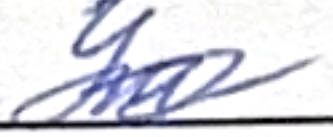
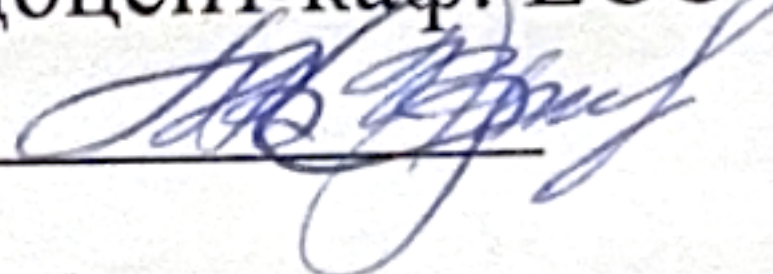


Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

Аналіз конструктивних особливостей та умов застосування
заземлювальних пристроїв розподільних установок

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕС-216
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електричні станції»,
Ульянов Т. С. 

Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС
Остра Н. В. 

« 03 » 06 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доц., доцент кафедри ЕССЕМ
(наук.ступінь, вч.звання, назва кафедри)

Бабенко О. А. 

« 03 » 06 2025 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.

« 03 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електричні станції

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.

«20» 03 2025 р.

З А В Д А Н Н Я **НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ульянову Тарасу Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Аналіз конструктивних особливостей та умов застосування заземлювальних пристроїв розподільних установок»

Керівник роботи к.т.н., доцент., доц. каф. ЕСС Остра Н. В.

затверджена наказом вищого навчального закладу від 20.03.2025р № 97

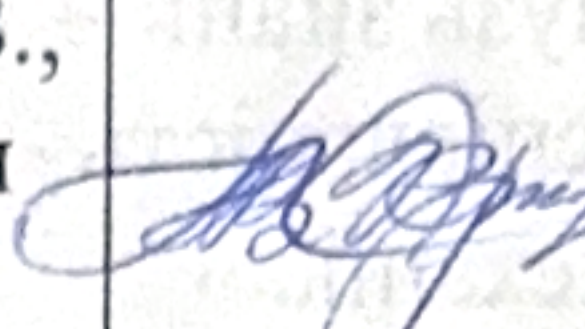
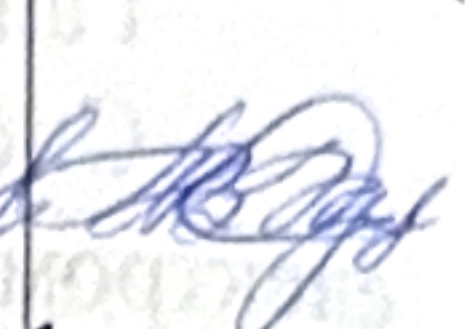
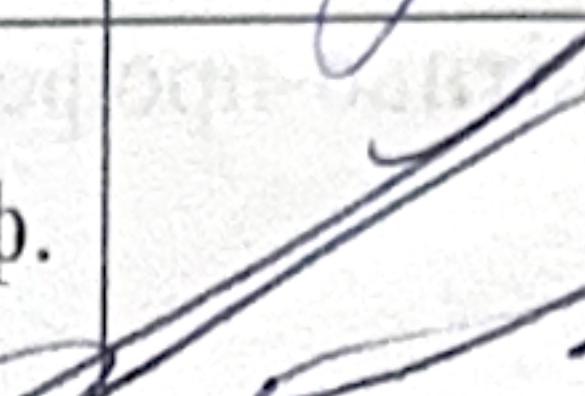
2. Термін подання студентом роботи 03 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи: 1. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х. : Видавництво «Форт», 2017. – 760 с. 2. Матвійчук В. А. Рубаненко О. Є. Гунько І.О. Діагностування електрообладнання. Вінниця: ВНАУ. 2020. 138 с. 3. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів / Міністерство палива та енергетики України. 2006. 4. Дані для розрахунку заземлення для підстанції 35/6 кВ, розташованої в іншій кліматичній зоні. Мережі 35 та 6 кВ функціонують із незаземленими нейтралями. На стороні 35 кВ $I = 8$ А, на стороні 6 кВ $I = 25$ А. Живлення власних потреб підстанції забезпечується трансформатором 6/0,4 кВ із заземленою нейтраллю на стороні 0,4 кВ. Природні заземлювачі відсутні. Питомий опір ґрунту за нормальної вологості $\rho = 86$ Ом·м. Обладнання підстанції розміщене на площі 18×8 м..

