчальної дисципліни «Перенапруги та їх обмеження в електричних мережах» базується на попередніх знаннях з таких дисциплін: «Теоретичні основи електротехніки», «Електричні мережі та системи», «Електрична частина станцій та підстанцій», «Релейний захист та автоматизація енергосистем». Дисципліна «Перенапруги та їх обмеження в електричних мережах» не пов'язана з подальшими дисциплінами освітньої програми.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Дисципліна складається з одного розділу, а саме:

### **Розділ 1. Перенапруги в електричних мережах високої та надвисокої напруги**

Тема 1. Внутрішні перенапруги в електричних мережах.

Тема 2. Перенапруги та їх обмеження в дальніх електропередачах.

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

### **Основні інформаційні ресурси:**

1. Бржезицький В.О., Ісакова, А.В., Рудаков В.В. та інші. Техніка і електрофізика високих напруг. Навчальний посібник. За редакцією В.О. Бржезицького та В.М. Михайлова. – Харків: НТУ "ХПІ" – Торнадо, 2005. – 930 с. ISBN 966-635-561-2.
2. Agrawal K. C., "Industrial Power Engineering and Applications Handbook", Newnes Power Engineering Series, 2001. – 973 p. ISBN 978-0-7506-7351-8
3. Martinez-Velasco, J. A., ed. "Power system transients: parameter determination", CRC press, 2017. – 632 p. ISBN 978-1-4200-6529-9
4. V. Cooray. Lightning protection. Edited by Vernon Cooray. - The institution of engineering and technology, 2009. – 1070 p. ISBN 978-1-84919-106-7.
5. Перенапруги та їх обмеження в електричних мережах. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Є. О. Троценко, Ю. В. Перетятко. – Електронні текстові дані (1 файл: 824,3 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 39 с. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47791>

### **Додаткові інформаційні ресурси:**

6. Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія». <http://energy.kpi.ua/issue/archive>
7. Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського». <http://visnikkrnu.kdu.edu.ua/arhiv.php>

8. *Перенапруги та їх обмеження в електричних мережах. Ч. 1: Атмосферні перенапруги і грозозахист [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» / НТУУ «КПІ» ; уклад. В. О. Бржезицький, С. А. Соколовський. – Електронні текстові дані (1 файл: 11,4 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/1615>*
9. *Перенапруги та їх обмеження в електричних мережах. Ч. 2: Внутрішні перенапруги і їх обмеження [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» / НТУУ «КПІ» ; уклад. В. О. Бржезицький, С. А. Соколовський. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,76 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/1616>*
10. *Перенапруги та їх обмеження в дальніх передачах [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» / НТУУ «КПІ» ; уклад. В. О. Бржезицький, С. А. Соколовський. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,13 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/1608>*
11. *Micro-Cap 12. Electronic Circuit Analysis Program. Reference Manual (2018). Sunnyvale: Spectrum Software, pp. 1-1098. Available at: <http://www.spectrum-soft.com/download/rm12.pdf>.*

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1.	<b><i>Тема 1. Внутрішні перенапруги в електричних мережах. Режими нейтралі електричних систем і їх вплив на рівні перенапруг. Вступ. Дві стадії перехідного процесу. Усталений режим. Системи з глухим заземленням нейтралі. Використання автоматичного повторного ввімкнення. Література: [2], [3], [8], [9].</i></b>
2.	<b><i>Стаціонарні перенапруги при замиканнях фази на землю в системах з ізольованою нейтраллю. Заземлення нейтралі через дугогасний реактор. Конструкції реакторів та схеми їх увімкнення в електричну мережу. Література: [2], [3], [9].</i></b>
3.	<b><i>Перенапруги перехідного режиму при короткому замиканні фази на землю. Перенапруги при дуговому замиканні фази на землю і погасанні дуги при переході через нуль високочастотного струму. Література: [2], [3], [6], [9].</i></b>
4.	<b><i>Перенапруги при дуговому замиканні фази на землю і погасанні дуги при переході через нуль струму промислової частоти. Обмеження швидкості відновлення напруги на дуговому проміжку. Література: [2], [3], [6], [9].</i></b>
5.	<b><i>Ємнісний ефект на промисловій частоті в лініях електропередавання. Чвертьхвильовий і півхвильовий резонанси. Література: [2], [3], [6], [9], [10].</i></b>
6.	<b><i>Ферорезонансні явища в електричних мережах. Ферорезонансні перенапруги при ізольованій нейтралі приймального трансформатора. Структура електропередач, в яких можливе явище перехідного резонансу. Ввімкнення незбудженого ненавантаженого силового трансформатора під синусоїдну напругу. Література: [3], [9], [10].</i></b>
7.	<b><i>Перенапруги при ввімкненні та відключенні ненавантажених ліній і конденсаторів. Перенапруги у перехідному процесі ліквідації короткого замикання в ЛЕП. Стандартизація перехідної відновлювальної напруги. Література: [2], [3], [6], [7].</i></b>
8.	<b><i>Перенапруги внаслідок обриву малого індуктивного струму. Перенапруги внаслідок відключення ненавантажених трансформаторів і двигунів. Література: [2], [3], [6], [7].</i></b>
9.	<b><i>Погашування дуги підживлювального струму у трифазній ЛЕП та вибір компенсаційного реактора. Література: [2], [3].</i></b>

