



ТЕХНІКА ВИСОКИХ НАПРУГ

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>Електричні системи і мережі</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Заочна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, осінній семестр;</i>
Обсяг дисципліни	<i>Всього 4 кредити ECTS / 120 годин аудиторних – 20 годин: лекції – 12 годин; лабораторні роботи – 8 годин; самостійна робота – 100 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен / ДКР</i>
Розклад занять	<i>час і місце проведення аудиторних викладені на сайті rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., Гаран Ярослав Олександрович, y.garan@kpi.ua Лабораторні: к.т.н., Гаран Ярослав Олександрович, y.garan@kpi.ua</i>
Розміщення курсу	<i>Sikorsky Dictance (Google Classroom, код 7jeb3wl)</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна «Техніка високих напруг» є базою для комплексу дисциплін електротехніки та електроенергетики високих потужностей, оскільки вона пов'язана з надійністю генерування, передачі та розподілення електричної енергії, обумовленою працездатністю високовольтної ізоляції.

Метою дисципліни є формування і конкретизація знань з будови та теоретичних розрахунків характеристик високовольтних улаштувань з метою застосування отриманої інформації для вирішення професійних завдань в області проектування та експлуатації електроенергетичного обладнання в енергетиці.

Завданнями вивчення дисципліни є:

- вироблення розвинутих уявлень про будову сучасних високовольтних установок, принцип їх дії, граничні режими роботи з урахуванням перенапруг;
- навчитися застосовувати отримані знання при вивченні спеціальних дисциплін та в подальшій практичній діяльності на виробництві;

- придбання навичок та вмінь користуватися термінологією високовольтної техніки, вміння розробляти відповідні схеми та креслення, використовувати результати експериментальних досліджень для визначення характеристик улаштувань високої напруги.

Предметом навчальної дисципліни «Техніка високих напруг» є улаштування, функціонування, параметри та режими роботи ізоляції об'єктів електроенергетики.

В результаті вивчення дисципліни «Техніка високих напруг» студент повинен

знати:

- *основні типи електричних розрядів у вакуумі, газоподібних, рідких та твердих діелектриках;*
- *вплив величин і характер дії високих напруг на зовнішню і внутрішню ізоляцію;*
- *основні види перенапруг, які впливають на електрообладнання, а також методи захисту від них;*
- *принципи координації високовольтної ізоляції;*
- *основні методи діагностування стану ізоляції електротехнічного обладнання;*
- *основні методи високовольтних вимірювань;*
- *основні типи високовольтних випробувальних установок та методи випробувань;*

вміти:

- *розраховувати електричну міцність ізоляційних конструкцій при різних видах діючих напруг у стаціонарному та імпульсному режимах;*
- *аналізувати причини і ймовірні наслідки дії перенапруг;*
- *розробляти заходи захисту високовольтної ізоляції та забезпечувати її координацію;*
- *проводити діагностичні обстеження електротехнічного обладнання;*
- *проводити високовольтні випробування та вимірювання.*

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

Місце дисципліни в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою. Дисципліна «Техніка високих напруг» є вибірковою дисципліною в структурі освітньої програми.

Дисципліна «Техніка високих напруг» входить до циклу вибірових дисциплін підготовки і безпосередньо пов'язана з іншими дисциплінами навчальних планів освітньої програми.

Вивчення дисципліни базується на знаннях, одержаних з курсів загальної фізики (розділи: електричне поле і його характеристики; магнітне поле і його характеристики), теоретичних основ електротехніки (розділи: лінії електричного кола однофазного синусоїдного струму; трифазні електричні кола; несинусоїдні періодичні та перехідні процеси в лінійних електричних колах; лінійні електричні кола з розподіленими параметрами; нелінійні електричні і магнітні кола), електротехнічних матеріалів (розділи: діелектрики; провідникові матеріали; магнітні матеріали; напівпровідникові матеріали), основ метрології та електричних вимірювань (розділи: загальні відомості про метрологію та електричні вимірювання; похибки вимірювань; електровимірювальні прилади; масштабні перетворювачі струму і напруги; вимірювання параметрів електричних кіл).

Дисципліна «Техніка високих напруг» є базою для дисциплін «Електрична частина станцій та підстанцій», «Електропостачання промислових та муніципальних об'єктів», а також для переддипломної практики та дипломного проектування студентів.

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліну структурно розділено на 6 розділів, а саме:

1. **Вступ до дисципліни «Техніка високих напруг»**, до якого увійшли історія розвитку техніки високих напруг, зокрема в КПІ ім. Ігоря Сікорського, роль та значення техніки високих напруг в сучасній енергетиці, класи високих напруг, сучасна термінологія техніки високих напруг та її комплекс, предмет та мета кредитного модуля, поняття перенапруг.

2. **Електрична міцність газів, рідинних та твердих діелектриків**, до якого увійшли електрофізичні процеси розвитку іонізації, електричних розрядів в сильних електричних полях, визначення понять електричної міцності діелектриків, втрат на корону в повітряних лініях електропередавання, розвитку електричних розрядів по поверхні твердих діелектриків.

3. **Розряди за дії імпульсних напруг, вольт-секундні характеристики**, до якого увійшли характеристики імпульсу напруги, поняття зрізаного імпульсу напруги, порівняння швидкості зміни напруги на фронті імпульсу з часом формування розряду в проміжку, залежність часу формування розряду від напруженості поля при імпульсі напруги, вольт-секундна характеристика імпульсного розряду в проміжку, процеси розрядів блискавки та її характеристики.

4. **Високовольтна ізоляція обладнання**, до якого увійшли основні відомості про ізоляцію та ізоляційні конструкції, типи високовольтної ізоляції за застосуванням, відновлювана ізоляція, особливості будови та розрахунків внутрішньої ізоляції силових трансформаторів, прохідних ізоляторів, високовольтних кабелів, електричних машин високої напруги.

5. **Сутність та завдання випробувань електрообладнання**, зокрема види випробувань технічного стану ізоляційних конструкцій, руйнівні та неруйнівні випробування, показники випробувань, обладнання для виконання випробувань, каскади трансформаторів, схеми множення випрямленої напруги, генератори імпульсних напруг, визначення опору ізоляції, струму абсорбції та струму витоку чи наскрізної провідності, визначення тангенсу кута діелектричних втрат, визначення рівня часткових розрядів, засоби вимірювань на високій напрузі.

6. **Перенапруги та хвильові процеси в електричних мережах**, до якого увійшли види внутрішніх перенапруг, види зовнішніх перенапруг. комутаційні, квазістаціонарні та стаціонарні перенапруги, рух електромагнітних хвиль вздовж ліній електропередавання, розподіл напруги від набігаючої хвилі між елементами обмоток.

4. Навчальні матеріали та ресурси

4.1. Основна література

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. *Приймальні та експлуатаційні випробування електроустановок: навч. посіб. / В. Б. Абрамов, В. О. Бржезицький, О. Р. Проценко. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 218 с.*

3. *Техніка та електрофізика високих напруг. Лабораторний практикум / Шостак В. О., Проценко О. Р., Абрамов В. Б., Гаран Я. О. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 125 с.*

4.2. Додаткова література

4. *В. Ф. Важов, В. А. Лавринович, С. А. Лопаткин. Техника высоких напряжений / Курс лекций для бакалавров направления 140200 «Электроэнергетика». – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 119 с. Untitled http://www.elti.tpu.ru/doc/lib/HVE_2006.pdf*

5. *Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических*

системах: Учебник для вузов / В. В. Базуткин, В. П. Ларионов, Ю. С. Пинталь; Под общ.ред. В. П. Ларионова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.

6. Иерусалимов М. Е., Орлов Н. Н. Техника высоких напряжений. Киев: Изд. КГУ, 1967. – 444 с.

7. Техніка високих напруг: Конспект лекцій (для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання за напрямом підготовки 0906 Електротехніка (6.050701 Електротехніка та електротехнології) спеціальності «Електротехнічні системи електроспоживання») / Укладач: Рой В.Ф.; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 171 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
	Розділ 2. Електрична міцність газів, рідинних та твердих діелектриків
1.	Різновиди високовольтних діелектриків, їх особливості та загальні характеристики. Електричні поля в діелектриках. Види високовольтних діелектриків. Основні використовувані газоподібні, рідинні та тверді діелектрики. Класи нагрівостійкості матеріалів. Ізоляційні рідини рослинного походження. Напруженість електричного поля. Однорідне, квазіоднорідне та різко неоднорідне поле. Дистанційних курс «Техніка високих напруг», лекція № 2.
2.	Електрофізичні процеси в газах. Рухливість електронів та іонів. Ударна іонізація. Електронегативні гази. Ступінчаста іонізація та фотоіонізація. Особливості стримерного розряду. Процес формування плазмового провідного каналу стримерного розряду. Дистанційних курс «Техніка високих напруг», лекція № 3.
	Розділ 3. Розряди за дії імпульсних напруг, вольт-секундні характеристики
3.	Розряд в газових проміжках при імпульсних напругах. Розряди вздовж поверхні твердого діелектрика. Характеристики імпульсу напруги. Поняття зрізаного імпульсу напруги. Порівняння швидкості зміни напруги на фронті імпульсу з часом формування розряду в проміжку. Залежність часу формування розряду від напруженості поля при імпульсі напруги. Вольт-секундна характеристика імпульсного розряду в проміжку. Типи ізоляційних конструкцій із зовнішньою твердою ізоляційною поверхнею. Складові електричного поля вздовж поверхні твердих діелектриків. Вплив нормальної складової електричного поля на розвиток розряду вздовж поверхні твердого діелектрика. Напруга виникнення ковзних розрядів. Дистанційних курс «Техніка високих напруг», лекція № 7.
	Розділ 4. Високовольтна ізоляція обладнання
4.	Ізоляція силових високовольтних трансформаторів. Класифікація ізоляції трансформаторів. Процеси в головній та повздовжній ізоляції трансформаторів. Ємнісний захист обмоток трансформаторів. Просочення ізоляції трансформаторів. Дистанційних курс «Техніка високих напруг», лекція № 10.
5.	Високовольтні прохідні ізолятори. Високовольтне випробувальне обладнання та вимірювання високої напруги. Типи прохідних ізоляторів. Розрахунок елементів прохідних ізоляторів. Ізолятори з масло-бар'єрною, паперово-масляною ізоляцією. Розрахунок теплової стійкості прохідних ізоляторів. Високовольтне випробувальне обладнання та вимірювання високої напруги. Дистанційних курс «Техніка високих напруг», лекція № 11.
	Розділ 6. Перенапруги та хвильові процеси в електричних мережах

