



СПЕЦІАЛЬНІ ПИТАННЯ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ДІЇ БЛИСКАВОК

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</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>180 годин / 6 кредитів ECTS</i> <i>аудиторних – 72 години: лекції – 54 години; практичних – 18 годин;</i> <i>самостійна робота – 108 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доцент, Троценко Євгеній Олександрович, trotsenko-fea@iit.kpi.ua, +380442048577</i>
Розміщення курсу	<i>https://classroom.google.com/c/NDkwNDY3NzU5NTE2</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Електромагнітний імпульс від розряду блискавки виникає під час електричного розряду в атмосфері Землі та означає створення і поширення електромагнітного випромінювання великої напруженості та широкого спектра частот протягом дуже короткого часу. Як і кожен провідник із електричним струмом блискавка створює магнітне поле, його джерелом є прискорювані в електричному полі електрони що формують струм розряду. Це поле існує приблизно стільки ж часу, скільки триває розряд блискавки, тобто має імпульсний характер. Якщо у зоні дії цього поля буде перебувати будь-яка електрична схема або мережа, наприклад, лінія електропередачі, телефонна лінія, електропроводка будинку, телевізійна антена тощо, у ній буде індукована електрична напруга, що може значно перевищувати граничні значення, в результаті чого пристрої, що підключені до цих мереж можуть зазнати ушкоджень. Тому, під час гроз можуть спостерігатися випадки виходу з ладу різних електротехнічних пристроїв, хоча блискавки безпосередньо не потрапляли в лінію електропередачі. З огляду на актуальність цієї проблеми, магістру з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки в рамках окремої дисципліни доцільно ознайомитися із сучасними уявленнями про захист від електромагнітного імпульсу, а також від прямої дії блискавки.

Програму навчальної дисципліни "Спеціальні питання захисту від електромагнітної дії блискавок" складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки магістра "Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси" за спеціальністю 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка".

Метою навчальної дисципліни є посилення та закріплення у студентів наступних програмних компетентностей: ЗК07 – Здатність виявляти та оцінювати ризики; ФК02 – Здатність розробляти та впроваджувати заходи з підвищення надійності, ефективності та безпеки при проектуванні та експлуатації обладнання та об'єктів електроенергетики, електротехніки та електромеханіки; ФК11 – Здатність забезпечувати електромагнітну сумісність систем керування та впроваджувати заходи обмеження небезпечних перенапруг на елементах високовольтної ізоляції електричних мереж станцій та підстанцій.

Предметом навчальної дисципліни є вивчення засобів захисту від вторинних проявів блискавки, спрямованих на зменшення впливу електромагнітних імпульсів на електротехнічні пристрої.

Програмні результати навчання, на покращення яких спрямована дисципліна: РН02 – Окреслювати план заходів з підвищення надійності, безпеки експлуатації та продовження ресурсу електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання і відповідних комплексів і систем; РН13 – Виявляти основні чинники та технічні проблеми, що можуть заважати впровадженню сучасних методів керування електроенергетичними, електротехнічними та електромеханічними системами; РН15. Організувати роботу та проводити координацію діяльності по забезпеченню електромагнітної сумісності технічних засобів на об'єктах електроенергетики.

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

Вивчення дисципліни «Спеціальні питання захисту від електромагнітної дії блискавок» базується на базових знаннях з загальної фізики, теоретичних основ електротехніки, промислової електроніки, а також електричних мереж та систем.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Струм та електромагнітне полі під час розряду блискавки.

Розділ 2. Зовнішня система блискавкозахисту.

Розділ 3. Внутрішня система блискавкозахисту.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні інформаційні ресурси:

1. Захист споруд та електричних систем від впливів блискавок. Природа та параметри блискавки [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Є. О. Троценко, Ю. В. Перетятко. – Електронні текстові дані (1 файл: 4.71 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 115 с. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57033>

2. V. Cooray. Lightning electromagnetics. Edited by Vernon Cooray. - The institution of engineering and technology, 2012. – 976 p. ISBN 978-1-84919-216-3.

3. V. Cooray. Lightning protection. Edited by Vernon Cooray. - The institution of engineering and technology, 2009. – 1070 p. ISBN 978-1-84919-106-7.