10.	<b>Тема 2. Перенапруги та їх обмеження в дальніх електропередачах.</b> <b>Основні характеристики дальніх електропередач.</b> Дальні електропередачі надвисоких напруг як елемент енергетичної системи. Література: [2], [3], [10].
11.	<b>Режими роботи дальніх електропередач.</b> Основні схеми роботи дальніх електропередач. Векторні діаграми ліній електропередачі середньої довжини та дальніх електропередач. Література: [2], [3], [10].
12.	<b>Стоячі хвилі в довгих лініях електропередачі та перенапруги ємнісного ефекту.</b> Вплив коронного розряду на перенапруги. Вплив параметрів ліній електропередачі на джерела енергії та перенапруги ємнісного ефекту. Література: [2], [3], [10].
13.	<b>Шунтувальні реактори як джерело реактивної енергії.</b> Нові схеми та параметри дальніх електропередач. Залежність перенапруг в електричних мережах від місця розміщення шунтувальних реакторів. Література: [2], [3], [10].
14.	<b>Кут передачі дальніх електропередач у різних режимах роботи.</b> Література: [2], [3], [10].
15.	<b>Установки поздовжньої компенсації.</b> Їх призначення та принцип дії. Конструкції установок поздовжньої компенсації та місце їх розміщення. Література: [2], [3], [10].
16.	<b>Види комутацій.</b> Перенапруги при вмиканні дальньої електропередачі. Перенапруги при відмиканні лінії та при її автоматичному повторному вмиканні. Автоматичне повторне ввімкнення. Література: [2], [3], [8].
17.	<b>Проблема координації ізоляції і перенапруг.</b> Розрахункова кратність перенапруг та міцність ізоляції у відносних одиницях. Статистичний метод координації ізоляції. Принцип дії та конструкції вимикачів для ліній електропередачі високої та надвисокої напруги. Література: [1], [3], [4].
18.	<b>Методи обмеження внутрішніх перенапруг у дальніх електропередачах.</b> Література: [2], [3], [4], [6], [7], [8].

#### Практичні (семінарські) заняття

В навчальному плані практичні (семінарські) заняття з даного кредитного модуля не передбачені.

#### Лабораторні роботи (комп'ютерний практикум)

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість аудиторних годин
1.	Комп'ютерний практикум №1. Однофазне замикання на землю в мережі з ізолюваною нейтраллю. Література: [5], [11].	2
2.	Комп'ютерний практикум №2. Однофазне замикання на землю в мережі з дугогасним реактором. Література: [5], [11].	2
3.	Комп'ютерний практикум №3. Однофазне замикання на землю в мережі з глухозаземленою нейтраллю. Література: [5], [11].	2
4.	Комп'ютерний практикум №4. Обрив фази з заземленням провода в мережі з ізолюваною нейтраллю. Література: [5], [11].	2
5.	Комп'ютерний практикум №5. Обрив фази з заземленням провода в мережі з дугогасним реактором. Література: [5], [11].	2
6.	Комп'ютерний практикум №6. Обрив фази з заземленням провода в мережі з глухозаземленою нейтраллю. Література: [5], [11].	2
7.	Комп'ютерний практикум №7. Відмова вимикача в одній з фаз в мережі з ізолюваною нейтраллю. Література: [5], [11].	2
8.	Комп'ютерний практикум №8. Відмова вимикача в одній з фаз в мережі з дугогасним реактором. Література: [5], [11].	2
9.	Комп'ютерний практикум №9. Відмова вимикача в одній з фаз в мережі з глухозаземленою нейтраллю. Література: [5], [11].	2



## 6. Самостійна робота студента

№	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання	Кількість годин самостійної роботи студента
1	Підготовка до лекційних занять	10,0
2	Підготовка до лабораторних занять (комп'ютерного практикуму)	18,0
3	Підготовка до модульної контрольної роботи	2,0
4	Підготовка до заліку	6,0