6.	<p>Характеристики перенапруг та засобів захисту від них. Поняття перенапруги в електричній мережі. Види перенапруг. Види внутрішніх перенапруг. Види зовнішніх перенапруг. Комутаційні, квазістаціонарні та дугові перенапруги. Найбільш небезпечні види перенапруг. Джерело грозових перенапруг. Засоби захисту від імпульсних перенапруг в електричних мережах. Рух електромагнітних хвиль вздовж ліній електропередавання. Розподіл напруги від набігаючої хвилі між елементами обмоток електричних машин. Затухання імпульсної хвилі вздовж лінії. Деформація фронту імпульсної хвилі. Типи засобів захисту від перенапруг. Грозозахисні троси. Блискавковідводи. Розрядники. Обмежувачі перенапруг нелінійні. Вплив параметрів заземлення на системи блискавкозахисту. Дистанційних курс «Техніка високих напруг», лекція № 15.</p>
-----------	---

Лабораторні заняття

№ п/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд.год
	Розділ 2. Електрична міцність газів, рідинних та твердих діелектриків	
2	Дослідження електричної міцності повітряних проміжків на змінній напрузі	4
	Розділ 6. Перенапруги та хвильові процеси в електричних мережах	
5	Дослідження зон захисту стрижневих блискавковідводів	4

6. Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи
1	Підготовка до лекційних занять шляхом самостійного опрацювання частини лекційного матеріалу у відповідності до тематики лекційних занять та рекомендованої для самостійної роботи студента літератури
2	Підготовка до лабораторних робіт шляхом набуття навичок роботи з програмним забезпеченням, що використовується в лабораторних роботах, опанування методики виконання лабораторних робіт за наданими викладачем методичними рекомендаціями, підготовка протоколів лабораторних робіт, зміст яких заповнюється під час їх виконання, підготовка до відповіді на контрольні питання до лабораторних робіт
3	Виконання домашньої контрольної роботи
4	Підготовка до написання екзаменаційної контрольної роботи виконується шляхом підготовки студента до письмових відповідей на екзаменаційні питання
	Самостійне опрацювання лекційних матеріалів
	Розділ 1. Вступ до дисципліни «Техніка високих напруг»
1	<p>Техніка високих напруг – складова використання сильних електричних та магнітних полів. Вступ. Предмет та мета викладання дисципліни. Комплекс техніки високих напруг. Класи напруги електрообладнання, термінологія техніки високих напруг. Дистанційних курс «Техніка високих напруг», лекція №1.</p>
	Розділ 2. Електрична міцність газів, рідинних та твердих діелектриків
2	<p>Закон Пашена. Регулювання електричних полів у високовольтній ізоляції. Вплив тиску газу на розвиток розряду в ньому. Розвиток розряду за дуже низького тиску в міжелектродному проміжку. Формулювання закону Пашена. Формування розряду в міжелектродному проміжку за різної полярності прикладеної напруги.</p>

	<i>Використання бар'єрів в міжелектродному проміжку. Регулювання електричних полів. Дистанційних курс «Техніка високих напруг», лекція № 4.</i>
3	Використання напівпровідникових плівок. Корона на проводах ПЛ. <i>Поняття коронного розряду. Початкова напруженість поля та початкова напруга. Умови виникнення корони на змінній напрузі. Цикли запалювання та згасання корони. Ємнісний струм коронного розряду. Дрейфовий струм корони. Методи зменшення втрат на корону. Залежність втрат на корону від атмосферних умов. Дистанційних курс «Техніка високих напруг», лекція № 5.</i>
4	Випробування ізоляції високовольтного електроустаткування підвищеною напругою. <i>Види випробувань технічного стану ізоляційних конструкцій. Руйнівні та неруйнівні випробування. Показники випробувань. Визначення умов випробувань та рівнів випробних напруг. Випробування змінною, постійною та імпульсними напругами, оцінка стану ізоляції при випробуванні підвищеною напругою, Імпульсні випробування. Визначення витримуваної напруги. Дистанційних курс «Техніка високих напруг», лекція № 6.</i>
	Розділ 3. Розряди за дії імпульсних напруг, вольт-секундні характеристики
5	Дуговий розряд в електроустановках високої напруги. Електрична міцність твердих діелектриків. <i>Особливі властивості твердих діелектриків. Механізми пробою твердих діелектриків. Основні характеристики часткових розрядів. Методи і схеми виміру часткових розрядів. Кількісні характеристики ЧР. Дистанційних курс «Техніка високих напруг», лекція № 8.</i>
6	Електрична міцність рідких діелектриків. Паперово-масляна та масло-бар'єрна ізоляція. <i>Електропровідність та поляризація рідких діелектриків. Види домішок в ізоляційній оливі. Залежність електричної міцності ізоляційної оливи від факторів впливу. Стандартизоване визначення електричної міцності ізоляційної оливи. Структура паперово-масляної та масло-бар'єрної ізоляції, а також їх просочення. Дистанційних курс «Техніка високих напруг», лекція № 9.</i>
	Розділ 4. Високовольтна ізоляція обладнання
7	Ізоляція силових високовольтних кабелів. <i>Матеріали, які використовуються для виготовлення кабелів. Кабелі з в'язким просоченням. Маслонаповнені кабелі. Кабелі з пластмасовою ізоляцією. Короткочасна і тривала електрична міцність ізоляції кабелів. Часткові розряди в ізоляції кабелів. Електричний розрахунок ізоляції кабелів. Дистанційних курс «Техніка високих напруг», лекція № 12.</i>
8	Ізоляція електричних машин високої напруги. Координація високовольтної ізоляції. <i>Конструкції ізоляції високовольтних електричних машин. Короткочасна та тривала електрична міцність ізоляції високовольтних електричних машин. Координація високовольтної ізоляції. Випробувальні напруги промислової частоти. Випробувальні напруги грозових і комутаційних імпульсів. Дистанційних курс «Техніка високих напруг», лекція № 13.</i>
	Розділ 5. Сутність та завдання випробувань електрообладнання
9	Неруйнівні методи випробувань. Діагностування стану високовольтної ізоляції. <i>Вимірювання опору ізоляції й коефіцієнта абсорбції. Визначення коефіцієнта абсорбції. Ємнісні методи контролю стану ізоляції. Абсорбційний метод контролю стану ізоляції. Вимірювання тангенса кута діелектричних втрат. Вимір ЧР в</i>

	<i>експлуатації. Основні задачі діагностування стану високовольтного електроустаткування. Дистанційних курс «Техніка високих напруг», лекція № 14.</i>
	Розділ 6. Перенапруги та хвильові процеси в електричних мережах
10	Блискавкозахист повітряних ліній електропередавання. <i>Статистичні характеристики параметрів блискавки. Завдання та критерії блискавкозахисту ліній. Число відключень повітряної лінії при ударі блискавки в фазні проводи. Число відключень повітряної лінії при зворотних перекриттях з опори на провід. Число відключень при ударі блискавки поблизу лінії. Блискавкозахист повітряних ліній різних класів напруги. Дистанційних курс «Техніка високих напруг», лекція № 16.</i>
11	Захист від перенапруг підстанцій та електричних машин високої напруги. <i>Задачі та критерії грозозахисту підстанцій. Допустимі рівні грозових перенапруг для силових трансформаторів і шунтуючих реакторів. Визначення критичної довжини підходу до підстанції. Схеми грозозахисту високовольтних електричних машин. Захист підстанцій від внутрішніх перенапруг. Дистанційних курс «Техніка високих напруг», лекція № 17.</i>
12	Вибір та застосування обмежувачів перенапруг нелінійних (ОПН). <i>Загальні відомості про ОПН. Основні технічні параметри та характеристики ОПН. Застосування та місце встановлення ОПН. Порядок вибору ОПН. Приклади вибору ОПН 6 – 35 кВ. Дистанційних курс «Техніка високих напруг», лекція № 18.</i>
	Домашня контрольна робота
	<i>Домашня контрольна робота виконується за матеріалами Додатку 2 до syllabusу</i>

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 лекційних заняттях, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної діяльності;
- **обов'язковою умовою допуску до екзамену** є відпрацювання, оформлення протоколів та захист всіх лабораторних робіт з дисципліни;
- правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних та лабораторних заняттях, передбачених 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: рекомендується індивідуальний захист лабораторних робіт (у складі бригади, який визначають на першому лабораторному занятті). Обов'язковою є наявність протоколів виконаних лабораторних робіт та відповідей на запитання для кожного студента;
- політика дедлайнів та перескладань:
 - несвоєчасний захист лабораторних робіт передбачає зменшення максимального балу, зазначеного у РСО за відповідний контрольний захід, до 75 %. Мінімальний бал не змінюється;
 - перескладання захистів лабораторних робіт не передбачено;
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів:

- заохочувальні бали не входять до основної шкали PCO, а їх сума не перевищує 10% стартової шкали. Заохочувальні бали нараховують за результатами участі у конкурсах кафедральних, факультетських, інститутських та всеукраїнських науково-дослідних робіт з тематики дисципліни;
- 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 «Техніка високих напруг». 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 передбачає виконання лабораторних робіт та домашньої контрольної роботи.

