

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра механічної та електричної інженерії

МЕТОДИЧНІ РОЗРОБКИ
для виконання самостійної роботи
з навчальної дисципліни:
«ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ»

Освітньо-професійна програма
Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
галузь знань 14 Електрична інженерія
рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Методичні розробки для виконання самостійної роботи з навчальної дисципліни «Основи електропостачання» для здобувачів рівня вищої освіти перший (бакалаврський) ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної форми навчання. Семенов А. Полтава: ПДАУ, 2025. 37 с.

Автор: Семенов Анатолій, професор кафедри механічної та електричної інженерії, кандидат фізико-математичних наук, доцент.

Рецензент: Харак Руслан, доцент кафедри механічної та електричної інженерії, кандидат технічних наук.

Схвалено і рекомендовано до використання у навчальному процесі:

Кафедрою механічної та електричної інженерії:

Завідувач кафедри, к.т.н., доцент Станіслав ПОПОВ

«01» вересня 2025 р., протокол №1

Радою з якості вищої освіти спеціальності G3 Електрична інженерія:

Голова ради з якості вищої освіти, к.т.н., доцент Юлія БАСОВА

«01» вересня 2025 р., протокол №1

Технічний редактор: к. фіз.-мат., н., доцент кафедри А. Семенов

Комп'ютерна верстка: к. фіз.-мат., н., доцент кафедри А. Семенов

Усі права охороняються. Жодна частина цього видання не може бути відтворена у будь-якій формі без письмової згоди Полтавського державного аграрного університету

©ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

©СЕМЕНОВ А

ЗМІСТ

Вступ	3
Мета та завдання вивчення навчальної дисципліни	4
Тема 1. Стан та тенденції розвитку енергетичної системи України. Умовні графічні позначення в електричних схемах	6
Тема 2. Нормативні документи, що регламентують електропостачання підприємств і населених пунктів.	9
Тема 3. Обґрунтування кількості та місця розміщення трансформаторних підстанцій напругою 10/0,4 кВ. Вибір електричного обладнання трансформаторної підстанції напругою 10/0,4 кВ	12
Тема 4. Розрахунок параметрів захисту лінії електропередачі напругою 0,38 кВ і ТП-10/0,4 кВ.	16
Тема 5. Техніко-економічні показники систем електропостачання.	20
Тема 6. Порівняльна характеристика альтернативних джерел електроенергії та їх значення в сучасних умовах розвитку енергетики.	23
Тема 7. Способи підвищення економічності роботи електричних мереж.	27
Тема 8. Захист електроустановок від прямих ударів блискавки.	
Призначення заземлення та занулення в електроустановках	31
Рекомендовані джерела інформації	36

ВСТУП

Рівень розвитку енергетики та електрифікації є одним із визначальних показників технічного, економічного й соціального розвитку держави. Надійне та безперервне електропостачання є необхідною умовою сталого функціонування промислових підприємств, агропромислового комплексу, транспортної інфраструктури, об'єктів соціальної сфери та житлово-комунального господарства.

Навчальна дисципліна «Основи електропостачання» займає провідне місце у фаховій підготовці здобувачів вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Вона формує базові професійні компетентності, необхідні для розв'язання інженерних задач, пов'язаних із проєктуванням, аналізом і експлуатацією систем електропостачання різного рівня складності. Метою дисципліни є формування у студентів системного розуміння теоретичних основ побудови електричних мереж і електроенергетичних систем, методів розрахунку та аналізу їх режимів роботи, а також набуття практичних навичок забезпечення економічності, надійності, енергоефективності та нормативної якості електричної енергії.

У процесі вивчення дисципліни студенти опановують фундаментальні принципи виробництва, передачі, розподілу та використання електричної енергії, вивчають конструктивні особливості елементів електричних мереж, а також засвоюють основи технічного й нормативного регулювання у сфері електропостачання. Особлива увага приділяється формуванню практичних навичок інженерних розрахунків, аналізу технічних рішень і вибору оптимальних варіантів з урахуванням умов експлуатації, економічних показників та вимог чинних нормативних документів.

Вивчення дисципліни «Основи електропостачання» базується на знаннях, отриманих під час опанування курсів фізики, теоретичних основ електротехніки. Водночас дисципліна створює теоретичну й методичну основу для подальшого вивчення дисциплін, пов'язаних із проєктуванням електричних станцій, підстанцій та електричних мереж.

Методичні розробки з дисципліни «Основи електропостачання» призначені для організації та підтримки самостійної роботи студентів денної форми навчання. Вони містять рекомендації щодо опрацювання теоретичного матеріалу, виконання розрахункових робіт, підготовки до лабораторних і контрольних заходів.

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Мета навчальної дисципліни – сформувати у здобувачів вищої освіти системні знання про принципи побудови та функціонування систем електропостачання, методи розрахунку й аналізу режимів роботи електричних мереж, а також уміння забезпечувати надійність, економічність, енергоефективність і нормативну якість електричної енергії під час проєктування та експлуатації об'єктів електроенергетики.

Основними завданнями дисципліни є: ознайомлення студентів з принципами побудови систем електропостачання споживачів різних категорій надійності; формування навичок складання схем заміщення електричних мереж і окремих елементів систем електропостачання; визначення електричних параметрів повітряних і кабельних ліній електропередачі, трансформаторів та споживачів; виконання розрахунків ustalених режимів роботи електричних мереж, зокрема за напругою, струмами та втратами потужності; аналіз впливу режимів роботи мереж на якість електричної енергії та надійність електропостачання; ознайомлення з основними методами підвищення ефективності та надійності систем електропостачання.

У процесі вивчення дисципліни передбачається засвоєння методів аналізу надійності електропостачання, оцінювання якості електричної енергії, вибору раціональних схем електропостачання з урахуванням категорій споживачів за надійністю, а також застосування технічних і організаційних заходів для зменшення втрат електроенергії та підвищення ефективності роботи електричних мереж.

Студенти повинні набути знань щодо принципів виробництва, передачі, розподілу та використання електричної енергії, конструктивних особливостей повітряних і кабельних ліній електропередачі, електричних підстанцій і розподільчих пристроїв, а також основ нормативного забезпечення у сфері електропостачання. Важливим є формування здатності аналізувати режими роботи мереж в умовах змінного навантаження, аварійних ситуацій і впровадження відновлюваних джерел енергії.

Окрему увагу приділено техніко-економічному обґрунтуванню рішень у системах електропостачання, вибору оптимальних параметрів обладнання, забезпеченню безпечної та надійної експлуатації електричних мереж.

Ці завдання охоплюють такі ключові теми:

1. Стан та тенденції розвитку енергетичної системи України. Умовні графічні позначення в електричних схемах.

2. Нормативні документи, що регламентують електропостачання підприємств і населених пунктів
3. Обґрунтування кількості та місця розміщення трансформаторних підстанцій напругою 10/0,4 кВ. Вибір електричного обладнання трансформаторної підстанції напругою 10/0,4 кВ
4. Розрахунок параметрів захисту лінії електропередачі напругою 0,38 кВ і ТП-10/0,4 кВ
5. Техніко-економічні показники систем електропостачання
6. Порівняльна характеристика альтернативних джерел електроенергії та їх значення в сучасних умовах розвитку енергетики.
7. Способи підвищення економічності роботи електричних мереж.
8. Захист електроустановок від прямих ударів блискавки. Призначення заземлення та занулення в електроустановках

Передумови для вивчення навчальної дисципліни

Перелік дисциплін, що передують її вивченню, відповідно до структурно-логічної схеми освітньо-професійної програми: «Фізика», «Теоретичні основи електротехніки»

Компетентності

загальні:

- ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;
- ЗК5. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел;
- ЗК6. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми;

фахові:

- ФК3. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних систем та мереж, електричної частини станцій і підстанцій та техніки високих напруг.
- ФК6. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами виробництва, передачі та розподілення електричної енергії.

Програмні результати навчання

- ПРН1. Знати і розуміти принципи роботи електричних систем та мереж, силового обладнання електричних станцій та підстанцій, пристроїв захисного заземлення та грозозахисту та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.
- ПРН19. Застосовувати придатні емпіричні і теоретичні методи для зменшення втрат електричної енергії при її виробництві, транспортуванні, розподіленні та використанні.