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Відомості про заземлювальні пристрої 2. Розрахунок параметрів заземлювальних пристроїв 3. Методики вимірювань параметрів ґрунту і заземлювальних пристроїв. 4. Дослідження умов експлуатації та застосування заземлювальних пристроїв 5. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

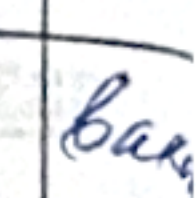
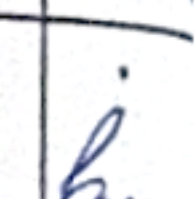
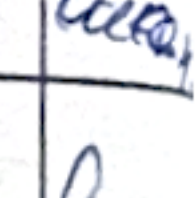
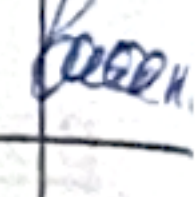
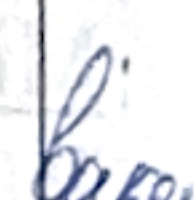
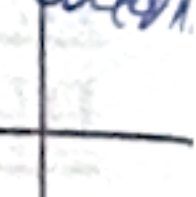
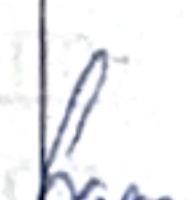
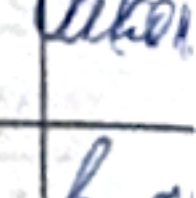
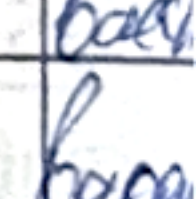
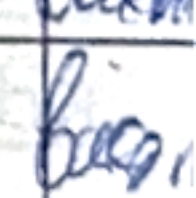
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Мета та основні задачі; 2. Технічні параметри 3. Зображення розподілу потенціалу по поверхні землі в полі заземлювача; 4. Методи вимірювання опору ЗП; 5. Застосування методу 62 – х відсотків; 6. Вимірювання напруги дотику. 7. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Остра Н. В., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС		
Охорона праці	Кобилянський О. В. д. пед. н., професор, зав. каф. БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання 20 березня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи		Прізвище
		початок	кінець	
1	Формування та затвердження завдання БКР	20.03.2025	21.03.2025	
2	Вступ. Огляд літературних джерел	22.03.2025	30.03.2025	
3	Відомості про заземлювальні пристрої (розділ 1 БКР)	31.03.2025	10.04.2025	
4	Розрахунок параметрів заземлювальних пристроїв (розділ 2 БКР)	11.04.2025	20.04.2025	
5	Методики вимірювань параметрів ґрунту і заземлювальних пристроїв (розділ 3 БКР)	21.04.2025	05.05.2025	
6	Дослідження умов експлуатації та застосування заземлювальних пристроїв (розділ 4 БКР)	06.05.2025	12.05.2025	
7	Охорона праці (розділ 5 БКР)	12.05.2025	18.05.2025	
8	Формування висновків по роботі	19.05.2025	25.05.2025	
9	Оформлення пояснювальної записки	25.05.2025	26.05.2025	
10	Виконання графічної частини та оформлення презентації	27.05.2025	29.05.2025	
11	Перевірка БКР на плагіат	31.05.2025	03.06.2025	
12	Захист БКР	За графіком		

Студент

(підпис)

Ульянов Т. С.