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

Семестровий контроль: екзамен.

Умови допуску до семестрового контролю: зарахування усіх лабораторних робіт.

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

- 1) виконання та захист двох лабораторних робіт;
- 2) написання домашньої контрольної роботи;
- 3) написання екзаменаційної контрольної роботи.

Лабораторні роботи	ДКР	Екзамен
28	18	54

Виконання та захист лабораторних робіт

Ваговий бал – 14.

Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи – 14 балів * 2 = 28 балів.

Мінімальна кількість балів на лабораторних заняттях – 14 балів * 2 * 60% = 16,8 балів.

Критерії оцінювання

- відмінна 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 – (0,95...1) * 14 балів;
- дуже добра підготовка до лабораторної роботи (наявність протоколу, знання мети роботи, знання основних теоретичних положень, які перевіряються), пасивна участь у виконанні досліджень, правильна обробка результатів дослідів, відповіді на контрольні питання за темою роботи без суттєвих помилок – (0,85...0,94) * 14 балів;

- добра підготовка до лабораторної роботи, активна участь у виконанні досліджень, несуттєві помилки при обробці результатів дослідів, неповні відповіді на контрольні питання – (0,75...0,84) * 14 балів;
- задовільна підготовка до лабораторної роботи, пасивна участь у виконанні досліджень, наявні помилки при обробці результатів дослідів, неповні відповіді на контрольні питання – (0,65. .0,74) * 14 балів;
- недостатня підготовка до лабораторної роботи, пасивна участь у виконанні досліджень, значні помилки при обробці результатів дослідів, часткові відповіді на контрольні питання – (0,6. .0,64) * 14 балів;
- неготовність до лабораторної роботи, пасивна участь у виконання досліджень, неякісна обробка результатів, невірні відповіді на контрольні питання за темою роботи – 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.

Виконання домашньої контрольної роботи

Домашня контрольна робота з дисципліни передбачає письмове виконання розрахункового завдання за тематикою лекційних матеріалів (Додаток 2 до силабусу). Виконання домашньої контрольної роботи оцінюється у максимум 18 балів.

Критерії оцінювання завдання домашньої контрольної роботи

- відмінне виконання розрахунків, правильне та охайне оформлення результатів (95 – 100% інформації відповіді) – (0,95...1) * 18 балів;
- дуже добре виконання розрахунків, правильне оформлення результатів (85 – 94% інформації відповіді) – (0,85...0,94) * 18 балів;
- добре виконання розрахунків, майже правильне оформлення результатів (75 – 84% інформації відповіді) – (0,75...0,84) * 18 балів;
- задовільне виконання розрахунків, оформлення результатів містить неточності чи пропуски інформації (65 – 74% інформації відповіді) – (0,65. .0,74) * 18 балів;
- достатнє виконання розрахунків, оформлення результатів містить неточності та пропуски інформації (60 – 64% інформації відповіді) – (0,6. .0,64) * 18 балів;
- незадовільне виконання розрахунків, неохайне оформлення або числові результати без належних пояснень до них – 0 балів.

Форма семестрового контролю – екзамен

– На екзамені студенти виконують письмову контрольну роботу за тематикою кредитного модуля. Екзаменаційні питання завдання визначаються викладачем і відповідають переліку питань, наведеному у Додатку 1 до силабусу.

– **Екзаменаційне завдання** містить 3 теоретичних екзаменаційних питання з максимальною оцінкою за кожне питання – 18 балів. Максимальна кількість балів за виконання екзаменаційного завдання складає – $3 * 18 = 54$ бали.

- Критерії оцінювання **кожного** екзаменаційного питання:
- «відмінно», повна відповідь (не менше 95% потрібної інформації) – 17-18 балів;

- «дуже добре», майже повна відповідь на питання у обсязі не менш, ніж 85% потрібної інформації, або незначні неточності – 15-16 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 13-14 балів;
- «задовільно», неповна відповідь у обсязі не менш ніж 65% потрібної інформації та деякі несуттєві помилки – 12 балів;
- «достатньо», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі суттєві помилки) – 11 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь – 0 балів.

Остаточний рейтинг студента складає суму балів, отриманих за виконання всіх завдань, передбачених РСО, та за 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)

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль (як додаток 1 до силабусу)

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: асистент кафедри теоретичної електротехніки, к.т.н, Гаран Ярослав Олександрович

Ухвалено кафедрою теоретичної електротехніки (протокол № 11 від 29.06.2021 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № _____ від _____)

ПЕРЕЛІК ЕКЗАМЕНАЦІЙНИХ ПИТАНЬ з кредитного модуля «Техніка високих напруг»

рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
спеціальності	Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – 141
освітня програма	Електричні системи і мережі
форма навчання	заочна

Перелік екзаменаційних питань, які виносяться на семестровий контроль

1. *Поняття сильних електричних та магнітних полів.*
2. *Дія сильних електричних та магнітних полів на активні середовища.*
3. *Умовні границі високих напруг для систем змінного та постійного струму.*
4. *Структурні складові комплексу техніки високих напруг.*
5. *Чим досягається можливість роботи електрообладнання, складові частини якого знаходяться під різними потенціалами високої напруги?*
6. *Зовнішня ізоляція.*
7. *Внутрішня ізоляція.*
8. *Зовнішні та внутрішні перенапруги і їхні показники.*
9. *Класи високої напруги змінного струму (таблиця значень).*
10. *Особливості систем 3 ... 35 кВ, 110 ... 220 кВ, 330 ... 750 кВ.*
11. *Визначення діелектриків.*
12. *Електропостачальна система, електрична мережа (визначення).*
13. *Електрична лінія, лінія електропередавання (визначення).*
14. *Електротехнічний виріб, електротехнічний пристрій (визначення).*
15. *Електрообладнання, електроустаткування (визначення).*
16. *Найбільша робоча напруга електрообладнання, перенапруга (визначення).*
17. *Ізоляція електротехнічного виробу (пристрою).*
18. *Електричний розряд, повний розряд, пробій діелектрику.*
19. *Іскровий розряд, частковий розряд, перекриття.*
20. *Електрична міцність.*
21. *Випробувальна напруга.*
22. *Розрядна напруга.*
23. *Витримувана напруга.*
24. *Технічне діагностування, технічний стан.*
25. *Загальна характеристика газових діелектриків.*
26. *Загальна характеристика рідких діелектриків.*
27. *Ізоляційні рідини рослинного походження.*
28. *Загальна характеристика твердих діелектриків.*
29. *Процеси старіння діелектриків.*
30. *Класи нагрівостійкості електроізоляційних матеріалів.*
31. *Небезпечні фактори при роботі з електрикою.*
32. *Розподілення електричного поля в електродному проміжку. Напруженість електричного поля.*
33. *Однорідне, квазіоднорідне, різко неоднорідне електричне поле.*
34. *Коефіцієнт неоднорідності електричного поля.*
35. *Вплив на електричну міцність мікронерівностей поверхонь електродів.*
36. *Вплив на електричну міцність провідних та ізоляційних мікрровключень частинок.*
37. *Основні компоненти повітря. Вміст у повітрі парів води.*

