



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та природокористування

Навчально-науковий інститут автоматики, кібернетики та
обчислювальної техніки

Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих
технологій

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з науково-педагогічної,
методичної та виховної роботи



_____ О.А. Лагоднюк
«_____» _____ 20__ р.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

04-03-85

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Program of the Discipline

«Техніка високих напруг»

HIGH VOLTAGE ENGINEERING

спеціальність
speciality

141 - Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

141 - Electrical power engineering,
electrotechnics and electromechanics

спеціалізація
specialization

Рівне – 2018



Робоча програма з дисципліни «Техніка високих напруг» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Рівне: НУВГП, 2018. – 14 с.

Розробник: Василюк С.В., докт. техн. наук, доцент, професор кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Робочу програму схвалено на засіданні кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Протокол від 04 вересня 2018 р. № 1.

Завідувач кафедри

д.т.н., проф. Древецький В.В.

Схвалено науково-методичною комісією за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Протокол від 04 вересня 2018 р. № 1.

Голова науково-методичної комісії

д.т.н., доц. Василюк С.В.



ВСТУП

Робоча програма навчальної дисципліни «Техніка високих напруг» розроблена на підставі освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», тимчасового стандарту вищої освіти та навчального плану підготовки фахівців за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (затверджено 29.06.2017р.). Вивченню дисципліни передують отримання компетентностей з таких дисциплін, як «Фізика», «Теоретичні основи електротехніки», «Електротехнічні матеріали», «Перехідні процеси в електроенергетиці». Дисципліна «Техніка високих напруг» є основою для оволодіння компетентностями з дисциплін «Системи електроспоживання», «Електрична частина станцій та підстанцій», проходження переддипломної практики, написання кваліфікаційної бакалаврської роботи.

Анотація

Для підвищення *енергоефективності* систем електропостачання необхідно забезпечити підвищення електричної міцності ізоляції силових енергетичних апаратів та ліній електропередачі, знизити витрати електроенергії під час транспортування, впровадити перспективні силові вимикачі з підвищеною комутаційною здатністю, розробити ефективні засоби боротьби з перенапругами тощо. В результаті вивчення дисципліни «Техніка високих напруг» здобувачі вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» мають оволодіти наступними компетентностями: уміння досліджувати перехідні процеси в електроенергетичних системах; уміння досліджувати фізичні явища і процеси в електрообладнанні; здатність використовувати знання в галузі перехідних процесів для попередження та ліквідації аварійних ситуацій в електроенергетичних системах та об'єктах.

Ключові слова: ізоляція, пробій, частковий розряд, перехідні процеси, перенапруги, грозозахист, електричний розряд, вакуум, бар'єрна ізоляція.

Abstract

In order to increase the energy efficiency of power supply systems, it is necessary to increase the electrical strength of insulation of power machinery and transmission lines, to reduce electricity consumption during transportation, to introduce advanced power switches with high switching capacity, to develop effective means of controlling overvoltages etc. Graduates of specialty 141 "Electrical power engineering, electrotechnics and electromechanics", as a result of discipline "High voltage engineering" studying, must master the following competencies: ability to study transients in power systems; ability to investigate physical phenomena and processes in electrical equipment; the ability to use knowledge in the field of transients for the prevention and liquidation of emergencies in power systems and objects.

Key words: isolation, breakdown, partial discharge, transients, overvoltages, lightning protection, electric discharge, vacuum, barrier insulation.



1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни	
		Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Кількість кредитів – 4	Галузь знань 14 - Електрична інженерія	Нормативна	
Модулів - 1	Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» Спеціалізація _____	Рік підготовки:	
Змістовних модулів – 3		3-й	4-й
Індивідуальне науково-дослідне завдання: _____		Семестр	
Загальна кількість годин - 120		6-й	8-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3,1 самостійної роботи студента – 4,9	Рівень вищої освіти: бакалавр	Лекції	
		28 год.	2 год.
		Практичні, семінарські	
		_____ год	_____ год
		Лабораторні	
		18 год.	6 год.
		Самостійна робота	
		74 год.	112 год.
		Індивідуальне завдання:	
		_____ год	
Вид контролю:			
екз.	екз.		

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 38% до 62%

для заочної форми навчання – 7% до 93%



2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є вивчення основ теорії електрофізичних процесів, що відбуваються в електротехнічних матеріалах при дії на них високих напруг та сильних електромагнітних полів, способів протидії негативному впливу грозових і комутаційних перенапруг на функціональні характеристики ізоляційних конструкцій високовольтного електрообладнання, координації і методів профілактичного контролю і випробування ізоляції різних типів енергетичного електрообладнання.