Керівник роботи

(підпис)

Остра Н. В.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.311.1

Ульянов Тарас Сергійович «Аналіз конструктивних особливостей та умов застосування заземлювальних пристроїв розподільних установок». Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ. – 2025. – 94 с. Бібліогр.: 32. Рис. : 23. Табл. : 22

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена аналізу конструктивних особливостей та умов застосування заземлювальних пристроїв розподільних установок. У роботі проведено огляд літературних джерел, аналіз існуючих методів діагностики заземлювальних систем, а також розроблено нові підходи до їх оцінки та вдосконалення. Особливу увагу приділено вимірюванню параметрів ґрунту, розрахунку опору заземлювальних пристроїв та забезпеченню електробезпеки. Розглянуто вплив кліматичних умов і корозії на ефективність заземлення. Результати дослідження можуть бути застосовані для підвищення надійності та безпеки експлуатації електроустановок.

Ключові слова: заземлювальні пристрої, електробезпека, розподільні установки, опір ґрунту, діагностика заземлювальних пристроїв.

ABSTRACT

Ulianov Taras Serhiiovych “Analysis of the design features and conditions of application of grounding devices of switchgear”. Bachelor's qualification work. – Vinnytsia: VNTU. – 2025. – 94 p. Bibliography: 32. Fig. : 23. Tab. : 22

The bachelor's qualification work is devoted to the analysis of the design features and conditions of application of grounding devices of switchgear. The work reviews literature sources, analyzes existing methods of diagnosing grounding systems, and develops new approaches to their assessment and improvement. Particular attention is paid to measuring soil parameters, calculating the resistance of grounding devices and ensuring electrical safety. The influence of climatic conditions and corrosion on the efficiency of grounding is considered. The results of the study can be used to increase the reliability and safety of operation of electrical installations.

Keywords: grounding devices, electrical safety, switchgear, soil resistance, diagnostics of grounding devices.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	4
ВСТУП.....	6
1 ВІДОМОСТІ ПРО ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ	8
1.1 Аналіз призначення та класифікація захисних заходів.....	10
1.2 Технічні параметри які відповідають за станом заземлювальних пристроїв	14
1.3 Необхідні умови щодо експлуатації заземлювального пристрою.....	17
1.4 Кліматичні зони розташування заземлювальних пристроїв.....	19
2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.....	21
2.1 Розрахунок заземлювальних пристроїв в установках із незаземленою або резонансно-заземленою нейтраллю	21
2.2 Розрахунок заземлювальних пристроїв в установках 110 кВ і вище з ефективно заземленою нейтраллю	27
3 МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТУ І ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.....	37
3.1 Методика вимірювань питомого опору ґрунту	37
3.2 Загальна методика вимірювань опору заземлювального пристрою	37
3.3 Вимірювання опору заземлення заземлювальних пристроїв із застосуванням вимірювальних електродів	42
3.4 Специфіка методів вимірювання опору заземлення ВРП на підстанції.....	53
3.5 Визначення опору контактів у місцях з'єднання заземлювального пристрою з заземленою електроустановкою.....	55
3.6 Визначення опору між заземленою електроустановкою та окремими її заземленими елементами.....	55
3.7 Вимірювання напруги дотику та кроку.....	56
4 ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.....	63
4.1 Вимоги до періодичності перевірок стану заземлювальних пристроїв	63
4.2 Контроль розміщення горизонтальних і вертикальних заземлювачів та перевірка надійності їхніх з'єднань	64
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	65
5.1 Технічні рішення з безпечної організації будівельно-монтажних робіт	65
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	65
5.1.2 Електробезпека	68