4. V. Cooray. The Lightning Flash. 2nd revised edition. Edited by Vernon Cooray. - The institution of engineering and technology, 2014. – 896 p. ISBN 978-1-84919-692-5.

5. H. D. Betz, U. Schumann, P. Laroche. Lightning: principles, instruments and applications: review of modern lightning research. – Springer, 2008. – 641 p. ISBN: 978-1-4020-9078-3.

Додаткові інформаційні ресурси:

6. Lightning protection guide. 3rd updated edition. DEHN + SÖHNE. - DEHN + SÖHNE GmbH + Co.KG., 2014. – 488 p.

7. Lightning and surge protection for wind turbines. DEHN + SÖHNE. - DEHN + SÖHNE GmbH + Co.KG., 2018. – 30 p.

8. Lightning and surge protection for rooftop photovoltaic systems. DEHN + SÖHNE. - DEHN + SÖHNE GmbH + Co.KG., 2015. – 28 p.

9. *Захист від блискавок споруд і електронного обладнання [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології», спеціальності «Техніка і електрофізика високих напруг» / НТУУ «КПІ» ; уклад. В. О. Шостак. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,33 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. - Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/1005>*

10. 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.*

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
	Розділ 1. Струм та електромагнітне поле під час розряду блискавки
1	Лекція 1. Вступне заняття. Предмет і мета курсу. Параметри блискавки, що представляють інженерний інтерес. Механізми електризації грозової хмари. Електричні поля, створювані грозовими хмарами. Література: [1], [2], [4], [10].
2	Лекція 2. Грозові дні, грозові години та щільність спалахів блискавки до землі. Глобальна грозова активність. Кількість ударів блискавки і проміжок часу між ударами у спалахах блискавки між хмарою та землею. Література: [1], [4], [5], [10].
3	Лекція 3. Класифікація спалахів блискавки. Спалах блискавки у хмарах. Спалах блискавки між хмарою та землею. Література: [3], [4], [5], [10].
4	Лекція 4. Попередні розрядні процеси. Лідерний та стримерний механізм розряду. Лідер блискавки. Перехід від стримера до лідера та ініціація висхідного та низхідного лідера. Швидкість ступінчастих лідерів. Швидкість стріловидних лідерів. Література: [1], [2], [6], [9], [10].
5	Лекція 5. Критичне значення напруженості електричного поля, необхідне для поширення стримера. Вплив коронного розряду на поширення лідера. Електричні поля, створені ступінчастими лідерами. Електричні поля, створені стріловидними лідерами. Література: [3], [4], [10].
6	Лекція 6. Зворотний удар. Параметру струму першого на наступного зворотних ударів блискавки. Розсіювання енергії при зворотних ударах і спалахах блискавки і потенціал у грозових хмарах. Література: [1], [3], [4], [10].
7	Лекція 7. Вимірювання генерованих блискавкою електричних і магнітних полів. Виявлення спалахів блискавки. Системи локації блискавок. Література: [1], [2], [3], [5], [10].
8	Лекція 8. Методи наближеного розрахунку електричних і магнітних полів, генерованих струмом зворотного удару блискавки поверхню землі з кінцевою провідністю. Спрощені вирази для розрахунку електричних і магнітних полів. Література: [2], [4], [10].
	Розділ 2. Зовнішня система блискавкозахисту
9	Лекція 9. Вступ. Принципи захисту споруди від прямого удару блискавки. Блискавкоприймачі. Призначення блискавкоприймачів. Розташування системи блискавкоприймачів на споруді. Література: [3], [5], [6], [9].
10	Лекція 10. Розташування системи блискавкоприймачів за допомогою методу рухомої сфери. Розташування системи блискавкоприймачів за допомогою методу сіток. Розташування системи блискавкоприймачів за методом захисного кута. Література: [3], [5], [6], [9].
11	Лекція 11. Порівняння різних методів розташування системи блискавкоприймачів. Конструктивне виконання системи блискавкоприймачів. Література: [3], [5], [6], [9].
12	Лекція 12. Системи струмовідводів. Призначення струмовідводів. Розташування струмовідводів на споруді. Конструктивне виконання системи струмовідводів. Будівлі з консольною балкою. Література: [3], [5], [6], [9].
13	Лекція 13. Приєднання та з'єднання струмовідводів. Розподіл струму в струмовідводах. Література: [3], [5], [6], [9].