38. Умови НТТ.
39. Переваги та недоліки газової ізоляції.
40. Природні іонізатори.
41. Відносна густина повітря δ .
42. Довжина вільного пробігу електрона λ .
43. Середня швидкість дрейфового руху електрона в електричному полі.
44. Рухливість електронів.
45. Співвідношення рухливості електронів та іонів.
46. Процеси збудження та іонізації атомів (молекул) при зіткненні з електронами.
47. Дифузія частинок.
48. Рекомбінація.
49. Плазма – четвертий агрегатний стан речовини.
50. Коефіцієнт ударної іонізації електронами.
51. Лавина електронів. Кількість електронів у лавині.
52. Співвідношення Ейнштейна для електронів та іонів.
53. Напруженість електричного поля на зовнішній границі лавини.
54. Умови безупинного розвитку лавини.
55. Поняття стримера та його дія.
56. Електропозитивні та електронегативні гази.
57. Ефективний коефіцієнт ударної іонізації з урахуванням «прилипання» електронів.
58. Термоелектронна та автоелектронна емісія, вторинна електронна емісія, фотоефект.
59. Збуджені метастабільні атоми (молекули) та явища східчастої (ступінчатої) електронної іонізації та фотоіонізації.
60. Коефіцієнт вторинної іонізації γ .
61. Умова самостійності розряду в однорідному полі.
62. Умова самостійності розряду в неоднорідному полі.
63. Формула закону Пашена.
64. Крива Пашена для повітряного проміжку з однорідним полем.
65. Пояснення лівої «гілки» закону Пашена.
66. Пояснення правої «гілки» закону Пашена.
67. Аналітична залежність розрядної напруги повітряного проміжку (для однорідного поля).
68. Розрядна напруженість E_p для повітря в однорідному полі.
69. Початкова напруженість поля та початкова напруга.
70. Картина поля для проміжку: стрижень позитивної полярності – площа.
71. Картина поля для проміжку: стрижень негативної полярності – площа.
72. Ефект полярності.
73. Бар'єр в електричному полі.
74. Вирівнювання електричного поля за допомогою бар'єру.
75. Залежність розрядної напруги від розташування бар'єру в проміжку: стрижень-площина.
76. Еквівалентна схема гірлянди ізоляторів.
77. Нерівномірне розподілення напруги в гірлянді ізоляторів та його «вирівнювання».
78. Залежність товщини ізоляції від робочої напруги, допустимої напруженості та коефіцієнта неоднорідності поля.
79. Регулювання електричного поля методом градирування ізоляції.
80. Регулювання електричного поля за допомогою обкладинок.
81. Зменшення напруженості поля в кінцевій зоні обкладинок.
82. Максимальна напруженість поля вздовж поверхні твердого діелектрика при використанні напівпровідникової плівки.
83. Формула Піка.
84. Початкова напруженість появи корони на проводах ПЛ.
85. Коефіцієнт негладкості поверхні проводу ПЛ за умов сухої погоди, туману.
86. Коефіцієнт негладкості поверхні проводу за умов інею, голольоду, паморозі.
87. Коефіцієнт негладкості поверхні проводу за умов дощу, мокрого снігу.
88. Коефіцієнт негладкості поверхні проводу за умов сухого снігу.

89. Як змінюється напруженість поля у часі на поверхні проводу при коронуванні ПЛ на змінній напрузі?
90. Порівняйте інтенсивність корони на змінній та постійній напрузі при однакових амплітудних значеннях напруги.
91. Порівняйте напругу запалювання корони змінного струму за позитивної та негативної полярності.
92. Чим відрізняється розширення проводу ПЛ від розщеплення?
93. Ємність розщепленої фази надвисокої напруги.
94. Еквівалентний радіус розщепленої фази.
95. Середня напруженість електричного поля на поверхні проводів розщепленої фази.
96. Максимальна напруженість електричного поля на поверхні проводів розщепленої фази.
97. Співвідношення радіусу розщеплення, еквівалентного радіусу та коефіцієнту посилення поля з відстанню між розщепленими проводами для ПЛ-330 кВ.
98. Співвідношення радіусу розщеплення, еквівалентного радіусу та коефіцієнту посилення поля з відстанню між розщепленими проводами для ПЛ-500 кВ.
99. Співвідношення радіусу розщеплення, еквівалентного радіусу та коефіцієнту посилення поля з відстанню між розщепленими проводами для ПЛ-750 кВ.
100. Критична напруженість електричного поля при розрахунку втрат на корону.
101. Критична напруга струмопроводу ПЛ.
102. Формула питомих втрат ПЛ надвисокої напруги на корону.
103. Особливості розрахунку втрат на корону для середньої фази ПЛ надвисокої напруги.
104. Еквівалентна ємність об'ємного заряду корони.
105. Функція $F\left(\frac{U_{\text{фа}}}{U_{\text{к}}}\right)$ та її опорні значення.
106. Інтерполяція функції $F\left(\frac{U_{\text{фа}}}{U_{\text{к}}}\right)$ між опорними значеннями.
107. Що визначається при випробуваннях ізоляції підвищеною напругою.
108. Три основні види випробувань електроустановки підвищеною напругою.
109. Поняття промислової частоти при випробуваннях підвищеною напругою.
110. Які види випробувань підвищеною напругою нормуються для електрообладнання 3 – 35 кВ за ГОСТ 1516.3?
111. Чим відрізняються характеристики випробувань електрообладнання 3 – 35 кВ за ГОСТ 1516.3 для рівня ізоляції «а» та «б»?
112. Для яких класів напруги в ГОСТ 1516.3 нормуються випробування комутаційним імпульсом?
113. Чим відрізняються характеристики випробувань електрообладнання надвисокої напруги за ГОСТ 1516.3 для рівня ізоляції «а» та «б»?
114. Які види випробувань підвищеною напругою нормуються для електрообладнання надвисокої напруги за ГОСТ 1516.3?
115. Чому для високовольтних кабелів змінного струму проводяться випробування не змінною, а постійною напругою?
116. Поясніть коефіцієнт зміцнення щодо випробувань ізоляції.
117. Характеристики повного грозового імпульсу напруги.
118. Характеристики грозового імпульсу, зрізаного на фронті.
119. Характеристики грозового імпульсу, зрізаного на спаді напруги.
120. Коли необхідно проводити коректування нормованих за ГОСТ 1516.3 випробних напруг в реальних умовах випробування і як вони визначаються?
121. Що визначає поняття 50% розрядна напруга при випробуваннях імпульсними напругами?
122. Назвіть три методи випробувань самовідновлюваної ізоляції імпульсними напругами.
123. Характеристики аперіодичного комутаційного імпульсу.
124. Характеристики коливального комутаційного імпульсу.
125. Поясніть триударний метод випробувань несамовідновлюваної ізоляції повним та зрізаним грозовим імпульсом.

126. Поясніть 15-ударний метод випробувань самовідновлюваної ізоляції комутаційним імпульсом в сухому стані і під дощем.
127. Поясніть складові терміну розряду при дії імпульсу напруги.
128. Поясніть поняття вольт-секундної характеристики ізоляції та наведіть її типовий вид.
129. Вид вольт-секундної характеристики для ізоляції з однорідним та неоднорідним полем.
130. Що визначає коефіцієнт імпульсу ізоляції?
131. Поясніть різницю каналу стримера та каналу лідера.
132. Коли розпочинається головний розряд блискавки? Охарактеризуйте його особливості.
133. Амплітуда струму, що розповсюджується зі швидкістю V по каналу з лінійною густиною заряду σ .
134. Як співвідносяться між собою опір заземлення R та хвильовий опір каналу блискавки Z ?
135. Яка характерна напруженість електричного поля в стримерній зоні та в каналі лідера?
136. Поясніть виникнення електричного заряду грозової хмари.
137. Визначте розмір стримерної зони за формулою Лемке.
138. Поясніть формулу Лемке для 50% розрядної напруги довгих повітряних проміжків.
139. Вражаючі фактори розряду блискавки.
140. Вірогідність значень струму блискавки, більше I_5 (кА).
141. Вірогідність крутизни струму блискавки, більше a (кА/мкс).
142. Як орієнтовно співвідноситься число грозових днів та грозових годин (на рік)?
143. Число ударів блискавки за 100 грозових годин у споруду з розмірами: $A(м) \times B(м) \times H(м)$.
144. Число ударів блискавки в повітряну лінію довжиною 100 км за 100 грозових годин.
145. Три характерні види електричних полів для ізоляторів різних конструкцій.
146. Опишіть поняття ковзного розряду.
147. Порівняйте розрядні напруги ізоляторів з переважною тангенційною та нормальною складовою електричного поля.
148. Формула Теплера для довжини ковзного розряду.
149. Напруга перекриття ізолятора ковзним розрядом.
150. Залежність напруги ковзного розряду від питомої поверхневої ємності діелектрика.
151. Формула питомої поверхневої ємності для плоского діелектрика.
152. Формула питомої поверхневої ємності для прохідного ізолятора.
153. Опишіть особливості розряду по зволоженій та забрудненій поверхні ізолятора.
154. Струм витоку для циліндричного ізолятора. Назвіть заходи його зменшення.
155. Кількість ізоляторів в гірлянді ПЛ 35 кВ для умов чистої та забрудненої атмосфери.
156. Вибір числа ізоляторів в гірлянді з урахуванням коефіцієнта ефективності ізолятора.
157. Ефективна довжина шляху витоку ізолятора.
158. Заходи забезпечення високої розрядної напруги ізоляторів в умовах промислових забруднень
159. Порівняйте довжину шляху витоку звичайних та брудостійких ізоляторів.
160. Особливості електричної дуги як завершальної стадії електричних розрядів у високовольтній ізоляції.
161. Особливі властивості твердих діелектриків.
162. Електропровідність твердих діелектриків.
163. Механізми пробою твердих діелектриків на змінній (та імпульсній) напрузі.
164. Електричний пробій твердих діелектриків.
165. Коефіцієнт кумулятивності.
166. Об'ємна густина діелектричних втрат у твердому діелектрику.
167. Пробивна напруга пластини твердого діелектрика (за механізмом теплового пробою) при двосторонньому та односторонньому охолодженні.
168. Пробивна напруга циліндричного твердого діелектрика (за механізмом теплового пробою) при зовнішньому охолодженні.
169. Функція $\varphi(\theta)$ в теорії теплового пробою твердого діелектрика та її значення.
170. Іонізаційний пробій твердого діелектрика.