	5
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	70
5.2.1 Мікроклімат	70
5.2.2 Склад повітря робочої зони.....	71
5.2.3 Виробниче освітлення.....	71
5.2.4 Виробничий шум.....	72
5.2.5 Виробничі вібрації	73
5.3 Пожежна безпека	74
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79
ДОДАТКИ	82
ДОДАТОК А ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ.....	83
ДОДАТОК Б ПРИКЛАД РОЗВ’ЯЗКУ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ КТП 110/6 КВ.....	84
ДОДАТОК В ВИМІРЮВАННЯ, ЩО ВИКОНУЮТЬСЯ ПРИ ДІАГНОСТИЦІ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ	89
ДОДАТОК Г ХАРАКТЕРИСТИКА СТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	93
ДОДАТОК Д ІЛЮСТРАЦІЙНА ЧАСТИНА.....	94

ВСТУП

Актуальність теми. Заземлювальні пристрої є ключовим елементом забезпечення електробезпеки та надійної роботи електроустановок у системах електропостачання. Недостатня ефективність заземлення може призвести до виникнення небезпечних потенціалів на металевих частинах обладнання, створюючи загрозу для життя персоналу та стабільності функціонування технічних систем. Сучасні методи діагностики заземлювальних систем не завжди дозволяють повноцінно оцінити їх стан і ефективність, що підкреслює необхідність розробки нових підходів до аналізу та вдосконалення заземлювальних пристроїв. В умовах сучасної енергетики України, де зростають вимоги до безпеки та надійності електроустановок, дослідження конструктивних особливостей і умов застосування заземлювальних пристроїв є вкрай актуальним завданням [2].

Отже, аналіз та дослідження умов експлуатації заземлювальних пристроїв є **актуальною задачею** в експлуатації електроенергетичного обладнання в сучасній енергетиці України.

Мета роботи проаналізувати конструктивні особливості заземлювальних пристроїв розподільних установок.

У відповідності із поставленою метою в роботі розв'язуються наступні **основні задачі**:

1. Провести огляд та систематизувати відомості про конструктивні особливості заземлювальних пристроїв, їх класифікацію та призначення.
2. Виконати розрахунок основних параметрів заземлювальних пристроїв для різних типів електроустановок.
3. Дослідити методики вимірювання параметрів ґрунту та заземлювальних пристроїв, оцінити їх точність і доцільність застосування.
4. Дослідити умови експлуатації та застосування заземлювальних пристроїв.

5. Проаналізувати вимоги до охорони праці та електробезпеки при експлуатації заземлювальних пристроїв, запропонувати заходи для їх забезпечення.

Об'єктом дослідження є розподільні установки різного класу напруги, а **предметом дослідження** є заземлювальні пристрої.

1 ВІДОМОСТІ ПРО ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ

Захисний заземлювальний провідник – захисний провідник, призначений для здійснення захисного заземлення.

Захисний провідник зрівнювання потенціалів – провідник, що застосовується для захисного вирівнювання потенціалів.

Нульовий захисний провідник – захисний провідник в електроустановках до 1 кВ, який з'єднує відкриті провідні частини з глухозаземленою нейтраллю джерела живлення.

Нульовий робочий (нейтральний) провідник N– провідник в електроустановках до 1 кВ, що слугує для живлення електроприймачів і підключений до глухозаземленої нейтралі генератора чи трансформатора в трифазних мережах, до глухозаземленого виводу джерела однофазного струму або до глухозаземленої точки джерела в мережах постійного струму.

Суміщений нульовий захисний і робочий (PEN) провідник – провідник в електроустановках до 1 кВ, який поєднує функції нульового захисного та нульового робочого провідників.

Заземлення – свідоме електричне з'єднання певної точки мережі, електроустановки чи обладнання із заземлювальним пристроєм.

Захисне заземлення – заземлення, здійснене для забезпечення електробезпеки.

Робоче (функціональне) заземлення – заземлення однієї або кількох струмоведучих частин електроустановки, виконане для підтримки її нормальної роботи (не для електробезпеки).