ТЕМА 1. СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ. УМОВНІ ГРАФІЧНІ ПОЗНАЧЕННЯ В ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМАХ.

Характеристика змісту матеріалу, що є предметом самостійного опрацювання

Структура, принципи функціонування та розвитку енергетичної системи України, а також інженерні основи побудови й відображення елементів систем електропостачання в електричних схемах.

Теоретична частина

Енергетична система України є складною багаторівневою технічною системою, призначеною для виробництва, передачі, розподілу та споживання електричної енергії. Вона об'єднує генерувальні потужності, електричні мережі різних класів напруги, підстанції, системи керування, захисту та диспетчерського управління.

До складу енергетичної системи входять: електростанції різних типів (атомні, теплові, гідроелектростанції, електростанції на відновлюваних джерелах енергії); магістральні електричні мережі напругою 220–750 кВ; розподільчі мережі напругою 0,4–150 кВ; підстанції та розподільчі пристрої; системи релейного захисту, автоматики та диспетчерського керування.

Функціонування об'єднаної енергосистеми базується на принципі балансу виробництва та споживання електричної енергії, що має підтримуватися в реальному часі.

2. Поточний стан генерації електричної енергії в Україні

Структура генерації електроенергії України є диверсифікованою, що підвищує її стійкість, але водночас ускладнює процеси керування режимами.

Основні складові генерації:

Атомна енергетика є базовою складовою енергосистеми та забезпечує значну частку загального виробництва електроенергії. Атомні електростанції характеризуються високою потужністю, низькою собівартістю виробленої електроенергії та обмеженою маневреністю.

Теплова енергетика (ТЕС, ТЕЦ) забезпечує покриття змінних навантажень та відіграє важливу роль у регулюванні режимів енергосистеми. Основними недоліками є залежність від паливних ресурсів і значний вплив на довкілля.

Гідроенергетика виконує функції швидкодіючого резерву та балансує добові графіки навантаження. Гідроакумуляційні електростанції є важливим елементом регулювання частоти та потужності.

Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) включають сонячні, вітрові, біоенергетичні установки. Їхня особливість – нестабільність генерації, що потребує додаткових засобів балансування.

3. Основні тенденції розвитку енергетики України

3.1. Перехід до «зеленої» енергетики

Сучасна енергетична політика орієнтована на: зменшення викидів парникових газів; збільшення частки ВДЕ у загальному енергобалансі; виконання міжнародних кліматичних зобов'язань.

Разом із перевагами, зростання ВДЕ створює додаткові технічні виклики для електричних мереж.

3.2. Модернізація електричних мереж

Актуальними напрямками є: оновлення зношеного електрообладнання; зменшення технічних втрат електроенергії; підвищення надійності електропостачання споживачів; впровадження цифрових систем керування.

3.3. Впровадження розумних мереж (Smart Grid)

Розумні мережі передбачають: автоматизоване керування режимами; двосторонній обмін даними між споживачем і мережею; інтеграцію накопичувачів енергії та розподіленої генерації; активну участь споживача в управлінні навантаженням.

4. Основні виклики енергетичної системи України

До ключових проблем належать: енергетична безпека та захист критичної інфраструктури; залежність від імпорту енергоносіїв; складність балансування енергосистеми за високої частки ВДЕ; фізичний та моральний знос електричних мереж; необхідність синхронізації з європейською енергосистемою ENTSO-E.

5. Умовні графічні позначення в електричних схемах

Умовні графічні позначення є уніфікованою мовою електроенергетики, яка забезпечує однозначне розуміння схем незалежно від країни чи виробника обладнання.

Позначення регламентуються: ДСТУ (державні стандарти України); стандартами ІЕС та ISO.

До основних елементів схем належать: генератори; трансформатори; автоматичні вимикачі; вимикачі навантаження; шини; кабельні та повітряні лінії; споживачі електричної енергії.

Уніфікація символів є критично важливою для: уникнення помилок при проєктуванні; забезпечення безпеки експлуатації; спрощення читання та аналізу схем.

Завдання

1. Ознайомитися з поточним станом енергетичної системи України, її структурою, основними показниками та викликами.

2. Проаналізувати основні тенденції розвитку енергетичного сектору, включаючи інтеграцію з європейською енергосистемою, розвиток відновлюваної енергетики та модернізацію електромереж.

3. Вивчіть умовні графічні позначення, що використовують в електричних схемах, та їхнє застосування.

Підготувати відповіді на питання:

1. Описати поточний стан енергетичної системи України, враховуючи структуру генерації електроенергії (теплова, атомна, гідроенергетика, ВДЕ).

2. Визначте основні тенденції розвитку енергетичного сектору України: - перехід до «зеленої» енергетики, - модернізація електричних мереж, - впровадження розумних мереж (Smart grid).

3. Проаналізуйте основні виклики енергетичної системи: енергетична безпека, залежність від імпорту енергоносіїв, балансування енергосистеми тощо.

4. Дослідити умовні графічні визначення, що використовуються в електричних схемах згідно з ДСТУ та міжнародними стандартами.

5. Виконайте завдання: - накресліть типову електричну схему з використанням основних позначень (трансформатор, автоматичний вимикач, генератор, споживач, шини, кабельні лінії тощо). Пояснювати призначення та використання кожного елемента схеми.

Питання для самоконтролю

1. Поточний стан енергетичної системи України.

2. Яким чином розподіляються обсяги генерації між теплою, атомною, гідро- та відновлюваною енергетикою.

3. Актуальні виклики та проблеми енергетичної системи.

4. Як залежність від імпорту енергоносіїв впливає на стабільність енергопостачання.

5. Які способи балансування енергосистеми впроваджуються або плануються.

6. Чому уніфікація та стандартизація символів мають критичне значення для безпомилкового читання та проектування електричних схем.

Література: [1, 2, 4, 5, 7, 12]

ТЕМА 2. НОРМАТИВНІ ДОКУМЕНТИ, ЩО РЕГЛАМЕНТУЮТЬ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ І НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ.

Характеристика змісту матеріалу, що є предметом самостійного опрацювання

Загальний огляд законодавчої бази. Ключові закони України, що регулюють електроенергетичну сферу

Теоретична частина

1. Загальний огляд законодавчої бази електропостачання в Україні

Законодавча база електроенергетичної галузі України сформована з урахуванням ринкових принципів, європейського досвіду та вимог енергетичної безпеки. Вона охоплює: закони України, що визначають загальні правові засади функціонування електроенергетики; підзаконні нормативно-правові акти (постанови, правила, накази); державні будівельні норми та стандарти; технічні правила експлуатації електроустановок.

Основною метою нормативного регулювання є: створення конкурентного та прозорого ринку електричної енергії; забезпечення надійного та безпечного електропостачання споживачів; захист прав споживачів і операторів електричних мереж; підвищення енергоефективності та стимулювання використання відновлюваних джерел енергії.

2. Ключові закони України у сфері електропостачання

Закон України «Про ринок електричної енергії» є базовим нормативним актом, який регламентує функціонування сучасного ринку електроенергії. Він визначає: структуру ринку електричної енергії; права та обов'язки учасників ринку; принципи діяльності операторів систем передачі та розподілу; умови постачання електричної енергії споживачам.

Закон України «Про електроенергетику» (у частині, що залишається чинною) зберігає значення для регулювання окремих технічних та організаційних аспектів діяльності в електроенергетичній галузі, зокрема в

частині експлуатації об'єктів електроенергетики.

3. Правила та нормативні акти ринку електричної енергії

Важливу роль у практичній реалізації законодавства відіграють Правила роздрібного ринку електричної енергії, які встановлюють: порядок взаємовідносин між споживачами та постачальниками; умови укладання договорів; вимоги до комерційного обліку електричної енергії; права та обов'язки сторін у разі порушень режимів електроспоживання.

Правила приєднання електроустановок до електричних мереж визначають: порядок подання заяви на приєднання; умови технічного приєднання; вимоги до проєктної документації; відповідальність сторін у процесі приєднання.

Ці правила є обов'язковими для підприємств, організацій і фізичних осіб незалежно від форми власності.

4. Технічна експлуатація електроустановок споживачів

Одним із ключових документів є Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС). Вони регламентують: вимоги до технічного стану електроустановок; порядок їх експлуатації, обслуговування та ремонту; організацію технічного нагляду; вимоги до персоналу та його допуску до роботи.