171. Еквівалентна схема твердого діелектрика з вкрапленням.
172. Напруженість електричного поля у вкрапленні твердого діелектрика (для його різних форм).
173. Напряга часткового розряду за еквівалентною схемою твердого діелектрика з вкрапленням.
174. Поняття уявного заряду часткового розряду.
175. Неелектричні методи реєстрації ЧР.
176. Електричні методи реєстрації ЧР.
177. Схеми установок для вимірювання характеристик ЧР.
178. Кількісні характеристики ЧР.
179. Особливі властивості рідких діелектриків. Ізоляційні рідини, що найбільш широко використовуються в ТВН.
180. Електропровідність рідких діелектриків.
181. Поляризація в рідких діелектриках.
182. Види домішок в рідких діелектриках, їх перебування у розчиненому або вільному стані та вплив на електричну міцність.
183. Стандартизоване визначення електричної міцності ізоляційних рідин.
184. Залежності електричної міцності ізоляційної оливи від температури за різної кількості води (та їх пояснення).
185. Залежності розрядних напруг ізоляційної оливи від відстані між електродами за дії синусоїдальної напруги (та їх пояснення).
186. Залежності розрядних напруг ізоляційної оливи від відстані між електродами «стрижень-площина» (та їх пояснення).
187. Аналітичні вирази для пробивної напруги очищеної ізоляційної оливи (проміжок «стрижень-площина»).
188. Комбінації із рідких і твердих діелектриків: покриття, ізолювання, бар'єри.
189. Паперово-масляна та масло-бар'єрна ізоляція, їх застосування, сушіння, вакуумування, просочення.
190. Ескіз розташування обмоток активної частини силового триобмоткового однофазного трансформатора. Обмотки НН, СН, ВН (приклади значень НН, СН, ВН).
191. Ескіз розташування перерізу обмоток і бар'єрів активної частини триобмоткового трифазного трансформатора.
192. Чим визначається пробивна напряга для масло-бар'єрної ізоляції силових трансформаторів?
193. Класифікація ізоляції силових трансформаторів.
194. Типи ізоляційних бар'єрів в силових трансформаторах, їх місце знаходження в ізоляційних проміжках.
195. Співвідношення максимальної напруженості електричного поля на куті котушки та середньої напруженості в масляному каналі.
196. Пробивна напруженість масляного каналу для напруги промислової частоти, комутаційного та грозового імпульсу.
197. Залежність амплітудного значення пробивної напруги виткової (паперово-масляної) ізоляції від товщини.
198. Повна схема заміщення обмотки трансформатора при набіганні імпульсу напруги та її частковий випадок для початку імпульсного процесу.
199. Початкове розподілення напруги, усталене розподілення напруги та крива максимальних амплітуд перехідного імпульсного процесу для обмотки із заземленою нейтраллю.
200. Початкове розподілення напруги, усталене розподілення напруги та крива максимальних амплітуд перехідного імпульсного процесу для обмотки з ізолюваною нейтраллю.
201. Ємнісний захист обмотки ВН трансформатора.
202. Застосування переплетення витків в обмотці ВН трансформатора.
203. Схеми головної та повздовжньої ізоляції обмотки 35 кВ силового трансформатора.
204. Схема ізоляції обмотки ВН трансформатора класу 110 кВ.

205. *Схема ізоляції обмотки ВН трансформатора класу 220 кВ (із вводом на середину обмотки).*
206. *Особливості сушіння та просочення ізоляції силових високовольтних трансформаторів.*
207. *Типи високовольтних прохідних ізоляторів. Вводи.*
208. *Напруженість поля на куті заземлюваного фланця прохідного ізолятора.*
209. *Розрахунок довжини повітряного та масляного кінців фарфорових покришок прохідних ізоляторів.*
210. *Розрахунок діаметра струмопровідного стрижня або розмірів струмопровідної труби прохідного ізолятора.*
211. *Розрахунок ізоляції для прохідного ізолятора з суцільним твердим діелектриком. Заходи по недопущенню розрядів на струмопровідному стрижні та в зовнішній частині ізолятора.*
212. *Ескіз конструкції прохідного ізолятора конденсаторного типу та розподіл електричного поля в ньому.*
213. *Розрахунок ізоляції масло-бар'єрного прохідного ізолятора.*
214. *Вводи з паперово-масляною ізоляцією і конденсаторними обкладками.*
215. *Будова прохідного ізолятора з твердим діелектриком і конденсаторними обкладками (переваги й недоліки типу).*
216. *Визначення виділюваної в об'ємі ізоляції ввода потужності.*
217. *Визначення розподілу температури в ізоляційному остові ввода.*
218. *Визначення тепловіддачі з поверхні вводу.*
219. *Визначення стійкості прохідного ізолятора до теплового пробою на основі побудови графіків залежності виділюваної потужності у вводі та тепловіддачі від температури струмопровідного стрижня (струмопровідної труби).*
220. *Схема для випробувань високою напругою промислової частоти за допомогою однофазного двообмоткового трансформатора.*
221. *Схема каскаду трансформаторів для випробувань ультрависокою напругою промислової частоти.*
222. *Схема множення випрямленої високої напруги Кокрофта-Уолтона.*
223. *Схема генератора імпульсних напруг (ГН) Аркадьєва-Маркса. Які елементи ГН визначають одержання повного грозового, аперіодичного комутаційного, коливального комутаційного імпульсів ГН.*
224. *Вимірювання високої напруги за допомогою кульових розрядів.*
225. *Вимірювання високої напруги за допомогою електростатичних кіловольтметрів.*
226. *Вимірювання високої напруги за допомогою подільників напруги (їх переваги порівняно з існуючими високовольтними трансформаторами напруги).*
227. *Основні елементи силового високовольтного кабелю.*
228. *Основні типи ізоляції високовольтних кабелів.*
229. *Пластмасова ізоляція високовольтних кабелів.*
230. *Кабелі з в'язким просоченням.*
231. *Маслонаповнені кабелі.*
232. *Кабелі з пластмасовою ізоляцією.*
233. *Кабелі з примусовим охолодженням.*
234. *Короткочасна електрична міцність ізоляції кабелів.*
235. *Старіння і тривала електрична міцність кабельної ізоляції.*
236. *Характерні залежності електричної міцності від часу для кабелів з пластмасовою ізоляцією.*
237. *Вибір допустимих напруженостей електричного поля в електричних кабелях.*
238. *Найбільше значення напруженості в одножилевих кабелях з екранованою циліндричною жилою.*
239. *Випробувальні напруги кабелів при різних видах випробувальних впливів.*
240. *Найбільша напруженість електричного поля в кабелях з секторними жилами.*
241. *Найбільша напруженість в k-ому шарі градірованої ізоляції з n-шарів.*
242. *Зовнішній радіус неградированої ізоляції кабелю.*
243. *Кабельні муфти.*

244. Класифікація і умови роботи ізоляції обертових електричних машин високої напруги.
245. Термопластична та термореактивна ізоляція електричних машин.
246. Регулювання електричного поля в ізоляції електричних машин.
247. Характеристики та технологія виготовлення ізоляції Моноліт-2.
248. Структура ізоляції обмотки статора з повітряним охолодженням класу 6 кВ.
249. Структура ізоляції обмотки статора з охолодженням обмотки водою класу 20 кВ.
250. Схема регулювання електричного поля в ізоляції електричної машини в зоні виходу обмотки з пазу.
251. Формули розрахунку випробувальних напруг термореактивної ізоляції статорних обмоток турбогенераторів, гідрогенераторів, синхронних компенсаторів.
252. Короткочасна електрична міцність корпусної ізоляції електричних машин високої напруги.
253. Вибір товщини нормальної і стоншеної ізоляції електричних машин високої напруги.
254. Залежність пробивної напруженості ізоляції електричних машин високої напруги від тривалості впливу.
255. Розрахункові кратності внутрішніх перенапруг.
256. Визначення випробувальних напруг промислової частоти.
257. Поняття координації ізоляції.
258. Визначення випробувальних напруг комутаційних імпульсів.
259. Визначення випробувальних напруг грозових імпульсів.
260. Схема заміщення двошарової ізоляції.
261. Визначення наскрізного струму та струму абсорбції, повний струм в ізоляції.
262. Температурний перерахунок опору ізоляції трансформаторів.
263. Визначення коефіцієнт абсорбції та його нормування.
264. Метод «ємність-частота», критеріальне відношення $\frac{C_2}{C_{50}}$.
265. Схема заміщення ізоляції з урахуванням процесів абсорбції.
266. Метод «ємність-час», критеріальне відношення $C_{абс}/C_T$ та його залежність від температури.
267. Функціональна схема приладу ПКВ-7 та принцип вимірювання ємнісних характеристик ізоляції.
268. Визначення коефіцієнтів K_i та K_c на основі вимірювання змін струму абсорбції у часі.
269. Принцип вимірювання струму абсорбції ізоляції та його реалізація в приладі У-268 (за функціональною схемою).
270. Формула діелектричних втрат в ізоляції.
271. Тангенс кута діелектричних втрат як характеристика стану ізоляції, його чутливість до погіршення характеристик в частин об'єму ізоляції.
272. Температурний перерахунок тангенса кута діелектричних втрат для ізоляції силових трансформаторів.
273. Схема вимірювання тангенса кута діелектричних втрат ізоляції за допомогою вимірювального моста.
274. Вплив іншого високовольтного обладнання на результати виміру тангенса кута діелектричних втрат ізоляції та метод відстроювання від цього впливу.
275. Схема установки для виміру тангенса кута діелектричних втрат ізоляції з використанням фазорегулятора.
276. Оцінка стану за результатами вимірів $tg\delta$ та інтенсивності ЧР в ізоляції (надати в табличному виді).
277. Можливі зміни $tg\delta$ ізоляції у часі (на прикладі високовольтного вводу).
278. Вимір ЧР в експлуатації без відключення працюючого високовольтного обладнання (склад апаратури).
279. Вимір ЧР в експлуатації без відключення працюючого високовольтного обладнання (способи відмежування від завод).