Захисне занулення в електроустановках до 1 кВ – навмисне з'єднання відкритих провідних частин із глухозаземленою нейтраллю генератора чи трансформатора в трифазних мережах, із глухозаземленим виводом джерела однофазного струму або із заземленою точкою джерела в мережах постійного струму, виконане для забезпечення електробезпеки.

Заземлювач – це провідний елемент або комбінація з'єднаних провідних частин, які мають електричний зв'язок із землею напряму чи через проміжне середовище з провідними властивостями.

Штучний заземлювач – елемент, створений спеціально для виконання функцій заземлення.

Природний заземлювач – сторонній провідний об'єкт, що контактує із землею безпосередньо або через провідне середовище й використовується для заземлення.

Заземлювальний провідник – компонент, який з'єднує точку, що потребує заземлення, із заземлювачем.

Заземлювальний пристрій – це комплекс, що включає заземлювач та провідники для заземлення.

Щодо заходів електробезпеки електроустановки поділяються на:

- установки з напругою понад 1 кВ у мережах із нейтраллю, що має глухе заземлення або ефективне заземлення;
- установки з напругою понад 1 кВ у мережах із ізолюваною нейтраллю або заземленням через реактор дугогасіння чи резистор;
- установки з напругою до 1 кВ у мережах із глухозаземленою нейтраллю;
- установки з напругою до 1 кВ у мережах із нейтраллю, що ізолювана.

Глухозаземлена нейтраль – це нейтраль генератора чи трансформатора, з'єднана напряму із заземлювальним пристроєм. Також глухозаземленим може бути вивід джерела однофазного струму змінного типу, полюс джерела струму постійного в двопровідних мережах або середня точка у трипровідних мережах постійного струму.

Ізолювана нейтраль – це нейтраль генератора чи трансформатора, яка не має прямого з'єднання із заземлювальним пристроєм або підключена до нього через значний опір пристроїв для сигналізації, вимірювань, захисту чи подібних

їм приладів.

Струмоведауча частина – провідний елемент електроустановки, що перебуває під робочою напругою під час її функціонування, включаючи нульовий робочий провідник (окрім PEN-провідника).

Електромагнітна діагностика – спосіб оцінки стану заземлювальних систем, який базується на аналізі характеристик електромагнітного поля, створеного природним чином або штучно в заземлювальних пристроях.

1.1 Аналіз призначення та класифікація захисних заходів

Усі металеві елементи електроустановок, які зазвичай не перебувають під напругою, але можуть опинитися під нею через пошкодження ізоляції, мають бути надійно з'єднані із «землею». Таке заземлення називають захисним, адже його мета – убезпечити персонал від небезпечної напруги дотику.

Заземлення є обов'язковим для електроустановок із напругою від 380 В на змінному струмі та від 440 В на постійному струмі. У приміщеннях із підвищеною небезпекою, особливо небезпечних або у зовнішніх установках заземлення потрібне при напрузі від 42 В на змінному струмі й від 110 В на постійному струмі.

У електроустановках заземлюють корпуси електромашин, трансформаторів, апаратів, вторинні обмотки трансформаторів для вимірювань, приводи електроапаратів, каркаси щитів розподілу, пультів, шаф, металеві конструкції розподільчих пристроїв (РП), металеві корпуси муфт кабелів, металеві оболонки та броню кабелів, дротів, металоконструкції будівель, споруд та інші металеві елементи, пов'язані з електрообладнанням.

Заземлення призначене для забезпечення належних умов роботи апаратів чи електроустановок, називають робочим. До нього належить заземлення нейтралей трансформаторів, генераторів, котушок дугогасіння. Без такого заземлення установка не може функціонувати або її режим роботи порушується.

Для захисту обладнання від ураження блискавкою застосовують

грозозахист із використанням розрядників, іскрових проміжків, стержневих чи тросових громовідводів, які з'єднуються із заземлювачем. Таке заземлення має назву грозозахисного.