Дотримання ПТЕЕС є обов'язковою умовою забезпечення електробезпеки, запобігання аваріям та нещасним випадкам.

5. Нормативи проєктування електрообладнання

Проєктування систем електропостачання здійснюється відповідно до ДБН В.2.5-23:2010 «Проєктування електрообладнання об'єктів цивільного призначення», які встановлюють: вимоги до схем електропостачання; вибір електрообладнання та апаратури захисту; заходи з електробезпеки та пожежної безпеки; вимоги до енергоефективності.

Ці норми є обов'язковими при проєктуванні житлових, громадських і виробничих об'єктів.

6. Накази центральних органів виконавчої влади

Накази Міністерства енергетики та інших уповноважених органів деталізують та уточнюють положення законів і правил, встановлюючи: технічні вимоги до електрообладнання; порядок проведення перевірок і контролю; вимоги до охорони праці та електробезпеки.

7. Значення дотримання нормативних документів

Недотримання вимог нормативних документів може призвести до: порушення надійності електропостачання; аварій та пошкодження

обладнання; загрози життю та здоров'ю персоналу; адміністративної та матеріальної відповідальності.

Тому знання та правильне застосування нормативної бази є обов'язковою складовою професійної підготовки інженера-електрика.

Завдання

1. Ознайомитися зі структурою та змістом основних нормативно-правових актів, що регулюють процес електропостачання на території України.
2. Виділити ключові вимоги нормативних документів до організації електропостачання підприємств та населених пунктів.
3. Розглянути особливості технічної експлуатації електроустановок споживачів та безпеки енергопостачання.
4. Підготувати відповіді на наведені нижче питання.
5. Сформулювати перелік основних документів, якими необхідно керуватися при проектуванні, будівництві та експлуатації систем електропостачання.

Підготувати відповіді на питання:

1. Закон України «Про ринок електричної енергії».
2. Закон України «Про електроенергетику» (у частині, що залишається чинною).
3. Правила роздрібного ринку електричної енергії.
4. Правила приєднання електроустановок до електричних мереж.
5. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС).
6. ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення».
7. Накази Міністерства енергетики та вугільної промисловості України.

Питання для самоконтролю

1. Які основні закони України регулюють сферу електропостачання та ринку електричної енергії?
2. Які правила та нормативні документи регламентують технічну експлуатацію електроустановок споживачів?
3. Які основні етапи приєднання нової електроустановки (об'єкта) до електричних мереж?

4. Чому енергоефективність та використання альтернативних джерел енергії набувають особливого значення в сучасному законодавстві?

5. Яка роль державних органів у здійсненні нагляду за безпекою та дотриманням вимог електробезпеки на підприємствах?

6. Які основні ризики можуть виникнути в разі недотримання нормативних документів з електропостачання?

Література: [2, 3, 4, 7, 9]

ТЕМА 3. ОБҐРУНТУВАННЯ КІЛЬКОСТІ ТА МІСЦЯ РОЗМІЩЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ НАПРУГОЮ 10/0,4 кВ. ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ НАПРУГОЮ 10/0,4 кВ

Характеристика змісту матеріалу, що є предметом самостійного опрацювання

Критерії та фактори до трансформаторних підстанцій (ТП) та їхніх потужностей з урахуванням характеру навантаження в мікрорайоні чи на підприємстві

Теоретична частина

Трансформаторні підстанції напругою 10/0,4 кВ є ключовими елементами систем електропостачання населених пунктів, промислових підприємств і об'єктів агропромислового комплексу. Вони забезпечують пониження напруги з розподільчого рівня 6–10 кВ до низьковольтного рівня 0,4 кВ, а також виконують функції розподілу електроенергії, захисту мереж і підвищення надійності електропостачання споживачів.

Раціональне розміщення трансформаторних підстанцій і правильний вибір їх обладнання безпосередньо впливають на: втрати електричної енергії в мережах; рівень напруги у споживачів; надійність і безпеку електропостачання; капітальні та експлуатаційні витрати.

1. Критерії визначення кількості трансформаторних підстанцій та їх потужностей

Кількість трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ і їх установлені потужності визначаються на основі електричних, економічних та експлуатаційних критеріїв.

До основних факторів належать: сумарна розрахункова потужність

навантаження мікрорайону або підприємства; характер навантаження (побутове, промислове, сільськогосподарське, змішане); категорія надійності електропостачання споживачів; перспектива розвитку навантаження; допустимі втрати напруги в мережах 0,4 кВ.

У практиці проектування часто застосовують принцип наближення ТП до центрів електричних навантажень, що дозволяє зменшити довжину низьковольтних ліній і втрати електроенергії.

2. Вплив мереж 0,4 кВ на розміщення ТП

Довжина та перетин розподільчих ліній напругою 0,4 кВ є визначальними при виборі місця встановлення трансформаторної підстанції.

Основні положення: збільшення довжини ліній 0,4 кВ призводить до зростання втрат напруги та потужності; обмеження за допустимим падінням напруги зумовлюють необхідність збільшення кількості ТП; більший перетин кабелів підвищує вартість мереж, але зменшує втрати.

Таким чином, розміщення ТП є компромісом між капітальними витратами на підстанції та витратами на мережі 0,4 кВ.

3. Фактори вибору місця розташування ТП 10/0,4 кВ

При виборі місця розміщення трансформаторної підстанції враховують:

Технічні фактори: мінімальна відстань до центрів навантаження; зручність приєднання до мережі 10 кВ; забезпечення умов охолодження трансформаторів.

Економічні фактори: вартість будівельно-монтажних робіт; довжина та тип кабельних ліній; витрати на експлуатацію.

Містобудівні та експлуатаційні фактори: щільність забудови; доступність для обслуговування; можливість подальшої модернізації.

Безпекові фактори: дотримання санітарних і пожежних норм; електробезпека для персоналу та населення; обмеження щодо розміщення в житловій забудові.

4. Типи та склад електричного обладнання ТП 10/0,4 кВ

Типова трансформаторна підстанція 10/0,4 кВ включає: силові трансформатори (один або два); високовольтний розподільчий пристрій (10 кВ); низьковольтний розподільчий пристрій (0,4 кВ); системи релейного захисту та автоматики; систему заземлення; допоміжні системи (освітлення, вентиляція, сигналізація).

5. Вибір силових трансформаторів

При виборі потужності та типу трансформаторів враховують: розрахункове навантаження; режим роботи (тривалий, змінний); умови

встановлення (всередині приміщень або зовні); вимоги пожежної безпеки.

Маслонаповнені трансформатори: висока перевантажувальна здатність; ефективно охолодження; потреба у підвищених заходах пожежної безпеки.

Сухі трансформатори: підвищена пожежобезпека; можливість встановлення в будівлях; вища вартість та менша перевантажувальна здатність.

6. Захист і селективність у ТП 10/0,4 кВ

Селективність захисту забезпечує локалізацію аварії без відключення справних ділянок мережі.

Вона досягається: правильним вибором уставок захисних апаратів; узгодженням характеристик захисту на стороні 10 кВ і 0,4 кВ; застосуванням автоматичних вимикачів із часовими затримками.

7. Системи заземлення та електробезпека

На ТП 10/0,4 кВ застосовують системи заземлення TN, TT або IT залежно від: типу споживачів; вимог електробезпеки; умов експлуатації.

Заземлення забезпечує: захист людей від ураження електричним струмом; коректну роботу апаратів захисту; зниження перенапруг.

8. Допоміжні системи та засоби безпеки

До обов'язкових систем належать: пожежна сигналізація; вентиляція та охолодження; освітлення; блокування та попереджувальні знаки; система обліку електроенергії.

9. Економічна оцінка рішень

Економічна доцільність вибору кількості ТП і схеми електропостачання оцінюється за: капітальними витратами; експлуатаційними витратами; втратами електроенергії; показниками надійності.

Оптимальним є варіант із мінімумом приведених витрат за умови дотримання технічних і нормативних вимог.

10. Містобудівні та пожежні вимоги

При розміщенні ТП у населених пунктах необхідно дотримуватися: вимог ДБН щодо відстаней до будівель; норм пожежної безпеки; санітарних обмежень; вимог щодо шуму та електромагнітних полів.