Завдання:

- вивчити взаємозв'язок між електричними властивостями основних видів ізоляції, рівнями перенапруг, що впливають на неї, і характеристиками захисної апаратури;
- вивчити електрофізичні процеси в ізоляції при її експлуатації;
- вміти оцінювати електричну міцність ізоляційних конструкцій;
- засвоїти основні методи й норми випробування ізоляції високовольтного електрообладнання;
- вивчити сучасні засоби боротьби з перенапругами у високовольтних електромережах.

В результаті вивчення даного курсу **студент повинен:**

знати:

- особливості розповсюдження електричного розряду в різних середовищах (вакуумі, газах, рідких та твердих діелектриках);
- умови виникнення перенапруг в електричних мережах та способи захисту;
- характеристики високовольтних ізоляційних конструкцій;
- високовольтні випробування та вимірювання.

вміти:

- використовувати знання в галузі електроенергетики для математичного моделювання електроенергетичних об'єктів, систем та процесів в них;
- використовувати знання й практичні навички в галузі механіки, фізики та електротехніки для дослідження фізичних явищ і процесів в електрообладнанні;
- використовувати знання, уміння й навички в галузі теорії й практики функціонування електричних станцій, мереж, систем автоматичного керування для управління режимами електроенергетичних об'єктів та систем;
- використовувати знання в галузі сталих та перехідних процесів для попередження та ліквідації аварійних ситуацій в електроенергетичних системах та об'єктах.



3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1 - Електричний розряд у вакуумі, газах, рідких та твердих діелектриках

Тема 1. Загальні відомості щодо техніки високих напруг. Мета і задачі курсу

Стандартні рівні напруги в різних країнах. Сфери використання високої напруги. Визначення поняття «техніка високих напруг». Характеристика ізоляції електроустановок. Пробій та перекриття ізоляції, їх наслідки в мережах з різними типами нейтралі. Причини виникнення перенапруг. Мета, предмет та задачі курсу.

Тема 2. Електричний розряд у вакуумі

Визначення вакууму, приклади використання діелектричних властивостей вакууму. Стадії розряду у вакуумі. Вакуумний пробій. Поверхня електродів та її вплив на вакуумний пробій. Поняття щодо автоелектронної емісії. Аналіз типів емісійних центрів, що призводять до пробію вакуумного проміжку. Критерій вакуумного пробію. Ініціювання вакуумного пробію плазмою. Електричний вибух металу. Вибухова електронна емісія. Струм вакуумної іскри.

Тема 3. Електричний розряд у газах

Загальні відомості щодо розряду в газах. Аналіз залежності струму і напруги на газовому проміжку в процесі розряду. Процес виникнення розряду в газі. Електронна лавина. Типи розрядів у газах. Таунсендівський розряд, закон Пашена. Стрімний розряд. Корона та довгі іскри, ультракорона. Струм іскри та зниження напруги на проміжку. Вибухова емісія електронів. Моделі опору іскри.

Тема 4. Електричний розряд у рідких діелектриках

Класифікація рідких діелектриків. Основні чинники, що впливають на пробій рідких діелектриків. Вплив вологи та мікродомішок на пробій. Вплив тиску. Вплив температури. Вплив тривалості дії напруги. Вплив геометрії електродів, відстані між ними, матеріалу та полярності на пробивну напругу. Бар'єрний ефект.

Тема 5. Електричний розряд у твердих діелектриках

Види пробію твердого діелектрика. Фізичні явища в діелектрику при впливі електричного поля. Часткові розряди. Накопичення об'ємного заряду. Електролюмінесценція. Старіння твердих діелектриків.

Змістовий модуль 2 - Перенапруги в електричних мережах

Тема 6. Загальна характеристика перенапруг. Грозові перенапруги

Загальна характеристика перенапруг та засобів захисту від них. Блискавка як джерело грозових перенапруг, етапи утворення блискавки.

Тема 7. Грозозахист об'єктів електроенергетики

Блискавичники. Зони захисту блискавичників різних типів. Захисні апарати та пристрої. Захисні проміжки. Трубчасті розрядники. Довгоіскрові



розрядники. Вентильні розрядники. Магнітовентильні розрядники. Нелінійні обмежувачі перенапруг.