Зазвичай для реалізації всіх трьох видів заземлення застосовують єдиний заземлювальний пристрій.

Для влаштування заземлення використовують як природні, так і штучні заземлювачі.

Як природні заземлювачі застосовують водопровідні труби, металеві трубопроводи, прокладені в ґрунті (крім тих, що транспортують горючі рідини чи газу), обсадні труби свердловин, металеві та залізобетонні конструкції будівель, що контактують із землею, металеві шпунти гідроспоруд, свинцеві оболонки кабелів, заземлювачі опор ліній електропередач, з'єднані із заземлювальним пристроєм через грозозахисний трос, а також рейкові шляхи під'їзду за наявності перемичок між рейками.

Природні заземлювачі повинні мати з'єднання з магістралями заземлення щонайменше двома провідниками в різних місцях.

Як штучні заземлювачі використовують круглу сталь діаметром від 10 мм (без оцинкування) або від 6 мм (з оцинкуванням), а також смугову сталь із товщиною не менше 4 мм і перетином від 48 мм².

Перетин горизонтальних заземлювачів для електроустановок із напругою понад 1 кВ визначається з урахуванням термічної стійкості. ($\vartheta_{\text{к.лоп}} = 400\text{ C}^0, 3 = 70$).

Кількість заземлювачів (стержнів, кутників) розраховується залежно від потрібного опору заземлювального пристрою або припустимої напруги дотику. Штучні заземлювачі розміщують так, щоб забезпечити рівномірний розподіл електричного потенціалу на ділянці, де розташовано електрообладнання. Для цього на території прокладають заземлювальні смуги на глибині 0,5–0,7 м уздовж рядів обладнання та в поперечному напрямку, формуючи заземлювальну сітку, до якої під'єднують обладнання, що потребує заземлення.

На рисунку 1.1 зображено схему розташування контуру заземлення на

відкритому розподільчому пристрої, а також графіки зміни потенціалів на цій території.

При пробі ізоляції в будь-якому апараті його корпус та заземлювальний контур опиняться під деяким потенціалом $U_3 = I_3 r_3$. Розтікання струму I_3 від електродів заземлення спричиняє поступове зниження потенціалу ґрунту довкола них. У межах контуру заземлення потенціали вирівнюються, тому при дотику до пошкодженого обладнання людина зазнає дії незначної різниці потенціалів U_d (напруги дотику), яка становить певну частину потенціалу на заземлювачі.

$$U_{пр} = k_n U_3 ; \quad (1.1)$$

де k_n - коефіцієнт напруги дотику залежить від умов розтікання струму через заземлювач і людину. Напруга кроку, тобто різниця потенціалів між двома точками поверхні на відстані 0,8 м, усередині контуру є незначною ($U_{кр1}$). Поза контуром розподіл потенціалів має крутіший характер, що призводить до зростання напруги кроку ($U_{кр2}$). При значних струмах замикання на землю для зниження $U_{кр}$ уздовж країв контуру біля входів і виходів укладають додаткові смуги зі сталі. Мета захисного заземлення – зменшення напруг U_d , $U_{пр}$, $U_{кр}$ до безпечного рівня.

У системах із незаземленими та ефективно заземленими нейтраліями вимоги до розрахунку захисного заземлення суттєво різняться. У мережах із незаземленими або резонансно-заземленими нейтраліями (6, 10, 35 кВ) обмежується потенціал (U_3) на заземлювачі, тобто нормується опір заземлювального пристрою R_3 .