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентами:

- 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 / семінарських заняттях.
- правила поведінки на заняттях: студент/аспірант має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на практичних / семінарських заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на Google-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;
- політика дедлайнів та перескладань: роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на 60% від можливої максимальної кількості балів за вид діяльності балів. Перескладання робіт відбувається за наявності поважних причин (наприклад, хвороба);
- 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 соціальних 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 (РСО)

Рейтингова оцінка з кредитного модуля – кількісна оцінка за багатобальною шкалою рівня засвоєння студентом певного кредитного модуля з урахуванням якості навчальної діяльності протягом семестру. Розподіл навчальних годин кредитного модуля здійснюється відповідно до робочих навчальних планів підготовки бакалаврів за спеціальністю 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" (Факультет електроенерготехніки та автоматики).

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він/вона отримує за:

- 1) модульну контрольну роботу;
- 2) виконання лабораторних робіт (комп'ютерного практикуму).

**Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання**

#### 8.1. Модульна контрольна робота.

Ваговий бал: 10. Максимальна кількість балів за одну модульну контрольну роботу: 10 балів.

Критерії оцінювання:

- Повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації): +9...+10 балів;
- Достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності): +8 балів.
- Неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки): +6...+7 балів.
- Незадовільна відповідь (менше 60% потрібної інформації або значні помилки) або відсутність відповіді: 0 балів.

#### **8.1.1. Перелік запитань до модульної контрольної роботи**

1. Перенапруги при вмиканні лінії.
2. Перенапруги при автоматичному повторному вмиканні лінії.
3. Перенапруги при відключенні ненавантажених трансформаторів і реакторів.
4. Міжфазні комутаційні перенапруги.
5. Обмеження комутаційних перенапруг шунтувальними резисторами в вимикачах.
6. Вплив реакторів і трансформаторів напруги, приєднаних до лінії на розвиток комутаційних перенапруг.
7. Резонансні перенапруги в довгих лініях на робочій частоті.
8. Обмеження резонансних перенапруг на довгих лініях за допомогою реакторів.
9. Резонансні перенапруги в довгих лініях при несиметричних коротких замиканнях.
10. Резонансні перенапруги при несиметричних комутаціях фаз лінії.
11. Резонансні явища в колах з нелінійними індуктивностями.
12. Резонанс на високих та низьких гармоніках.
13. Ферорезонансні перенапруги в електропередачах.
14. Ферорезонансні перенапруги в мережах з ізольованою нейтраллю.
15. Резонансні перенапруги в системах з дугогасними котушками

#### **8.2. Лабораторні роботи (комп'ютерний практикум).**

Ваговий бал: 10. Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи (комп'ютерний практикум) становить:  $9 \cdot 10 = 90$  балів.

Критерії оцінювання:

- висока підготовка та виконання лабораторної роботи (комп'ютерного практикуму), а саме наявність протоколу, знання мети роботи, знання основних теоретичних положень, які перевіряються, активна участь у виконанні досліджень, відповіді на контрольні запитання за темою роботи: +9...+10 балів;
- добра підготовка та виконання лабораторної роботи (комп'ютерного практикуму), активна участь у виконанні досліджень, неповні відповіді на контрольні запитання за темою роботи або незначні неточності: +8 балів;
- недостатня підготовка та виконання лабораторної роботи (комп'ютерного практикуму), пасивна участь у виконанні досліджень, неповні відповіді на контрольні запитання за темою роботи та деякі помилки: +6...+7 балів.
- неготовність або невиконання лабораторної роботи (комп'ютерного практикуму), пасивна участь у виконанні досліджень, невірні відповіді на контрольні запитання за темою роботи або значні помилки: 0 балів.

Загальна сума балів за поточний та семестровий контроль переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею:

**Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:**

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

### **9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

Для виконання завдань до лабораторних робіт (комп'ютерного практикуму) студентам необхідно завантажити з офіційного сайту програму Micro-Cap 12.2.0.5 за посиланням <http://www.spectrum-soft.com/download.shtm>. У 2019 році компанія-розробник Spectrum Software оголосила про закриття бізнесу та зробила на своєму сайті усі професійні версії Micro-Cap вільними для безкоштовного завантаження.

#### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

*Складено к.т.н., доцентом кафедри теоретичної електротехніки ФЕА Троценком Є.О.*

*Ухвалено кафедрою теоретичної електротехніки ФЕА (протокол № 12 від 25.05.2022 р.).*

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