Тема 8. Комутаційні перенапруги в електричних мережах

Загальна характеристика комутаційних перенапруг. Перенапруги перехідного процесу при ввімкненні розімкненої лінії. Перенапруги перехідного процесу при автоматичному повторному ввімкненні. Перенапруги перехідного процесу при відключенні конденсаторів та ненавантажених ліній. Перенапруги перехідного процесу при відключенні великих струмів. Перенапруги при відключенні малих індуктивних струмів. Перенапруги перехідного процесу при переміжних замиканнях на землю. Обмеження комутаційних перенапруг. Основні принципи побудови захисту від комутаційних перенапруг. Класифікація заходів захисту. Кероване ввімкнення повітряної лінії. Програмоване ввімкнення лінії. Застосування резисторів у вимикачах. Нелінійні обмежувачі для захисту від перенапруг.

Тема 9. Квазістаціонарні перенапруги

Підвищення напруги в кінці розімкненої лінії. Усталені перенапруги при однофазних коротких замиканнях. Перенапруги промислової частоти при неповнофазних режимах роботи. Ферорезонансні перенапруги.

Змістовий модуль 3 - Високовольтні ізоляційні конструкції та випробувальні установки

Тема 10. Координація ізоляції. Ізоляція повітряних ліній електропередачі та відкритих розподільчих пристроїв

Координація ізоляції. Ізоляція повітряних ліній електропередачі. Лінійні ізолятори. Ізолятори та ізоляційні конструкції відкритого розподільчого пристрою. Ізоляційні конструкції з газовою ізоляцією.

Тема 11. Ізоляція силових трансформаторів. Силові конденсатори

Загальні відомості про ізоляцію силових трансформаторів. Конструкція ізоляції трансформаторів. Експлуатація ізоляції трансформаторів. Конструкція силових конденсаторів. Ізоляція силових конденсаторів.

Тема 12. Силові електричні кабелі. Ізоляція електричних машин високої напруги

Загальна характеристика силових кабелів. Основні конструкції кабелів високої напруги. Випробування ізоляції кабелів. Ізоляція електричних машин високої напруги. Випробування ізоляції електричних машин

Тема 13. Високовольтні випробувальні установки і методи проведення випробувань

Загальна характеристика випробувань. Випробувальні напруги промислової частоти. Випробувальні трансформатори і методи випробування ізоляції напругою промислової частоти. Випробувальні напруги комутаційних імпульсів.



4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	Денна форма					Заочна форма				
	Усього	у тому числі				Усього	у тому числі			
л		п	лаб	інд	ср		л	п	лаб	інд
Зм. модуль 1 - Електричний розряд у вакуумі, газах, рідких та твердих діелектриках										
Тема 1. Загальні відомості щодо техніки високих напруг. Мета і задачі курсу	6	2			4	9	1			8
Тема 2. Електричний розряд у вакуумі	10	2		2	6	11			2	9
Тема 3. Електричний розряд у газах	12	2		2	8	8				8
Тема 4. Електричний розряд у рідких діелектриках	6	2			4	8				8
Тема 5. Електричний розряд у твердих діелектриках	12	2		4	6	10			2	8
Разом за зм. модулем 1	46	10		8	28	46	1		4	41
Змістовий модуль 2 - Перенапруги в електричних мережах										
Тема 6. Загальна характеристика перенапруг. Грозові перенапруги	6	2			4	9	1			8
Тема 7. Грозозахист об'єктів електроенергетики	10	2		2	6	8			2	6
Тема 8. Комутаційні перенапруги в електричних мережах	18	4		4	10	12				12
Тема 9. Квазістаціонарні перенапруги	6	2			4	10				10
Разом за зм. модулем 2	40	10		6	24	39	1		2	36
Зм. модуль 3 - Високовольтні ізоляційні конструкції та випробувальні установки										
Тема 10. Координація ізоляції. Ізоляція повітряних ліній електропередачі та відкритих розподільчих пристроїв	12	2		4	6	8				8
Тема 11. Ізоляція силових трансформаторів. Силові конденсатори	8	2			6	8				8
Тема 12. Силові електричні кабелі. Ізоляція електричних машин високої напруги	8	2			6	8				8
Тема 13. Високовольтні випробувальні установки і методи проведення випробувань	6	2			4	11				11
Разом за зм. модулем 3	34	8		4	22	35				35
Усього годин	120	28		18	74	120	2		6	112



5. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	Дослідження електричної дуги при розмиканні контактів однієї фази силового вимикача	2	2
2	Дослідження вольт-амперної характеристики дуги полюса високовольтного вимикача	2	
3	Дослідження механізму часткового розряду в твердих діелектриках	4	2
4	Дослідження перехідних процесів в елементах електрообладнання при ударі блискавки	2	2
5	Дослідження комутаційних перенапруг при автоматичному повторному ввімкненні лінії	4	
6	Дослідження підвищення напруги в кінці розімкненої лінії	4	
	Разом	18	6

6. Самостійна робота

Самостійна робота є методом засвоєння студентом навчального матеріалу в час, вільний від обов'язкових навчальних занять. Самостійна робота студента над засвоєнням навчального матеріалу з навчальної дисципліни може виконуватися в бібліотеці, навчальних аудиторіях та в домашніх умовах.

Розподіл годин самостійної роботи для студентів денної форми навчання:

30 годин – опрацювання лекційного матеріалу, в тому числі:

15 годин – опрацювання матеріалу, що викладався на лекціях;

15 годин – опрацювання окремих питань, які не викладалися на лекціях;

24 годин – підготовка до лабораторних робіт, в тому числі:

12 годин – вивчення методичних вказівок перед проведенням лабораторної роботи;

12 годин – підготовка звітів з лабораторних робіт;

10 годин – підготовка до модульних контрольних робіт;

10 годин – підготовка до екзамена.



6.1 Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
Матеріал, що викладався на лекціях			
1	Загальні відомості щодо техніки високих напруг. Мета і задачі курсу	1	2
2	Електричний розряд у вакуумі	1	2
3	Електричний розряд у газах	2	4
4	Електричний розряд у рідких діелектриках	1	2
5	Електричний розряд у твердих діелектриках	1	2
6	Загальна характеристика перенапруг. Грозові перенапруги	1	2
7	Грозозахист об'єктів електроенергетики	1	2
8	Комутаційні перенапруги в електричних мережах	2	4
9	Квазістаціонарні перенапруги	1	2
10	Координація ізоляції. Ізоляція повітряних ліній електропередачі та відкритих розподільчих пристроїв	1	2
11	Ізоляція силових трансформаторів. Силові конденсатори	1	2
12	Силові електричні кабелі. Ізоляція електричних машин високої напруги	1	2
13	Високовольтні випробувальні установки і методи проведення випробувань	1	2
	Разом	15	30
Питання, які не викладалися на лекціях			
1	Вимірювання високих напруг	7	14
2	Електромагнітна сумісність у техніці високих напруг	8	16
	Разом	15	30

7. Методи навчання

Лекції читаються з використанням мультимедійних проекторів для демонстрації різноманітних схем, графіків діаграм, формул, технічних характеристик пристроїв, схем їх ввімкнення тощо. Під час лекцій проводиться дискусійне обговорення проблемних питань.

Лабораторні роботи виконуються з використанням віртуальних лабораторних стендів, зібраних з використанням програми MATLAB. Студенти отримують файли з моделями відповідних стендів для кожної лабораторної роботи.

8. Методи контролю

Для визначення рівня засвоєння студентами навчального матеріалу використовуються такі методи оцінювання знань:

- оцінювання за виконання лабораторних робіт;
- опитування при захисті лабораторних робіт;
- оцінювання при поточному контролі;
- підсумковий екзамен.

Усі форми контролю включено до 100-бальної шкали оцінювання.



9. Розподіл балів, які отримують студенти

Основними критеріями, що характеризують рівень компетентності студента при оцінюванні результатів поточного та підсумкового контролів, є:

- виконання всіх видів навчальної роботи, передбачені робочою програмою навчальної дисципліни;
- глибина і характер знань навчального матеріалу за змістом навчальної дисципліни, що міститься в основних та додаткових рекомендованих літературних джерелах;
- вміння аналізувати явища, які вивчаються, у їх взаємозв'язку і розвитку;
- характер відповідей на поставлені питання (чіткість, лаконічність, логічність, послідовність тощо);
- вміння застосовувати теоретичні положення під час розв'язання практичних задач;
- вміння аналізувати достовірність одержаних результатів.

Оцінювання результатів поточної роботи (завдань, що виконуються на лабораторних заняттях, ІНДЗ, результати самостійної роботи студентів) проводиться за такими критеріями:

- 0% - завдання не виконано;
- 40% - завдання виконано частково та містить суттєві помилки методичного або розрахункового характеру;
- 60% - завдання виконано повністю, але містить суттєві помилки у розрахунках або в методиці;
- 80% - завдання виконано повністю і вчасно, проте містить окремі несуттєві недоліки (розмірності, висновки, оформлення тощо);
- 100% - завдання виконано правильно, вчасно і без зауважень.