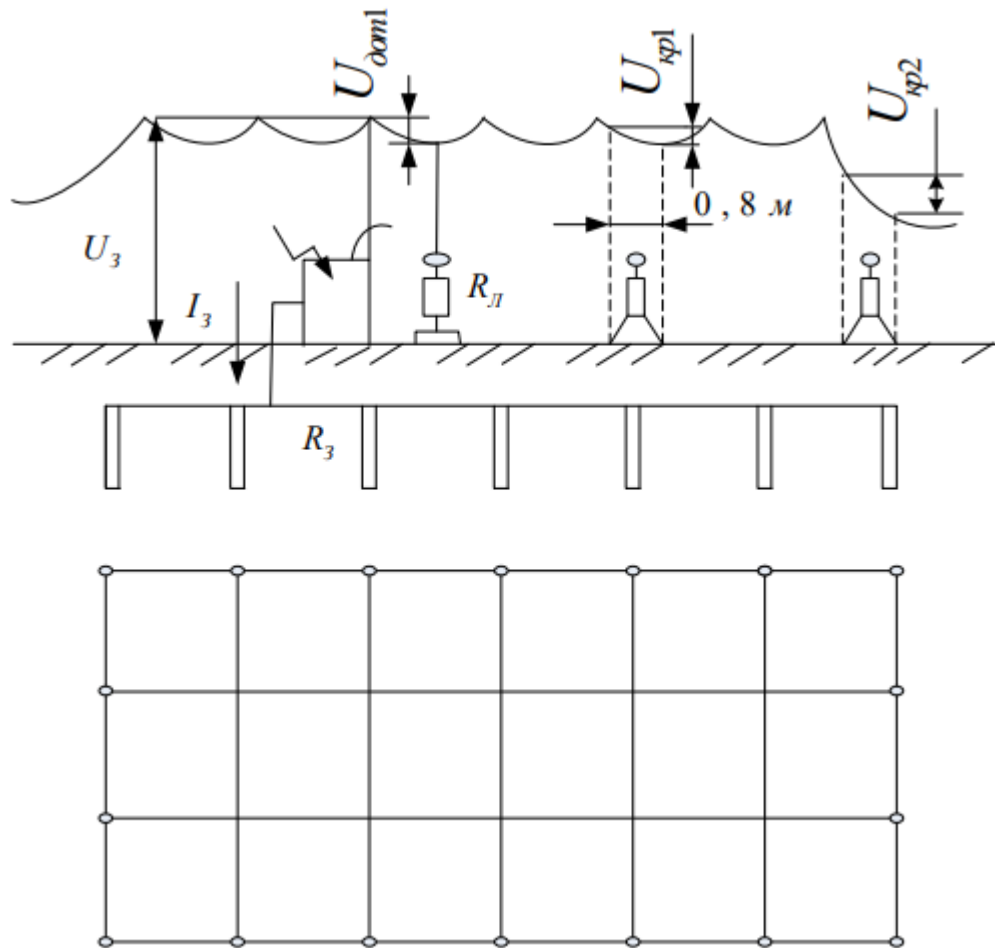


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення розподілу потенціалу по поверхні землі в полі заземлювача

Це зумовлено тим, що замикання фази на землю спричиняє протікання відносно невеликого ємнісного струму, і такий режим може тривати довго. Ймовірність потрапляння під напругу під час контакту із заземленими частинами зростає.

У системах з ефективно заземленою нейтраллю (мережі 110 кВ і вище) замикання фази на землю вважається коротким замиканням і швидко вимикається релейним захистом, що знижує ймовірність потрапляння під напругу $U_{\text{дот}}$, $U_{\text{кр}}$.

У системах з ефективно заземленою нейтраллю (мережі 110 кВ і вище) замикання фази на землю вважається коротким замиканням і швидко вимикається релейним захистом, що знижує ймовірність потрапляння під напругу $U_{\text{дот}}$, $U_{\text{кр}}$.

Струми однофазного короткого замикання є значними, що призводить до різкого підвищення потенціалів на заземлювачі. У таких установках нормується значення $U_{\text{пр}}$, яке залежить від тривалості протікання струму через тіло людини, а також величина R_3 .