280. Вимір ЧР в експлуатації без відключення працюючого високовольтного обладнання (роль обробки результатів та визначення тренду за допомогою EOM).
281. Методи діагностування стану ізоляції високовольтного обладнання.
282. Основні задачі діагностування стану високовольтного електроустаткування.
283. Кратність та інші характеристики перенапруг.
284. Дві групи перенапруг в залежності від причин їх виникнення.
285. Три види грозових перенапруг.
286. Вплив імпульсів грозових перенапруг на ізоляцію електроустановок, розташованих на значному віддаленні від місця їх виникнення.
287. Два види внутрішніх перенапруг.
288. Чотири види квазістаціонарних перенапруг.
289. Причини виникнення комутаційних перенапруг.
290. Загальне призначення заходів захисту від перенапруг.
291. Превентивні заходи захисту від перенапруг.
292. Використання дугогасних реакторів в трифазних системах з ізолюваною (компенсованою) нейтраллю.
293. Комутаційні заходи захисту від перенапруг.
294. Три основні типи заземлень в електричних мережах високої напруги.
295. Виконання заземлення установки високої напруги.
296. Опір розтікання заземлювача.
297. Дві складові опору заземлюючого пристрою.
298. Коефіцієнт імпульсу заземлювача.
299. Значення коефіцієнту імпульсу заземлювача менше одиниці та пояснення причини їх виникнення.
300. Значення коефіцієнту імпульсу заземлювача більше одиниці та пояснення причини їх виникнення.
301. Коефіцієнт імпульсу для протяжних заземлювачів (формула).
302. Виконання глибинних заземлювачів в районах з питомим опором ґрунту $\rho > 1000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.
303. Переваги і недоліки іскрових проміжків як захисних апаратів від перенапруг.
304. Переваги і недоліки трубчатих розрядників як захисних апаратів від перенапруг.
305. Принцип та послідовність дії вентиляльних розрядників.
306. Особливості гасіння дуги в іскрових проміжках вентиляльних розрядників типу РВС, РВО; РВМ, РВМГ; РВТ, РВРД.
307. Захисний коефіцієнт розрядника K_z .
308. Вольт-амперна характеристика нелінійного послідовного опору вентиляльного розрядника (ділянки А та Б).
309. Аналітичний вираз вольт-амперної характеристики варистора.
310. Високонелінійні оксидно-цинкові резистори (варистори).
311. Обмежувачі перенапруг нелінійні (ОПН) та їх орієнтовні характеристики для класів напруг 35, 110, 150, 220, 330, 500 кВ.
312. Логічна схема розвитку грозових аварій ПЛ 110 кВ і вище.
313. Ймовірність прориву блискавки на фазні проводи, минаючі троси.
314. Число вимкнень лінії при ударах блискавки в проводи.
315. Схема розрахункових випадків грозового ураження ліній з тросами.
316. Число вимкнень внаслідок зворотних перекриттів при ударах блискавок в вершину опори.
317. Розрахунковий струм блискавки, за якого можливе зворотне перекриття ізоляції ПЛ.
318. Таблиця параметрів блискавкозахисту ПЛ класів 110...750 кВ.
319. Таблиця параметрів блискавкозахисту ПЛ класів 6; 35 кВ.
320. Крива небезпечних струмів та крутизни струмів блискавки.
321. Число вимкнень при ударах блискавки поблизу лінії.
322. Заходи забезпечення грозозахисту ПЛ (особливі випадки).
323. Заходи забезпечення грозозахисту підстанцій.

324. Інтервал координації ΔU_x .
325. Допустимі рівні грозових перенапруг для силових трансформаторів і шунтуючих реакторів класів 35...750 кВ та їх визначення.
326. Формула Горева-Машкіллейсона.
327. Коефіцієнт деформації фронту хвилі внаслідок імпульсної корони.
328. Грозозахист підходів ліній до підстанцій.
329. Розрахункове число відключень підстанції 220 кВ при приході небезпечних хвиль грозових перенапруг внаслідок проривів блискавки на проводи на підході лінії до підстанції.
330. Захист від грозових перенапруг сторін ВН, СН та НН силових трансформаторів.
331. Захист від грозових перенапруг підстанцій 3 ... 20 кВ з кабельними вставками.
332. Визначення критичної довжини підходу до підстанції.
333. Коефіцієнт заломлення для з'єднання ПЛ – КЛ.
334. Особливості паралельного приєднання РВ (ОПН).
335. Захист від перенапруг в спрощених схемах приєднань.
336. Схеми блискавкозахисту обертових електричних машин високої напруги та їх порівняння.
337. Використання матеріалів ПУЕ для вибору засобів захисту від перенапруг. Захист від внутрішніх перенапруг.
338. Вольт-часова характеристика ОПН.
339. Розрядні струми ОПН.
340. Захисні характеристики ОПН.
341. Загальні відомості про ОПН.
342. Тривало допустима робоча напруга ОПН, приклади.
343. Допустима енергія, що поглинається ОПН, приклади.
344. Визначення вихідних параметрів електромережі для вибору ОПН.
345. Перевірка ОПН на тривало допустиму робочу напругу.
346. Перевірка залишкової напруги ОПН при дії грозових перенапруг.
347. Перевірка ОПН за навантаженням енергією внутрішніх перенапруг.
348. Приклад вибору ОПН (кабельна мережа 6 кВ).
349. Приклад вибору ОПН (повітряна мережа 10 кВ).
350. Приклад вибору ОПН (повітряно-кабельна мережа 35 кВ).

Перелік екзаменаційних питань склали:

_____ Ярослав ГАРАН

Ухвалено на засіданні кафедри теоретичної електротехніки
Протокол від 29.06.2021 року № 11

Завідувач кафедри

_____ Микола ОСТРОВЕРХОВ

ДОМАШНЯ КОНТРОЛЬНА РОБОТА з кредитного модуля «Техніка високих напруг»

рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
спеціальності	Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – 141
освітня програма	Електричні системи і мережі
форма навчання	заочна

Завдання

Розрахувати середньорічні втрати на корону в лінії електропередавання методом узагальнених характеристик. При розрахунках прийняти (у відповідності до варіанту завдання) номінальну напругу лінії U_n , довжину лінії l , марку проводу M , крок розщеплення проводів D_p , горизонтальну відстань між фазними проводами L , а також річні тривалості сухої погоди $T_{c.n.}$, погоди з дощем та мокрим снігом T_δ , погоди, що характеризується памороззю, інієм та ожеледицею T_i , погоди з сухим снігом T_c . При розрахунках вважати середньорічну відносну густину повітря δ прийняти рівною одиниці, ємності розщеплених крайніх та середньої фаз вважати однаковими. Середньорічна інтенсивність опадів – 0,5 мм на годину.

Методика виконання роботи

Якісно фізичний процес виникнення коронного розряду обумовлений наявністю високої напруженості електричного поля E біля загостреного електрода (проводу) і градієнту потенціалу в міжелектродному проміжку:

$$E_x = -grad_x \varphi = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}. \quad (1)$$

Ця висока напруженість може бути достатньою для виникнення самостійного розряду в локальній зоні міжелектродного проміжку. Фазна напруга ПЛ-110 кВ, між землею та проводом дорівнює: $\frac{110}{\sqrt{3}}$ кВ. При великій відстані проводів до землі цієї напруги недостатньо для виникнення повного розряду. Однак на поверхні проводу завдяки високому градієнту потенціалу, напруженість перевищує $25 \div 30$ кВ/см, що більше значення початкової напруженості для повітря – 24,5 кВ/см, і тут виникає самостійний розряд – корона. Початкову напруженість появи корони обчислюють за формулою

$$E_{пк} = 24,5 \cdot \delta \cdot \bar{m} \cdot \left[1 + \frac{0,65}{(r \cdot \delta)^{0,38}} \right], \quad (2)$$

а при малих радіусах r проводів використовують формулу Піка:

$$E_{\text{пк}} = 30,3 \cdot \delta \cdot \bar{m} \cdot \left(1 + \frac{0,3}{\sqrt{r \cdot \delta}}\right), \text{ кВ/см, при } r < 1 \text{ см.} \quad (3)$$

Коефіцієнт \bar{m} – характеризує негладкість поверхні проводу. За сухої погоди для кручених проводів, які застосовують в ПЛ, $\bar{m} \cong 0,85$. В умовах туману $\bar{m} \cong 0,7$ і корона виникає при меншій напруженості електричного поля. Іній, гололід, паморозь призводять до утворення на поверхні проводу кристалів льоду, які мають форму голок. Тому в цьому випадку $\bar{m} \cong 0,6$.

Дощ та мокрий сніг збільшують витрати електроенергії на корону в залежності від інтенсивності опадів J_1 , яка вимірюється в одиницях [мм/год] та звичайно змінюється в діапазоні від 0,1 до 3 мм/год. Для цього випадку залежність \bar{m} від інтенсивності опадів J_1 може бути надано формулою:

$$\bar{m} = 0,73 - 0,115 (\lg J_1 + 1). \quad (4)$$

Найбільший вплив на коронування проводів ПЛ визиває сухий сніг. Тому для сухого снігу з інтенсивністю опадів $J_{\text{сн}}$ значення \bar{m} розраховується за формулою (4) з підстановкою $J_1 = 3J_{\text{сн}}$.