Завдання

1. Дослідити критерії визначення кількості трансформаторних підстанцій (ТП) та їхніх потужностей з урахуванням характеру навантаження в мікрорайоні чи на підприємстві.

2. Вивчити фактори, що впливають на вибір місця розміщення ТП 10/0,4 кВ (технічні, економічні, містобудівні, безпекові тощо).
3. Ознайомитися з основними типами електричного обладнання, що використовується у ТП 10/0,4 кВ, та критеріями його вибору.
4. Підготувати відповіді на наведені нижче питання.
5. Скласти перелік питань для самоперевірки, що охоплюють вивчений матеріал.

Підготувати відповіді на питання:

1. Які основні фактори впливають на визначення кількості трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ у проєкті електропостачання?
2. Як довжина та перетин розподільних ліній 0,4 кВ визначають місце розташування ТП?
3. Які критерії враховуються при виборі потужності та типу силових трансформаторів (маслонаповнених/сухих)?
4. Як реалізується селективність захисту між високовольтним і низьковольтним розподільчим пристроєм?
5. Чим зумовлюється необхідність застосування систем заземлення різних типів (TN, TT, IT) на ТП 10/0,4 кВ?
6. Які додаткові (допоміжні) системи й засоби безпеки обов'язкові для ефективної та безпечної роботи трансформаторної підстанції?
7. Як оцінити економічну доцільність вибору кількості ТП та схеми електропостачання в загальному проєкті?
8. Які вимоги містобудівних норм та правил пожежної безпеки слід урахувувати при розміщенні трансформаторних підстанцій у населеному пункті?

Питання для самоконтролю

1. Які основні фактори впливають на визначення кількості трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ у проєкті?
2. Як впливає довжина розподільних ліній 0,4 кВ на розташування ТП і чому?
3. Чим зумовлений вибір маслонаповненого або сухого трансформатора для ТП?
4. Які основні види устаткування встановлюються на стороні 10 кВ та які критерії їх вибору?
5. Які вимоги висуваються до розподільного пристрою 0,4 кВ та як досягти селективності захисту?

6. Які типи систем заземлення можуть застосовуватися у ТП 10/0,4 кВ та в чому їхні особливості?

7. Які додаткові (допоміжні) системи можуть бути потрібні для безпечної та надійної експлуатації трансформаторної підстанції?

Література: [1, 2, 3, 7]

ТЕМА 4. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЗАХИСТУ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ НАПРУГОЮ 0,38 КВ І Т+П-10/0,4 КВ

Характеристика змісту матеріалу, що є предметом самостійного опрацювання

Лінії електропередачі напругою 0,38 кВ і ТП-10/0,4 кВ

Теоретична частина

Лінії електропередачі напругою 0,38 кВ і трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ є найбільш поширеними елементами систем розподілу електричної енергії. Їх надійна та безпечна робота значною мірою залежить від правильно організованого релейного та апаратного захисту, здатного своєчасно виявляти аварійні режими та відключати пошкоджені ділянки мережі.

Захист повинен забезпечувати: захист обладнання від струмів короткого замикання (КЗ); захист від перевантажень; захист людей від ураження електричним струмом; селективне (вибіркове) відключення аварійної ділянки.

1. Основні типи та завдання захисту ЛЕП 0,38 кВ і ТП 10/0,4 кВ

У мережах низької напруги (0,38 кВ) та на стороні 10 кВ трансформаторних підстанцій застосовують такі основні види захисту: захист від коротких замикань – запобігає термічному та електродинамічному пошкодженню обладнання; захист від перевантаження – обмежує тривале перевищення допустимого струму; захист від замикань на землю; диференційний захист (ПЗВ, УЗО) – забезпечує електробезпеку людей у мережах 0,38 кВ; резервний захист – підвищує надійність електропостачання.

Для сторони 10 кВ ТП зазвичай застосовують:

- високовольтні запобіжники;
- вимикачі навантаження з запобіжниками;
- вакуумні вимикачі з максимальним струмовим захистом.

2. Вихідні дані для розрахунку струмів короткого замикання

Для виконання розрахунків параметрів захисту необхідно зібрати такі вихідні дані: номінальна напруга мережі (10 кВ, 0,4 кВ); потужність і схема з'єднання силового трансформатора; напруга короткого замикання трансформатора (% U_k); довжина, тип і переріз ліній електропередачі; матеріал провідників; схема заземлення (TN, TT, IT); тип і параметри апаратів захисту.

3. Розрахунок струмів короткого замикання

3.1. Струми КЗ на стороні 0,4 кВ

На шині 0,4 кВ трансформаторної підстанції розраховують: трифазний струм короткого замикання – визначає вимикальну здатність апаратів; однофазний струм КЗ – критичний для перевірки спрацювання захистів у мережах із глухозаземленою нейтраллю.

Розрахунок виконується з урахуванням:

- опору трансформатора;
- опору ліній 0,38 кВ;
- перехідних контактних опорів.

У кінці лінії 0,38 кВ струми КЗ є мінімальними, що особливо важливо для перевірки чутливості захисту.

3.2. Струми КЗ на стороні 10 кВ

На стороні 10 кВ визначають: струм КЗ у точці приєднання трансформатора; струм КЗ у комірці високовольтного розподільчого пристрою.

Ці значення використовують для вибору: високовольтних запобіжників; уставок максимального струмового захисту; вимикальної здатності апаратів.

4. Вибір апаратів захисту для ЛЕП 0,38 кВ

У мережах 0,38 кВ застосовують: автоматичні вимикачі; плавкі запобіжники; пристрої захисного вимкнення (ПЗВ).

При виборі автоматичних вимикачів враховують: номінальний струм; характеристику спрацювання (В, С, D); граничну вимикальну здатність; здатність до селективної роботи.

Параметри захисту від перевантаження (струм і час спрацювання) повинні: не спрацьовувати при робочих режимах; гарантовано відключати мережу при аваріях.

5. Захист трансформатора та сторони 10 кВ

Для захисту трансформатора 10/0,4 кВ використовують: високовольтні запобіжники; вимикачі з релейним захистом; комбіновані пристрої.

При виборі враховують: номінальну потужність трансформатора; струм холостого ходу; пускові струми; струми короткого замикання.

Захист має відключати трансформатор при внутрішніх пошкодженнях і не спрацьовувати при допустимих перевантаженнях.

6. Селективність захисту

Селективність полягає в тому, що при аварії відключається лише пошкоджена ділянка, а решта мережі залишається під напругою.

Вона забезпечується: узгодженням уставок автоматів і запобіжників; застосуванням часових затримок; правильним вибором характеристик апаратів захисту.

Між ТП 10/0,4 кВ і лініями 0,38 кВ селективність досягається шляхом: встановлення більш «чутливих» захистів на лініях; більших уставок і затримок на вводі 0,4 кВ.

7. Диференційний захист (ПЗВ) у мережах 0,38 кВ

ПЗВ реагує на струм витоку та є ефективним засобом захисту: людей від ураження електричним струмом; електроустановок від пожеж.

При виборі ПЗВ враховують: номінальний струм; диференційний струм спрацювання (30 мА, 100 мА, 300 мА); тип навантаження (АС, А, В).

8. Узагальнення та практичне значення розрахунків

Розрахунок параметрів захисту є обов'язковим етапом проектування систем електропостачання. Він дозволяє: забезпечити електробезпеку; знизити ризик аварій; підвищити надійність і довговічність обладнання; оптимізувати витрати на експлуатацію.

Завдання

1. Ознайомитися з основними принципами організації захисту ліній електропередачі (ЛЕП) 0,38 кВ і трансформаторних підстанцій (ТП) 10/0,4 кВ.

2. Вивчити методику розрахунку струмів короткого замикання (КЗ) для ЛЕП 0,38 кВ та високовольтного (10 кВ) і низьковольтного (0,4 кВ) розподільчого пристрою ТП.

3. Провести орієнтовний розрахунок параметрів КЗ у точках, де встановлені апарати захисту (автоматичні вимикачі, плавкі запобіжники, реле).

4. Обґрунтувати вибір типів і номіналів апаратів захисту (високовольтних і низьковольтних) з урахуванням вимог надійності та селективності.