14	Лекція 14. Системи заземлення. Загальні принципи улаштування заземлення. Різні приклади конструктивного виконання системи заземлення. Захисне заземлення електроустановок. Штучне зниження питомого опору ґрунту. Корозійна агресивність ґрунту. Література: [3], [5], [6], [9].
15	Лекція 15. Системи заземлення на великих територіях. Заземлювачі в кам'янистих і піщаних ґрунтах. Література: [3], [5], [6], [9].
16	Лекція 16. Напруги дотику та крокова напруга. Ураження блискавкою внаслідок напруги дотику. Ураження блискавкою внаслідок крокової напруги. Заходи захисту від крокової напруги. Заходи захисту від напруги дотику. Література: [3], [5], [6], [9].
Розділ 3. Внутрішня система блискавкозахисту	
17	Лекція 17. Пошкодження через удар блискавки та стрибки напруги. Ураження блискавкою в міських районах. Наслідки ураження блискавкою. Література: [3], [4], [6].
18	Лекція 18. Захисні заходи. Зрівнювання потенціалів відповідно з IEC 60364-4-41 і IEC 60364-5-54. Зрівнювання потенціалів для захисту систем низької напруги. Зрівнювання потенціалів для захисту телекомунікаційних систем та систем передачі даних. Література: [3], [5], [6], [9].
19	Лекція 19. Концепція зон блискавкозахисту. Основні заходи захисту: заземлення, магнітне екранування та зрівнювання потенціалів. Література: [3], [5], [6], [9].
20	Лекція 20. Магнітне екранування. Екранування кабелю. Мережа зрівнювання потенціалів. Зрівнювання потенціалів на межах зон блискавкозахисту. Координація захисних заходів на різних межах різних зон блискавкозахисту. Література: [3], [5], [6], [9].
21	Лекція 21. Захист електричних і електронних систем всередині конструкції від електромагнітного імпульсу від розряду блискавки. Перевірка та обслуговування захисту від електромагнітного імпульсу від розряду блискавки. Література: [2], [3], [4].
22	Лекція 22. Захист від перенапруги для енергосистем: системи електропостачання (в рамках концепції зон захисту від блискавки згідно з IEC 62305-4). Література: [3], [5], [6], [9].
23	Лекція 23. Технічні характеристики пристроїв захисту від імпульсної перенапруги. Рівень захисту від перенапруги, номінальний та максимальний розрядний струм, максимальна робоча напруга, час спрацювання, клас захисту, тип заземлення, тощо. Література: [3], [5], [6], [9].
24	Лекція 24. Застосування пристроїв захисту від імпульсної перенапруги в системах з різним заземленням (TN-S, TN-C, TNC-S, TT, IT). Література: [3], [5], [6], [9].
25	Лекція 25. Захист телекомунікаційних систем від перенапруги. Захист від блискавки телекомунікаційних опорю. Література: [3], [5], [6], [9].
26	Лекція 26. Захист вітрових турбін від блискавки та перенапруги. Небезпека внаслідок дії блискавки. Статистика ураження блискавкою вітрових турбін. Література: [3], [6], [7].
27	Лекція 27. Заключне заняття. Захист фотоелектричних систем від блискавки та перенапруги. Захист сонячних електростанцій від блискавки та перенапруги. Захист систем відеоспостереження від перенапруги. Вибір пристроїв захисту від імпульсної перенапруги. Підсумки. Література: [3], [6], [8].

Лабораторні роботи

№	Короткий зміст практичного заняття
1	Лабораторна робота. Безпечні відстані в системах блискавкозахисту. Література: [9].
2	Лабораторна робота. Вплив форми об'єкту та верхівки блискавкоприймача на характеристики зон блискавкозахисту. Література: [9].
3	Лабораторна робота. Вплив індуктивності об'єкту та блискавкоприймачів на характеристики зон блискавкозахисту. Література: [9].
4	Лабораторна робота. Вплив об'єктів, які захищають, на характеристики зон одно- та двострижневих систем блискавкозахисту. Література: [9].
5	Лабораторна робота. Дослідження впливу умов заземлення на характеристики блискавкозахисту об'єктів. Література: [9].