Якщо робоча напруженість на поверхні проводу ПЛ $E_p \geq 0,5 \cdot E_{\text{пк}}$, то втрати на корону значні і їх необхідно обмежувати.

Основним способом зменшення втрат на корону є збільшення діаметра проводу, що приведе до зменшення напруженості поля навколо нього.

Обмеження корони на проводах ПЛ досягають двома основними способами:

- розщепленням проводів фаз;
- розширенням проводів – замість сталеві центральні жили застосовують пластикову або іншу непровідну (вуглепластикову) жилу, а провідникові сегменти розташовують по її периметру.

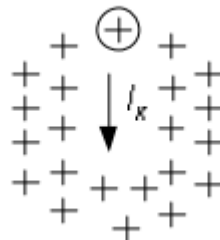


Рис. 2 – Утворення об'ємного заряду біля проводу і струму корони

При коронному розряді в результаті іонізації повітря біля поверхні проводу утворюється об'ємний заряд того ж знаку, що і потенціал проводу (рис. 2). Напруженість поля біля поверхні проводу під час коронування залишається рівною $E_{\text{пк}}$. Збільшення напруги на проводі призводить до посилення іонізації, зростання

об'ємного заряду і зниження напруженості до $E_{пк}$. При збільшенні напруженості поля об'ємного заряду втрати енергії на корону ростуть тим більше, чим більше напруга на проводі перевершує початкову напругу корони, яка пов'язана з $E_{пк}$. Оскільки об'ємні заряди переміщуються від проводу в напрямку до землі, напруженість поля біля проводу зростає. Але через посилення іонізації об'ємний заряд поповнюється, напруженість падає до $E_{пк}$ і корона зберігається. При змінній напрузі об'ємні заряди здійснюють зворотно-поступальні коливання біля проводу, поступово віддаляючись від нього в ділянку слабого поля, де вони рекомбінують.

На проводах малих (до 1 см) діаметрів корона виникає в лавинній формі. Але при збільшенні напруги понад початкову розмір зони іонізації зростає і корона переходить у стримерну форму. Струм стримерної корони складається з окремих імпульсів з дуже крутими фронтами (~ десятки наносекунд). Ця високочастотна складова струму корони є джерелом інтенсивного електромагнітного випромінювання із широким спектром частот, що створює перешкоди радіо- і телевізійному прийому.

При змінній напрузі корона виникає, якщо напруженість поля на проводі досягає $E_{пк}$ і горить, поки напруга не досягне максимуму. Потім, зі зниженням напруги напруженість поля на проводі спадає та стає нижче $E_{пк}$, і корона згасає. Графіки зміни напруги, напруженості поля та струму корони наведені на рис. 3.

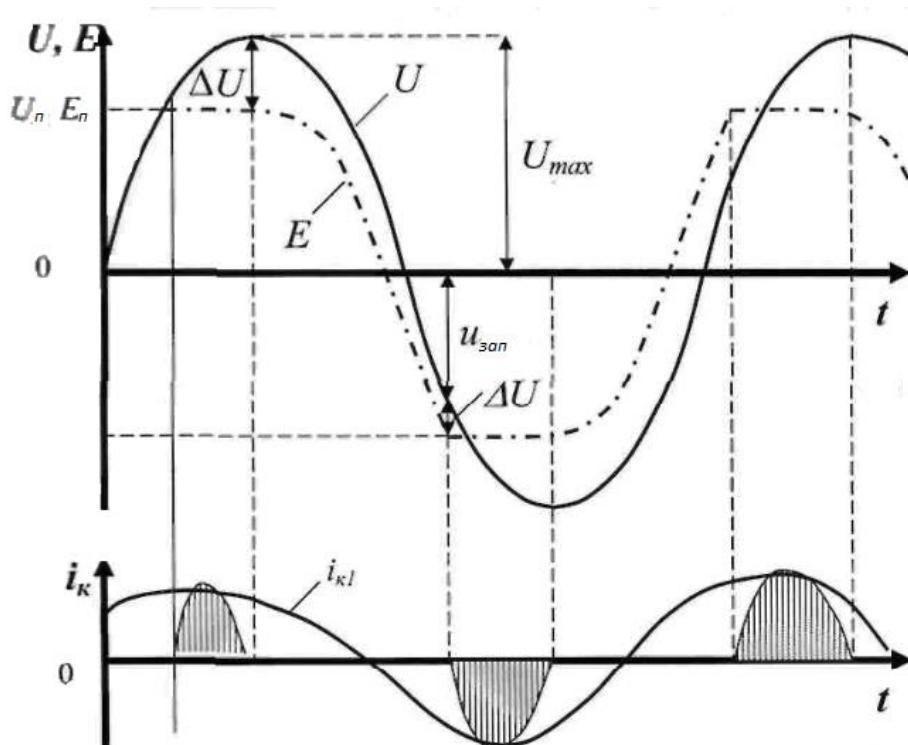


Рис. 3 – Графіки зміни напруги, напруженості поля та струму корони ($i_{к1}$ – перша гармоніка струму корони)

Оскільки позитивні іони малорухомі, то в кожен позитивний напівперіод змінної напруги об'ємний заряд підсилюється і потім (в негативний період) корона запалюється раніше. Негативний об'ємний заряд завдяки більшій рухливості електронів, що прямують в напрямку до землі, – менший, він менше підсилює напруженість поля, тому напруга запалювання корони в позитивний напівперіод вища. Також при змінній напрузі коронування більш інтенсивне, і втрати на корону значно більші, ніж при постійній (рис. 4). Основні втрати електроенергії від коронного розряду обумовлені переміщенням об'ємного заряду до землі, оскільки втрати на іонізацію на порядок менші.

Для того, щоб зменшити втрати електроенергії від корони, а також (що не менш важливо) радіоперешкоди, початкова напруга запалювання корони повинна бути не нижча найбільшої робочої напруги лінії щодо землі.

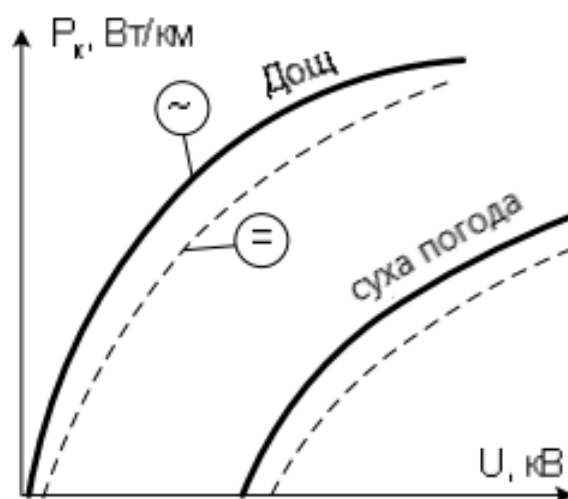


Рис. 4 – Втрати потужності від корони при змінній та постійній напрузі

Як показують розрахунки, діаметр проводів для ПЛ-110 кВ за вимогою відсутності корони повинен бути $\geq 1,2$ см, а для ПЛ-220 кВ $\geq 2,4$ см при нормальних умовах та сухої погоди.

Для ПЛ-330 кВ необхідні проводи більшого діаметра. Ця вимога реалізується в так званих розширених проводах, в яких струмопровідні сегменти розташовані по периметру непровідної центральної серцевини.

Застосовують також розщеплення фаз – коли кожна фаза лінії складається не з одного, а з декількох проводів (n) меншого діаметра (рис. 5). Це дозволяє при необхідному сумарному перерізі проводів істотно знизити максимальну напруженість поля на їхній поверхні. При цьому заряд кожного проводу q_1 складає тільки частину загального заряду розщепленої фази q_ϕ :

$$q_1 = \frac{q_\Phi}{n} = \frac{C_{p\Phi} \cdot U_\Phi}{n}, \quad (5)$$

де n – число проводів у фазі; $C_{p\Phi}$ – ємність одиниці довжини проводу розщепленої фази.

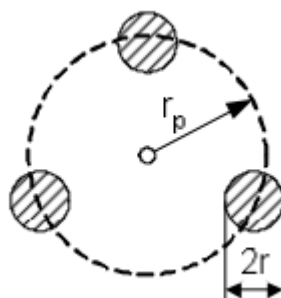


Рис. 5 – Характеристики розщепленої фази

Якщо r_p – радіус розщеплення, то у трифазній системі ємність розщепленої фази

$$C_{p\Phi} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{L_{сг}}{r_e}}, \quad (6)$$

де $L_{сг}$ – середня геометрична відстань між фазами, яка для горизонтального розташування фазних проводів складає $L_{сг} = \sqrt[3]{2L^3} = 1,26 L$, де L – геометрична відстань між центрами фазних проводів ПЛ; $r_e = \sqrt[n]{n \cdot r \cdot r_p^{n-1}}$ – еквівалентний радіус одиночного проводу, який має ту ж ємність, що і розщеплена фаза. Визначена за формулою (6) ємність відноситься до крайніх фаз ПЛ, а ємність середньої фази можна вважати на 5% більшою.