5. Розглянути приклад координації (селективності) захистів між

лінією 0,38 кВ і ТП 10/0,4 кВ.

Підготувати відповіді на питання:

1. Які основні типи та завдання захисту передбачені для ЛЕП 0,38 кВ і ТП 10/0,4 кВ?
2. Які вихідні дані необхідно зібрати для розрахунку струмів короткого замикання в мережах 0,38 кВ і на підстанції 10/0,4 кВ?
3. Як визначають розрахункові значення трифазного та однофазного струмів короткого замикання на шині 0,4 кВ?
4. Які особливості потрібно враховувати при виборі апаратів захисту за умови максимальних та мінімальних струмів КЗ?
5. У чому полягає принцип селективності захисту та як його забезпечують між високовольтними і низьковольтними пристроями?
6. Як вибираються параметри захисту від перевантаження (максимальний струм, час спрацювання) у мережах 0,38 кВ?
7. Які технічні та експлуатаційні критерії впливають на вибір високовольтних запобіжників або вимикачів для сторони 10 кВ?
8. Чому диференційний захист (ПЗВ) є важливим у мережах 0,38 кВ і за якими критеріями обирають його параметри?

Питання для самоперевірки

1. Які основні типи захистів застосовують для ЛЕП 0,38 кВ і на стороні 10 кВ трансформаторної підстанції?
2. Як визначити струми короткого замикання на шинах низької напруги (0,4 кВ) ТП і в кінці розподільчої лінії 0,38 кВ?
3. Чому важливо враховувати як максимальні, так і мінімальні значення струмів КЗ?
4. Які вихідні дані необхідні для розрахунку захистів і вибору вимикальних апаратів?
5. У чому полягають особливості вибору високовольтних запобіжників/вимикачів для захисту трансформатора?
6. Як забезпечується селективність між автоматом вводу 0,4 кВ у ТП та лінійними автоматами 0,38 кВ?
7. Яка роль диференційного захисту (ПЗВ) у мережах 0,38 кВ і чому його застосування вважається ефективним щодо безпеки персоналу та споживачів?

Література: [1, 2, 6, 7, 8, 11, 14].

ТЕМА 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Характеристика змісту матеріалу, що є предметом самостійного опрацювання

Обґрунтування техніко-економічних показників систем електропостачання міст

Теоретична частина

Системи електропостачання міст і населених пунктів є складними інженерними комплексами, ефективність яких визначається не лише технічними параметрами, а й економічною доцільністю прийнятих рішень. У сучасних умовах проєктування та експлуатації електричних мереж ключового значення набуває техніко-економічне обґрунтування (ТЕО), яке дозволяє забезпечити оптимальне співвідношення між надійністю електропостачання, якістю електричної енергії та витратами на створення й утримання системи.

Техніко-економічні показники використовують для: порівняння альтернативних варіантів схем електропостачання; вибору кількості та потужності трансформаторних підстанцій; визначення оптимальних перерізів ліній електропередачі; оцінювання доцільності впровадження нових технологій і обладнання.

1. Сутність техніко-економічного аналізу систем електропостачання

Техніко-економічний аналіз полягає у кількісній оцінці витрат і технічних ефектів, що виникають у процесі проєктування та експлуатації систем електропостачання. Його метою є вибір такого варіанта системи, який забезпечує виконання нормативних технічних вимог за мінімальних приведених витрат.

У загальному випадку розглядають: капітальні витрати – витрати на будівництво підстанцій, прокладання ліній, закупівлю обладнання; експлуатаційні витрати – витрати на технічне обслуговування, ремонти, оплату електричних витрат; втрати електричної енергії в елементах мережі; показники надійності електропостачання.

2. Основні техніко-економічні показники

До основних показників, що застосовуються для оцінювання систем електропостачання, належать:

2.1. Капітальні витрати

Капітальні витрати включають: вартість трансформаторних підстанцій; вартість повітряних і кабельних ліній; вартість комутаційної та захисної апаратури; витрати на проєктні й будівельно-монтажні роботи.

Зростання капітальних витрат зазвичай призводить до підвищення надійності та зменшення втрат, але потребує економічного обґрунтування.

2.2. Втрати електричної енергії

Втрати електроенергії є одним із найважливіших економічних показників. Вони виникають: у лініях електропередачі (активні втрати); у трансформаторах (втрати холостого ходу та короткого замикання); у комутаційних апаратах.

Зменшення втрат досягається шляхом: оптимального вибору перерізів провідників; раціонального розміщення трансформаторних підстанцій; застосування енергоефективного обладнання.

2.3. Приведені витрати

Для порівняння варіантів систем електропостачання застосовують показник приведених витрат, який об'єднує капітальні та експлуатаційні витрати з урахуванням нормативного коефіцієнта ефективності капіталовкладень.

Оптимальним вважається варіант із мінімальними приведеними витратами за умови виконання всіх технічних і нормативних вимог.

2.4. Показники надійності електропостачання

Надійність є важливою технічною та економічною характеристикою. Вона визначається: кількістю та тривалістю перерв електропостачання; категорією надійності споживачів; структурою мережі (радіальна, кільцева, сітчаста).

Підвищення надійності зазвичай супроводжується зростанням капітальних витрат, тому необхідний компроміс між технікою та економікою.

3. Обґрунтування схем електропостачання міст

При виборі схеми електропостачання міста враховують: щільність і характер забудови; структуру електричних навантажень; перспективи розвитку міста; вимоги до надійності електропостачання.

Порівнюють, як правило: кількість трансформаторних підстанцій; довжину та тип ліній; рівень втрат електроенергії; сумарні приведені витрати.

Раціональною вважається схема, яка забезпечує допустимі рівні напруги та надійності за мінімальних витрат.

4. Вплив вибору електрообладнання на техніко-економічні показники

Вибір трансформаторів, кабелів, апаратів захисту суттєво впливає на

економіку системи: трансформатори з меншими втратами мають вищу вартість, але знижують експлуатаційні витрати; більші перерізи кабелів зменшують втрати, але збільшують капітальні витрати; автоматизовані системи керування підвищують надійність, але потребують додаткових інвестицій.

5. Енергоефективність і сучасні тенденції

У сучасних системах електропостачання дедалі більшого значення набувають: енергоефективні технології; інтеграція відновлюваних джерел енергії; застосування інтелектуальних мереж (Smart Grid).

Ці рішення підвищують початкові витрати, але забезпечують довгостроковий економічний ефект.

Завдання

1. Дослідити основні типи захисту, що застосовуються для ліній електропередачі напругою 0,38 кВ та трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ (максимальний струмовий захист, захист від перевантаження, диференційний захист тощо).

2. Зібрати вихідні дані для розрахунку струмів короткого замикання (КЗ) у мережі 0,38 кВ та на стороні 0,4 кВ трансформаторної підстанції.

3. Виконати орієнтовний розрахунок трифазних і однофазних струмів короткого замикання на шинах 0,4 кВ та в кінці лінії 0,38 кВ.

4. Обґрунтувати вибір апаратів захисту з урахуванням розрахованих значень КЗ (вимикальна здатність, номінальна сила струму, уставки захисту) та селективності.

5. Розглянути приклад координації (селективності) захистів між високовольтним захистом (10 кВ) і низьковольтним захистом (0,4 кВ) трансформаторної підстанції.

Підготувати відповіді на питання:

1. У чому полягає різниця між максимальним струмовим захистом та захистом від перевантаження, і чому вони обидва необхідні в мережах 0,38 кВ і на стороні 10/0,4 кВ?

2. Які основні вихідні дані потрібні для розрахунку струмів короткого замикання в мережі 0,38 кВ та на шинах 0,4 кВ трансформаторної підстанції?

3. Як розраховується трифазний струм короткого замикання на шині 0,4 кВ та у кінці лінії 0,38 кВ? Яку роль у цьому відіграють параметри трансформатора і лінії?

4. Чому важливо враховувати особливості однофазного короткого замикання в різних системах заземлення (TN та інші)?
5. Які вимоги до вимикальної здатності та уставок спрацювання висуваються до високовольтних апаратів (10 кВ) і чому саме?
6. Як забезпечується селективність між високовольтним захистом (10 кВ) та низьковольтним захистом (0,38 кВ) в одній трансформаторній підстанції?
7. У чому полягає сенс координації (селективності) захистів у межах мережі 0,38 кВ і які методи застосовуються для досягнення селективності?
8. Як уставки термомагнітних розчіплювачів пристосовуються до умов короткочасних перевантажень, зокрема при пуску двигунів у мережі 0,38 кВ?