До іспиту допускаються студенти, які виконали навчальний план, тобто виконали і захистили усі лабораторні роботи.

Розподіл балів по темам для стаціонару:

Поточне тестування та самостійна робота													Підсумковий екзамен	Сума
Зм. модуль 1					Зм. модуль 2				Зм. модуль 3					
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13		
2	6	7	2	7	2	6	12	2	8	2	2	2	40	100

T1, ..., T16 – теми змістових модулів



Розподіл балів, що присвоюються студентам за видами робіт:

Форма навчальної діяльності	Вид контролю	Максимальна кількість балів за одне заняття (один звіт з л.р.)	Кількість занять (звітів з л.р.)	Сума балів	Разом за формами навч. діяльності
Лекції	Відвідування	0,5	14	7	7
Лабораторні роботи	Робота під час занять	0,55	9	5	23
	Захист звіту	3	6	18	
Поточний контроль №1					15
Поточний контроль №2					15
Всього за поточну роботу					60
Підсумковий екзамен					40
Заохочувальні бали за участь в науковій і проектній роботі, доповідь на конференції, стаття, участь в олімпіаді					до 10
Всього за курс					100

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за національною шкалою
	для екзамену, курсового проекту (роботи), практики
90-100	відмінно
82-89	добре
74-81	
64-73	задовільно
60-63	
35-59	незадовільно з можливістю повторного складання
0-34	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

10. Методичне забезпечення

1. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Техніка високих напруг» для студентів за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форм навчання / Василюк С.В. – Рівне: НУВГП, 2017. – 25с. (04-03-192) – Режим доступу: <http://ep3.nuwm.edu.ua/6155/1/04-03-192.pdf>.



11. Рекомендована література

Базова

- 1 Техніка і електрофізика високих напруг: Навч. посібник / [Бржезицький В.О., Ісакова А.В., Рудаков В.В. та ін.]; за ред. В.О. Бржезицького та В.М. Михайлова. – Харків: НТУ «ХПІ» - Торнадо, 2005. – 930 с.
- 2 Техника высоких напряжений: учеб пособ. для вузов / [Богатенков И.М., Иманов Г.М., Кизеветтер В.Е. и др.]; под. ред. Г.С. Кучинского. – СПб: Изд. ПЭИПК, 1998. – 700 с.
- 3 Базуткин В.В. Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для вузов / Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С.; Под общ. ред. В.П. Ларионова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.
- 4 Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника / Г.А. Месяц. – М.: Наука, 2004. – 704 с.

Допоміжна

- 1 Техника высоких напряжений: учеб. пособие / [В.А. Бутенко, В.Ф. Вазов, Ю.И. Кузнецов и др.]. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 119с.
- 2 Arora R. High voltage and electrical insulation engineering / Ravindra Arora, Wolfgang Mosch; IEEE Press series on power engineering, Mohamed E. El-Hawary, Series Editor. – Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2011. – 392 p.
- 3 Rizk F. A.M. High voltage engineering / Farouk A.M. Rizk, Giao N. Trinh. - Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014. – 804 p.
- 4 High-voltage engineering and testing / 3rd ed., edited by Hugh M. Ryan. – London: The Institution of Engineering and Technology, 2013. – 960 p.
- 5 Wadhwa C.L. High voltage engineering / Wadhwa C.L., 2d ed. - New Delhi: New Age International (P) Limited, publishers, 2007. – 312 p.
- 6 Advances in high voltage engineering/ edited by A. Haddad and D.F. Warne. – London: The Institution of Engineering and Technology, 2007. – 669.

12. Інформаційні ресурси

- 1 Журнал «Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», серія: «Техніка та електрофізика високих напруг» / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://vestnik.kpi.kharkov.ua/tevn/uk/arhiv-2/>



- 2 Онлайн метод. комплекс «Техніка високих напруг» / В. І. Михайлів, В. М. Черноус. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2014. - Режим доступу: <http://chitalnya.nung.edu.ua/node/3100>
- 3 Офіційний сайт компанії MathWorks / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mathworks.com>
- 4 Журнал «Технічна електродинаміка» / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://techned.org.ua/>
- 5 Інтерактивний web-курс «High voltage engineering» / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://nptel.ac.in/courses/108104048>