Тоді середня робоча напруженість електричного поля на поверхні проводів розщепленої фази дорівнюватиме:

$$E_{ср} = \frac{q_1}{(2\pi\epsilon_0 \cdot r)} = \frac{U_\Phi}{(n \cdot r \ln \frac{L_{сг}}{r_e})}, \quad (7)$$

а максимальна:

$$E_{\max} = k_{п} E_{ср} = f(n, r_p), \quad (8)$$

де $k_{п} = 1 + (n - 1) \frac{r}{r_p}$ – коефіцієнт, що враховує посилення напруженості поля через вплив зарядів на сусідніх проводах розщепленої фази (рис. 6).

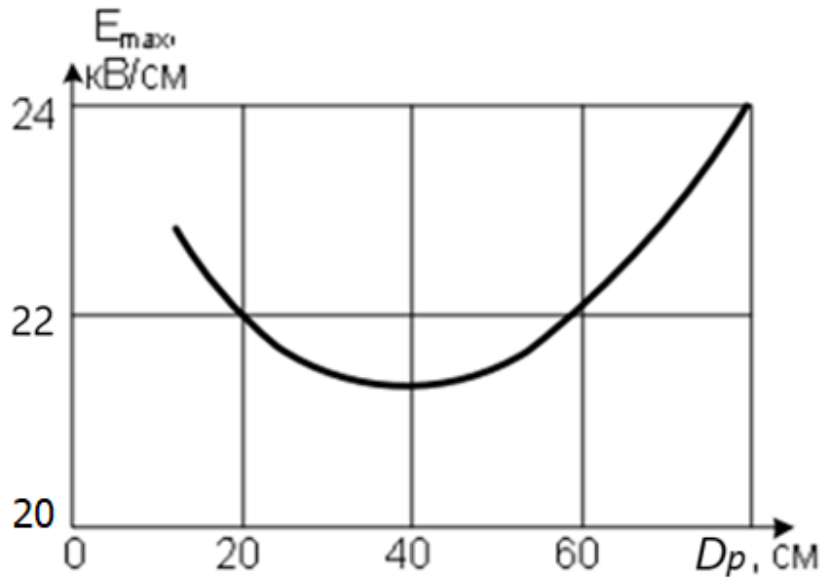


Рис. 6 – Залежність максимальної напруженості електричного поля розщепленої фази від відстані D_p^* між проводами ПЛ-500кВ ($n=3$)

*) На практиці розщеплення проводів частіше характеризується відстанню D_p між розщепленими проводами фази (по їх осям), взаємозв'язок якої з іншими параметрами можна представити у табличному виді:

Число проводів у фазі n	2	3	5
Радіус розщеплення r_p	$\frac{D_p}{2}$	$\frac{D_p}{\sqrt{3}}$	$0,85D_p$
Еквівалентний радіус r_e	$\sqrt{rD_p}$	$\sqrt[3]{rD_p^2}$	$1,21 \sqrt[5]{rD_p^4}$
Коефіцієнт посилення поля k_n	$1 + 2\frac{r}{D_p}$	$1 + 2\sqrt{3}\frac{r}{D_p}$	$1 + 4,7\frac{r}{D_p}$

П

ри
збіл
ьше
нні
 r_p
зме

ншується вплив зарядів сусідніх проводів, але збільшується ємність фази і її заряд. Таким чином, існує оптимальний радіус розщеплення, при якому E_{max} – найменша. Отже з (8) випливає, що мінімальне значення напруженості E_{max} визначається оптимальним радіусом розщеплення r_p і числом одиночних проводів n .

Наявність корони на проводах ПЛ є негативним явищем з таких причин:

- струм коронного розряду – імпульсний зі спектром частот від 0,15 до 1000 МГц, що створює перешкоди у всьому радіо- та теледіапазоні;
- акустичний шум шкідливий для людини і вимагає збільшення зони відчуження ПЛ;

- корона супроводжується створенням поблизу проводів ПЛ і переміщенням до землі об'ємних зарядів, що викликає активні втрати електроенергії, які досягають ~ 40% (і більше) втрат від нагріву проводів.

Однак збільшенням діаметру проводів і зниженням напруженості поля на їхній поверхні неможливо виключити корону при несприятливих атмосферних умовах. В місцях пошкодження проводів і арматури гірлянд, на елементах кріплення (тобто в зонах місцевого посилення поля) навіть в нормальних умовах може виникнути місцева корона. На лінії, якщо робоча напруга перевищує початкову: $U_p > U_{пк}$, виникає загальна корона.

Для розрахунку втрат на корону вводиться поняття критичної напруженості електричного поля

$$E_k = 23,3 \bar{m} \delta \left[1 + \frac{0,62}{(r\delta)^{0,38}} \right], \text{ кВ/см} \quad (9)$$

де r – радіус проводу в [см].

Для кожної фази ПЛ та для кожного виду погоди можна визначити відповідну критичну напругу

$$U_k = \frac{2\pi\epsilon_0 n r E_k}{k_n C_{рф}} \quad (10)$$

з урахуванням того, що для ПЛ-330 кВ $n = 2$; для ПЛ-500 кВ $n = 3$; для ПЛ-750 кВ $n = 5$, причому для середньої фази ємність $C_{рф}$ за (6) збільшується на 5%.

За результатами досліджень проф. В. І. Левітова питомі втрати на корону в $\left[\frac{\text{кВт}}{\text{км}\cdot\text{фаза}} \right]$ можна розрахувати за формулою:

$$P = 350\omega \frac{C_{рф}^2}{C_e - C_{рф}} \cdot U_k^2 \cdot F\left(\frac{U_{фа}}{U_k}\right), \quad (11)$$

де U_k – критичне значення напруги для кожного виду погоди та даної фази (кВ); $U_{фа}$ – амплітуда фазної напруги лінії (кВ); $C_{рф}$ – ємність тієї фази лінії, для якої визначають втрати; C_e – еквівалентна ємність об'ємного заряду корони $\left[\frac{\Phi}{\text{кВ}} \right]$, яка визначається як

$$C_e = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{r_p^2 + 2,5kC_{рф}U_k/\delta\epsilon_0\omega}{r_e}}, \quad (12)$$

де r_e – еквівалентний радіус розщепленого проводу; r_p – радіус розщеплення; k – рухливість іонів, яка для сухої погоди, інію, голольоду та паморозі складає $2200 \frac{\text{см}^2}{\text{кВ}\cdot\text{с}}$, а для туману, дощу, мокрого та сухого снігу – $1100 \frac{\text{см}^2}{\text{кВ}\cdot\text{с}}$; δ – відносна густина повітря; $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-9}$ Ф/км – діелектрична проникність повітря; ω – кутова (кругова) частота змінного струму $\omega = 2\pi f$, де $f = 50$ Гц (60 Гц)

Функція $F\left(\frac{U_{\text{фа}}}{U_{\text{к}}}\right)$ може бути представлена в табличному виді:

$\frac{U_{\text{фа}}}{U_{\text{к}}}$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
F	0,01	0,025	0,055	0,13	0,25	0,40	0,60

При цьому, в проміжних інтервалах $\frac{U_{\text{фа}}}{U_{\text{к}}} = c$, $a < c < b$, значення $F(c)$ можна розрахувати за формулою

$$\lg F(c) = \lg F(a) + \frac{\lg F(b) - \lg F(a)}{b - a} (c - a). \quad (13)$$

За формулами (9) – (13) розраховуються питомі втрати на корону для кожної фази та виду погоди при певному значення амплітуди фазної напруги лінії $U_{\text{фа}}$. Питомі втрати сумуються по фазах та помножуються на довжину лінії. Таким чином можуть бути розраховані сумарні втрати на корону в залежності від напруги лінії та виду погоди.

Різке зростання функції F від відношення $\frac{U_{\text{фа}}}{U_{\text{к}}}$ враховує збільшення втрат на корону при несприятливих погодних умовах (коли зменшуються відповідні значення $E_{\text{к}}, U_{\text{к}}$).

Середньорічні втрати на корону ПЛ визначають з урахуванням тривалості (за рік) тих або інших видів погоди, яка для України орієнтовно складає (більш точно необхідно визначати за метеорологічними даними для області розташування ПЛ!):

- суха погода – 7126 годин;
- сухий сніг – 800 годин;
- дощ – 500 годин;
- іній, гололід, паморозь – 340 годин.

Екологічний вплив коронного розряду на лініях електропередавання створює завади радіо- та телевізійному прийманню, мобільному зв'язку, а також акустичний шум. Основною причиною радіозавад та шуму є стримерна корона на струмопроводах ПЛ. Екологічні питання впливу ПЛ вивчаються у відповідних екологічних дисциплінах.

Варіанти виконання завдання

№, за п.	U_n , кВ	l , км	M	D_p , см	L , м	$T_{с.п.}$, год.	T_d , год.	T_i , год.	T_c , год.
1	500	600	АСК-300×3	40	10,4	7120	500	346	800
2	330	300	АСО-400×2	40	8	7100	600	310	756
3	750	950	АСО-300×5	40	12,4	7016	800	250	700
4	750	880	АСО-240×5	40	12,4	7200	506	410	650
5	750	1050	АСК-300×5	40	12,4	6900	700	560	606
6	500	550	АСО-240×3	40	10,4	7150	650	516	450
7	330	400	АСО-185×2	40	8	7250	656	360	500
8	750	740	АСК-240×5	40	12,4	7306	450	210	800
9	500	450	АСО-300×3	40	10,4	7000	650	410	706
10	330	350	АСО-185×2	40	8	7100	550	516	600