Питання для самоконтролю

1. Які основні типи захисту застосовуються для ЛЕП 0,38 кВ і трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ?
2. Які вихідні дані необхідні для визначення струмів короткого замикання в мережах 0,38 кВ і на стороні 0,4 кВ трансформатора?
3. Як розрахувати трифазний струм короткого замикання на шинах 0,4 кВ та в кінці лінії 0,38 кВ?
4. Чому важливо враховувати і мінімальний, і максимальний струми КЗ під час вибору апаратів захисту?
5. Як забезпечується селективність між захистом на стороні 10 кВ і захистом на стороні 0,4 кВ трансформаторної підстанції?
6. За якими критеріями обирають тип та номінали вимикачів (автоматичних, диференційних) на стороні низької напруги?
7. У чому полягає відмінність між максимальним струмовим захистом та диференційним захистом (ПЗВ) у мережах 0,38 кВ?

Література: [1, 4, 6, 7, 8]

ТЕМА 6. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ЇХ ЗНАЧЕННЯ В СУЧАСНИХ УМОВАХ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ

*Характеристика змісту матеріалу,
що є предметом самостійного опрацювання*

Альтернативні джерела електроенергії та їх значення в сучасних умовах розвитку енергетики

Теоретична частина

Сучасний розвиток енергетики характеризується переходом від традиційної моделі, що базується на викопних паливних ресурсах, до сталих енергетичних систем, у яких провідну роль відіграють альтернативні (відновлювані) джерела електроенергії. Зростання енергоспоживання, обмеженість викопних ресурсів, посилення екологічних вимог та необхідність підвищення енергетичної безпеки зумовлюють актуальність широкого впровадження альтернативних джерел енергії (АДЕ) у світовій та національній енергетиці.

Альтернативні джерела електроенергії характеризуються відновлюваністю, зниженим негативним впливом на довкілля та можливістю децентралізованої генерації, що суттєво змінює підходи до проектування та експлуатації систем електропостачання.

1. Поняття та класифікація альтернативних джерел електроенергії

Альтернативні джерела електроенергії – це джерела, що використовують природні відновлювані енергетичні потоки та не призводять до вичерпання паливних ресурсів.

До основних видів АДЕ належать: сонячна енергетика (фотоелектричні та теплові установки); вітрова енергетика; гідроенергетика (малі, середні та великі ГЕС); біоенергетика (біомаса, біогаз, відходи); геотермальна енергетика; енергія морів і океанів (припливно-відпливна, хвильова).

Кожен вид АДЕ має специфічні технічні, економічні та природно-кліматичні особливості, що визначають доцільність його використання.

2. Сонячна та вітрова енергетика: порівняльна характеристика

Сонячна енергетика базується на прямому перетворенні сонячного випромінювання в електричну енергію за допомогою фотоелектричних модулів. До її переваг належать: екологічна чистота; модульність і масштабованість; можливість децентралізованого електропостачання.

Недоліками є: залежність від добових і сезонних умов; відносно низька щільність потужності; потреба у системах накопичення або резервування.

Вітрова енергетика використовує кінетичну енергію повітряних мас. Вона характеризується: високою ефективністю у регіонах зі стабільними вітрами; відносно низькою собівартістю електроенергії після введення в експлуатацію.

Водночас її недоліками є: нерівномірність генерації; вплив на ландшафт і шумове навантаження; складність інтеграції у слабкі електричні мережі.

3. Гідроенергетика та її екологічні аспекти

Гідроенергетика є одним із найбільш розвинених і потужних видів альтернативної генерації. Вона забезпечує: високу маневреність; можливість регулювання навантаження; тривалий термін експлуатації обладнання.

Однак будівництво великих гідроелектростанцій може спричиняти: затоплення значних територій; зміну гідрологічного режиму річок; негативний вплив на екосистеми.

Тому в сучасних умовах пріоритет надається малим ГЕС та екологічно обґрунтованим проектам.

4. Біоенергетика як елемент циркулярної економіки

Біоенергетика базується на використанні біомаси, аграрних і побутових відходів. Її основними перевагами є: утилізація органічних відходів; зменшення навантаження на сміттєзвалища; можливість локального виробництва енергії.

Економічна доцільність біоенергетики визначається: доступністю сировини; логістичними витратами; рівнем розвитку агропромислового комплексу.

Найбільш перспективною вона є для аграрних регіонів і підприємств із великим обсягом органічних відходів.

5. Геотермальна енергетика та базова генерація

Геотермальна енергетика використовує теплову енергію надр Землі та має унікальну перевагу – стабільність генерації, що дозволяє забезпечувати базове навантаження.

До її особливостей належать: незалежність від погодних умов; високий коефіцієнт використання встановленої потужності; значні початкові інвестиції.

Ефективний розвиток геотермальної енергетики можливий лише в регіонах із відповідними геологічними умовами.

6. Специфіка морської енергетики

Припливно-відпливні та хвильові електростанції використовують енергію океанів і морів. Їх характерними рисами є: прогнозованість генерації; високі капітальні витрати; складні умови експлуатації.

Ці види АДЕ перебувають на стадії активних науково-технічних досліджень і поки що мають обмежене застосування.

7. Вплив альтернативної енергетики на енергетичну безпеку

Розвиток альтернативних джерел електроенергії: зменшує залежність від імпорту енергоносіїв; підвищує енергетичну незалежність держави; сприяє децентралізації електропостачання; підвищує стійкість енергосистем до кризових ситуацій.

Для України АДЕ мають стратегічне значення в умовах інтеграції до європейського енергетичного простору.

8. Роль міжнародних стандартів та екологічних обмежень

Міжнародні екологічні угоди, стандарти та кліматична політика стимулюють: скорочення викидів парникових газів; підвищення енергоефективності; впровадження «зеленої» генерації.

Ці фактори формують нормативне й економічне підґрунтя для активного розвитку альтернативної енергетики.

Завдання

1. Ознайомитися із базовими поняттями та класифікацією альтернативних джерел електроенергії (АДЕ).
2. Проаналізувати переваги й недоліки різних видів АДЕ з технічної, економічної та екологічної точки зору.
3. Визначити основні чинники, що впливають на вибір конкретного виду альтернативного джерела в певних регіонах і галузях.
4. Дослідити актуальність впровадження АДЕ в сучасній енергетичній системі України та світу.
5. Дати відповідь на наведені питання та сформулювати питання для самоперевірки.

Підготувати відповіді на питання:

1. У чому полягають ключові відмінності між сонячною та вітровою енергетикою з огляду на переваги й недоліки?
2. Як географічні та кліматичні умови впливають на вибір виду альтернативного джерела енергії?
3. Чому гідроенергетика, попри високий потенціал, може справляти відчутний негативний вплив на навколишнє середовище?
4. Які чинники визначають економічну доцільність використання біоенергетики та в чому полягає її вплив на утилізацію відходів?
5. Як геотермальна енергетика може забезпечити сталий базовий режим генерації, і які умови потрібні для її ефективного розвитку?

6. У чому полягає специфіка впровадження (припливно-відпливні, хвильові станції) порівняно з іншими видами АДЕ?
7. Як і чому розвиток відновлюваної енергетики впливає на енергетичну безпеку та незалежність держави?
8. Яким чином міжнародні стандарти й екологічні обмеження стимулюють ширше застосування альтернативних джерел енергії?

Питання для самоконтролю

1. Які основні види альтернативних джерел електроенергії ви знаєте, і в чому полягає їх принципова відмінність?
2. Які переваги та недоліки має сонячна енергетика порівняно з вітровою?
3. Чому гідроенергетика (особливо великі ГЕС) може мати суттєвий вплив на довкілля?
4. Як біоенергетика сприяє утилізації відходів і в яких регіонах вона є найперспективнішою?
5. У чому полягають особливості геотермальної енергетики та які регіони найкраще підходять для її розвитку?
6. Як екологічні обмеження та міжнародні стандарти стимулюють впровадження відновлюваних джерел енергії?
7. Чому для сонячної та вітрової генерації важливим є питання зберігання та резервування потужностей?
8. Як розвиток альтернативної енергетики впливає на енергетичну незалежність країни?