6. Самостійна робота студента

№	Вид самостійної роботи	Кількість годин самостійної роботи студента
1	<i>Підготовка до лекційних занять</i>	54
2	<i>Підготовка до лабораторних робіт</i>	18
3	<i>Підготовка до модульної контрольної роботи</i>	6
4	<i>Підготовка до екзамену</i>	30

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 PCO 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 PCO 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;*
- *правила захисту індивідуальних завдань: захист індивідуальних завдань з дисципліни здійснюється індивідуально у формі презентації перед аудиторією на останньому практичному занятті;*
- *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 (PCO)

Поточний контроль: *модульна контрольна робота, робота на практичних заняттях.*

Календарний контроль: *проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог робочої програми навчальної дисципліни (силабусу). Умови успішного проходження календарного контролю: повне виконання робочої програми навчальної дисципліни (силабусу) на дату контролю, що передбачає роботу на практичних заняттях.*

Семестровий контроль: *проводиться у вигляді екзамену. Умови допуску до семестрового контролю: повне виконання робочої програми навчальної дисципліни (силабусу), що передбачає виконання модульної контрольної роботи, роботу студента на практичних заняттях та стартовий рейтинг не менше 30 балів.*

Критерії оцінювання лабораторних робіт

Ваговий бал: 9. Максимальна кількість балів, яку можна отримати за роботу на всіх практичних заняттях становить 45 балів.

- Відмінна підготовка до лабораторної роботи (розуміння мети заняття, 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 – 8-9 балів;*
- Добра підготовка до лабораторної роботи, активна участь у виконанні досліджень, несуттєві помилки при обробці результатів дослідів, неповні відповіді на контрольні питання – 7-8 балів;*
- Недостатня підготовка до лабораторної роботи, пасивна участь у виконанні досліджень, значні помилки при обробці результатів дослідів, частково правильні відповіді на контрольні питання – 5-6 балів;*
- Неготовність до лабораторної роботи, пасивна участь у виконанні досліджень, неякісна обробка результатів, невірні відповіді на контрольні питання за темою роботи – 0 балів.*

Критерії оцінювання модульної контрольної роботи

Ваговий бал: 15. Максимальна кількість балів, яку можна отримати за виконання модульної контрольної роботи становить 15 балів.

- Повне розкриття відповіді на теоретичне питання. Розкрито не менше 90% потрібної інформації – 14-15 балів;*
- Достатньо повне розкриття відповіді на теоретичне питання. Розкрито не менше 75% потрібної інформації або допущено незначні неточності – 12-13 балів;*
- Неповне розкриття відповіді на теоретичне питання. Розкрито не менше 60% потрібної інформації та зроблено деякі помилки – 9-11 балів;*
- Незадовільне розкриття відповіді на теоретичне питання. Відповідь не розкрита. Розкрито менше 60% потрібної інформації або зроблено значні помилки – 0 балів.*

Критерії оцінювання екзамену

Ваговий бал: 40. Максимальна кількість балів, яку можна отримати на екзамені становить 40 балів.

- Повне розкриття відповіді на завдання з екзаменаційного білету, повна відповідь, не менше 95% потрібної інформації (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 38-40 балів;*
- Достатньо повна відповідь на завдання з екзаменаційного білету, не менше 85% потрібної інформації або незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 36-37 балів;*
- Достатньо повна відповідь на завдання з екзаменаційного білету, не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 30-35 балів;*
- Неповна відповідь на завдання з екзаменаційного білету, не менше 65% потрібної інформації та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 26-29 балів;*
- Неповна відповідь на завдання з екзаменаційного білету, не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 24-28 балів;*
- Неправильна відповідь (завдання виконане із суттєвими недоліками) – 0 балів.*

Остаточний рейтинг студента складається з суми балів отриманих протягом семестру та на екзамені.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
<i>95-100</i>	<i>Відмінно</i>
<i>85-94</i>	<i>Дуже добре</i>
<i>75-84</i>	<i>Добре</i>
<i>65-74</i>	<i>Задовільно</i>
<i>60-64</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)

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 к.т.н., доцентом кафедри теоретичної електротехніки ФЕА Троценком Євгенієм Олександровичем, к.т.н., доцентом кафедри теоретичної електротехніки ФЕА Перетятко Юлією Вікторівною.

Ухвалено кафедрою теоретичної електротехніки ФЕА (протокол № 10 від 24.05.2023 р.).

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