Література: [1, 2, 6, 7, 8, 10, 12]

ТЕМА 7. СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

*Характеристика змісту матеріалу,
що є предметом самостійного опрацювання*

Економічні параметри роботи електромереж

Теоретична частина

Економічність роботи електричних мереж є однією з ключових характеристик систем електропостачання, що визначає рівень витрат

електричної енергії, ефективність використання обладнання та загальні експлуатаційні витрати. У сучасних умовах зростання вартості електроенергії, збільшення навантажень і впровадження відновлюваних джерел енергії проблема зниження втрат та оптимізації режимів роботи мереж набуває особливої актуальності.

Підвищення економічності електричних мереж досягається шляхом комплексного поєднання технічних, організаційних та автоматизованих заходів, спрямованих на зменшення втрат електроенергії, оптимізацію потоків потужності та покращення режимів навантаження.

1. Основні економічні параметри роботи електричних мереж

До ключових економічних параметрів належать: втрати електричної енергії; коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$); рівномірність та щільність навантаження; коефіцієнт використання встановленої потужності; експлуатаційні витрати.

Аналіз і оптимізація цих параметрів дозволяють зменшити витрати на транспортування електроенергії та підвищити загальну ефективність мережі.

2. Втрати електроенергії в електричних мережах

Втрати електроенергії поділяють на технічні та нетехнічні (комерційні).

2.1. Технічні втрати

Технічні втрати виникають у процесі нормальної роботи мережі та зумовлені фізичними процесами: активні втрати в лініях електропередачі; втрати в трансформаторах (втрати холостого ходу та навантаження); втрати в комутаційній апаратурі.

Ці втрати залежать від струмів навантаження, довжини та перерізу ліній, параметрів трансформаторів і режимів роботи мережі.

2.2. Нетехнічні (комерційні) втрати

Нетехнічні втрати пов'язані з: похибками обліку; несанкціонованими підключеннями; порушенням режимів споживання; недосконалістю систем комерційного обліку.

Їх зниження можливе переважно за рахунок організаційних та інформаційних заходів.

3. Вплив коефіцієнта потужності на економічність мереж

Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ характеризує співвідношення між активною та повною потужністю і суттєво впливає на економічність роботи мереж.

Низький $\cos \varphi$ призводить до: збільшення струмів у лініях; зростання втрат активної потужності; необхідності використання обладнання більшої

потужності.

Методи підвищення $\cos \varphi$: встановлення конденсаторних установок; застосування синхронних компенсаторів; використання електроприводів із покращеними характеристиками; автоматичне регулювання реактивної потужності. Підвищення $\cos \varphi$ дозволяє значно зменшити втрати та підвищити пропускну здатність мережі.

4. Оптимізація схем електропостачання

Раціональний вибір та оптимізація схеми електропостачання є важливим чинником зменшення втрат: скорочення довжини розподільчих ліній; застосування кільцевих і сітчастих схем; оптимальне розміщення трансформаторних підстанцій; вирівнювання навантажень між фазами.

Оптимізація схем дозволяє досягти балансу між капітальними витратами та експлуатаційною економічністю.

5. Вибір параметрів ліній і трансформаторів

Вибір перерізу проводів і типу трансформаторів істотно впливає на втрати електроенергії: більший переріз зменшує втрати, але збільшує вартість; трансформатори з низькими втратами мають вищу ціну, але забезпечують економію в довгостроковій перспективі.

Оптимальний варіант визначається на основі техніко-економічного розрахунку.

6. Роль автоматизованих систем управління

Сучасні автоматизовані системи управління (АСУ, SCADA) дозволяють: оперативно контролювати режими роботи мереж; виявляти перевантаження та аварійні ділянки; оптимізувати розподіл навантаження; скорочувати час ліквідації пошкоджень.

Впровадження концепції Smart Grid забезпечує інтеграцію розподіленої генерації, накопичувачів енергії та активну участь споживачів у керуванні споживанням.

7. Автоматизований комерційний облік електроенергії (АСКОЕ)

Системи АСКОЕ сприяють: точному вимірюванню обсягів споживання; виявленню нетехнічних втрат; підвищенню платіжної дисципліни; формуванню гнучких тарифів.

Це є одним із найефективніших інструментів зниження комерційних втрат.

8. Використання накопичувачів енергії та мікромереж

Накопичувачі енергії та мікромережі дозволяють: зменшити пікові навантаження; згладжувати добові графіки споживання; підвищити надійність

електропостачання; зменшити витрати на передачу електроенергії.

Ці технології є перспективними напрямками підвищення економічності сучасних електричних мереж.

Завдання

1. Ознайомитися з основними поняттями економічної роботи електричних мереж (поняття втрат електроенергії, коефіцієнта потужності, режимів навантаження тощо).
2. Дослідити заходи щодо зменшення втрат енергії та підвищення техніко-економічних показників у розподільчих та магістральних мережах.
3. Проаналізувати роль реактивної потужності й коефіцієнта потужності в економічності роботи електричних мереж.
4. Визначити вплив сучасних технологій та автоматизованих систем управління (АСУ) на покращення показників енергоефективності.
5. Сформулювати відповіді на наведені питання та підготувати запитання для самоперевірки.

Підготувати відповіді на питання:

1. Які основні види втрат електроенергії (технічні та нетехнічні) існують у розподільчих мережах і чому важливо їх розрізняти?
2. Як коефіцієнт потужності ($\cos \phi$) впливає на економічність роботи електромережі, і які методи використовуються для його підвищення?
3. У чому полягає суть оптимізації схеми живлення для зниження втрат у розподільчих і магістральних мережах?
4. Яким чином вибір перерізу проводів і типу трансформаторів впливає на загальні витрати електроенергії?
5. Що таке Smart Grid і яким чином «інтелектуальні» мережі сприяють підвищенню ефективності та надійності електропостачання?
6. Як системи АСКОЕ (автоматизованого комерційного обліку електроенергії) допомагають зменшити втрати та поліпшити контроль над споживанням електроенергії?
7. Які специфічні заходи (організаційні й технічні) застосовуються для виявлення та мінімізації нетехнічних (комерційних) втрат електроенергії?
8. Як використання пристроїв накопичення енергії та мікромереж впливає на зниження пікових навантажень і підвищення економічності системи електропостачання?

Питання для самоконтролю

1. У чому полягають переваги впровадження інтелектуальних лічильників, і як вони позначаються на загальній економічності роботи електричних мереж?
 2. У чому полягають переваги застосування конденсаторних установок і синхронних компенсаторів у компенсації реактивної потужності?
 3. Які типи втрат зазвичай виникають у розподільних електромережах, і як серед них визначаються нетехнічні (комерційні) втрати?
 4. Яким чином підвищення коефіцієнта потужності ($\cos \varphi$) позитивно впливає на ефективність та економічність функціонування мережі?
 5. Які заходи рекомендується застосовувати для скорочення втрат активної потужності в лініях та трансформаторах?
 6. Яку роль відіграють сучасні автоматизовані системи управління (ASU, SCADA, Smart Grid) у зменшенні втрат і підвищенні надійності розподільних мереж?
 7. Що слід розуміти під нетехнічними (комерційними) втратами електроенергії та які кроки можна вжити для їхнього ефективного зниження?
- Література: [1, 2, 6, 7, 12]

ТЕМА 8. ЗАХИСТ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ВІД ПРЯМИХ УДАРІВ БЛИСКАВКИ. ПРИЗНАЧЕННЯ ЗАЗЕМЛЕННЯ ТА ЗАНУЛЕННЯ В ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

*Характеристика змісту матеріалу,
що є предметом самостійного опрацювання*

Захист електроустановок від блискавки

Теоретична частина

Електроустановки, будівлі та інженерні споруди в процесі експлуатації зазнають впливу атмосферних перенапруг, зокрема прямих ударів блискавки та вторинних електромагнітних явищ. Наслідками таких впливів можуть бути пошкодження електрообладнання, пожежі, порушення електропостачання, а також загроза життю та здоров'ю людей. Тому блискавкозахист, заземлення та занулення є обов'язковими елементами систем електробезпеки сучасних електроустановок.

1. Призначення та загальні принципи блискавкозахисту

Блискавкозахист – це комплекс технічних засобів і заходів, призначених

для захисту будівель, споруд та електроустановок від прямих ударів блискавки та пов'язаних із ними небезпечних впливів.

Основною метою блискавкозахисту є: перехоплення розряду блискавки; безпечне відведення струму блискавки в землю; запобігання термічним, механічним та електричним ушкодженням.

Система блискавкозахисту зазвичай складається з таких основних елементів: блискавкоприймачів; струмовідвідних провідників; заземлювального пристрою.

2. Методи захисту від прямих ударів блискавки

На практиці застосовують декілька основних методів захисту від прямих ударів блискавки:

2.1. Стержневі блискавкоприймачі

Використовуються для захисту окремих будівель і споруд. Вони перехоплюють розряд блискавки у найвищій точці об'єкта.

2.2. Тросові блискавкоприймачі

Застосовуються для протяжних об'єктів (лінії електропередачі, естакади). Забезпечують захист значної площі.

2.3. Сітчасті блискавкоприймачі

Використовуються для захисту дахів будівель, особливо з великою площею. Формують зону захисту по всій поверхні.

Вибір методу блискавкозахисту залежить від: категорії об'єкта; висоти та геометрії споруди; умов експлуатації; вимог нормативних документів.

3. Струмовідвідні провідники та їх вимоги

Струмовідвідні провідники призначені для відведення струму блискавки від блискавкоприймача до заземлювального пристрою.

До них висуваються такі основні вимоги: достатній переріз для пропускання імпульсного струму блискавки; низький електричний опір; механічна міцність; корозійна стійкість.

Найчастіше застосовують сталеві, мідні або алюмінієві провідники визначеного нормативами мінімального перерізу.

4. Призначення та роль заземлення в електроустановках

Заземлення – це навмисне електричне з'єднання відкритих провідних частин електроустановки із землею.

Основні функції заземлення: захист людей від ураження електричним струмом; зниження напруги дотику та кроку; забезпечення роботи захисних апаратів; відведення струмів блискавки та перенапруг у землю.

Якість заземлення визначається, насамперед, опором заземлювального

пристрою, який має відповідати нормативним вимогам.

5. Занулення та його відмінність від заземлення

Занулення – це навмисне електричне з'єднання відкритих провідних частин електроустановки з нульовим захисним провідником, який з'єднаний із заземленою нейтраллю джерела живлення.

Принципова різниця: заземлення знижує напругу на корпусі; занулення створює умови для швидкого автоматичного відключення пошкодженої ділянки мережі.

Занулення є ефективним у мережах із глухозаземленою нейтраллю та широко застосовується в системах електропостачання 0,38/0,4 кВ.

6. Системи заземлення електроустановок

Нормативами передбачені такі основні системи заземлення: TN – нейтраль джерела заземлена, відкриті частини приєднані до нульового захисного провідника; TT – нейтраль заземлена, відкриті частини мають власний заземлювач; IT – нейтраль ізольована або заземлена через великий опір.

Кожна система має свої переваги й обмеження з точки зору електробезпеки та умов експлуатації.

7. Ефективність заземлення та контроль його параметрів

На ефективність заземлення впливають: питомий опір ґрунту; конструкція заземлювача; матеріал і переріз електродів; глибина залягання; сезонні зміни вологості ґрунту.

Регулярний контроль опору заземлювального пристрою необхідний для: підтвердження відповідності нормативам; запобігання зниженню рівня електробезпеки; своєчасного виявлення пошкоджень або корозії.

8. Практичне значення блискавкозахисту, заземлення та занулення

Комплексне застосування блискавкозахисту, заземлення та занулення: знижує ризик аварій і пожеж; підвищує надійність електропостачання; забезпечує захист персоналу та споживачів; подовжує термін служби електрообладнання.

Завдання

1. Ознайомитися з основними вимогами та методами блискавкозахисту електроустановок, будівель і споруд.

2. З'ясувати принцип дії та конструктивні особливості блискавковідводів і провідників, що використовуються для відведення струму блискавки.

3. Вивчити призначення заземлення та занулення в електроустановках, порівняти їх функціональні особливості.

4. Розглянути практичні приклади застосування заземлення та занулення для підвищення електробезпеки.

5. Підготувати відповіді на наведені нижче питання та сформулювати перелік питань для самоперевірки.

Підготувати відповіді на питання:

1. Яка ключова мета встановлення систем блискавкозахисту в електроустановках і з яких основних компонентів вони зазвичай складаються?

2. Які варіанти забезпечення захисту від прямих ударів блискавки використовуються на практиці та за яких умов кожен із них вважається найдієвішим?

3. У чому полягає принципова різниця між заземленням і зануленням, і які безпекові функції виконує кожен із цих методів?

4. Які типи систем заземлення (TN, TT, IT) передбачені нормативами, і чим вони відрізняються з позиції забезпечення електробезпеки?

5. Як саме занулення сприяє швидкому знеструмленню ушкодженого електрообладнання у разі аварійної ситуації?

6. Які вимоги висуваються до матеріалів і перерізів струмовідвідних провідників та блискавкоприймачів, щоб гарантувати належний рівень захисту від блискавки?

7. Які фактори впливають на якість та ефективність заземлення і з яких причин необхідно регулярно перевіряти опір заземлювального пристрою?

Питання для самоконтролю

1. Яка основна мета блискавкозахисту електроустановок і які елементи входять до його складу?

2. Які існують методи захисту від прямих ударів блискавки і коли доцільно застосовувати кожен із них?

3. У чому полягає різниця між заземленням та зануленням, і які функції вони виконують?

4. Які схеми систем заземлення ви знаєте та чим вони відрізняються одна від одної?

5. Як занулення сприяє швидкому відключенню пошкодженого електрообладнання?

6. Які вимоги висуваються до струмовідвідних провідників і

блискавкоприймачів за матеріалом та перерізом?

7. Які основні фактори впливають на ефективність заземлення, і чому важливо контролювати опір заземлювального пристрою?

Література: [1, 2, 4, 7, 9, 10, 11, 13]

Рекомендовані джерела інформації

1. Козирський В. В., Волошин С. М. Основи електропостачання : підручник. Київ : ЦК «Компринт», 2021. 497 с.
2. Кирик В. В. Електричні мережі : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 280 с.
3. Мазепа С. С., Марущак Я. Ю., Куцик А. С. Електрообладнання промислових підприємств : навч. посіб. 2-ге вид., стер. Львів : Магнолія 2006, 2024. 258 с.
4. Омельчук А. О. Основи електропостачання : навч. посіб. Київ : ЦП «Компринт», 2019. 415 с.
5. Електричні мережі та системи : конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / уклад. С. П. Шевчук, О. В. Мейта. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 167 с.
6. Зайцев М. О., Кучанський В. О., Гунько І. О. Підвищення експлуатаційної надійності та ефективності роботи електричних мереж та електроустановка : монографія. [Місце видання] : Друкарня ФОП Гуляєва В. М., 2021.
7. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015. Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств. Київ : Мінрегіон України, 2016. 148 с.
8. Семенов А. О., Харак Р. М., Арндаренко В. М., Бичков Я. М. Розрахунок втрат електроенергії в розподільчих мережах при електропостачанні з використанням масляних та вакуумних вимикачів. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. 2024. № 1(8). С. 105–110.
9. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС) : Наказ Міністерства палива та енергетики України від 25.07.2006 № 258.
10. IEC 62305 (Series). Protection against lightning. International Electrotechnical Commission (IEC).
11. Про затвердження Кодексу систем розподілу : Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 310.
12. ENTSO-E. European Network of Transmission System Operators for Electricity: офіційні матеріали та документи [Електронний ресурс]. URL: <https://www.entsoe.eu> (дата звернення: 30.08.2025).
13. Семенов А., Семенова Н. Аналіз методів розрахунку конструкцій та блискавкозахисту повітряних ліній з ізольованими проводами. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. 2025. № 4(26). С. 72–77.
14. Semenova N., Semenov A., But A. Methodology for assessing design loads in 0.38 kV power supply networks. Slovak International Scientific Journal. 2025. No. 98. P. 6–11. DOI: 10.5281/zenodo.16892485.