Напруга $U_{\text{кр}}$ не підлягає нормуванню, оскільки шлях струму нога–нога для людини є менш небезпечним, ніж шлях рука–ноги.

1.2 Технічні параметри які відповідають за станом заземлювальних пристроїв

Основними параметрами, які характеризують стан заземлювальних пристроїв, є:

- напруга кроку в зоні розтікання;
- напруга дотику;
- напруга на ЗП при стіканні з нього струму замикання на землю;
- опір розтікання заземлювача.

Заземлювальні пристрої (ЗП) мають відповідати умовам забезпечення робочих режимів електроустановок, а також гарантувати електробезпеку для персоналу й захист обладнання.

ЗП для електростанцій та підстанцій зазвичай включають горизонтальні елементи заземлення (поздовжні й поперечні), що формують сітку або замкнений контур. У регіонах із сухим кліматом або підвищеним питомим опором ґрунту, за потреби, застосовують вертикальні заземлювачі для досягнення необхідного опору ЗП.

Тип ЗП та розміри комірок сітки заземлення визначаються відповідно до конкретних вимог до пристрою.

До ЗП під'єднуються всі металеві компоненти електроустановок і обладнання об'єкта:

- корпуси електромашин, трансформаторів, вимірювальних приладів (струму й напруги), високочастотних конденсаторів зв'язку, фільтрів для

підключення каналів релейного захисту, автоматики протиаварійного типу, систем диспетчерського управління, а також приводи апаратів;

- металеві каркаси, корпуси щитів, шаф розподільчих пристроїв, панелей із приладами релейного захисту, електроавтоматики, протиаварійної автоматики, дистанційного керування, метрологічного забезпечення, оперативно-інформаційних комплексів і засобів диспетчерського управління;
- конструкції розподільчих пристроїв, металеві опори для монтажу електрообладнання, кабельні конструкції (для прокладання кабелів), муфти з'єднання, броня та оболонки кабелів;
- металеві корпуси переносних і пересувних електроприймачів.

Кожен елемент, що потребує заземлення, приєднується до ЗП окремим провідником. Забороняється послідовне підключення кількох частин установки до одного заземлювального провідника.

Найнадійніше підключення до заземлювальних пристроїв (ЗП) досягається шляхом зварювання (внапуск).

Заземлення електроустановок, тобто приєднання до ЗП для забезпечення безпеки персоналу, не є головним заходом, якщо застосовуються альтернативні методи захисту: занулення, подвійна ізоляція, використання розділових трансформаторів, вирівнювання потенціалів, захисне відключення тощо.

Переріз провідників заземлення від нейтралей трансформаторів, короткозамикачів та дугогасильних реакторів має відповідати максимальному перерізу елементів ЗП на конкретній підстанції, який визначається з урахуванням найбільших струмів замикання та короткого замикання на землю, що проходять через обладнання.

Реалізація ЗП у специфічних умовах електроустановки повинна відповідати проектній документації, вимогам Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) та спеціалізованих нормативних актів.

Конструкція ЗП також має відповідати встановленим стандартам. Перевірка відповідності конструкції ЗП проекту здійснюється візуально або за допомогою електромагнітної діагностики.

Візуальна перевірка відповідності конструкції ЗП проекту виконується після завершення монтажу, до підключення природних заземлювачів та елементів заземлення, а також до засипання ґрунтом.

Огляд елементів ЗП проводиться візуально, при цьому перерізи та провідність елементів ЗП повинні відповідати проектним параметрам і вимогам ПУЕ.

Для перевірки конструктивного виконання ЗП застосовується метод електромагнітної діагностики з використанням вимірювального комплексу КДЗ-1У на діючій підстанції без необхідності розкриття ґрунту, зокрема:

- установлюють фактичне розміщення штучних та природних заземлювачів і ЗП;
- перевіряють наявність або відсутність контактів у точках перетину поздовжніх й поперечних горизонтальних заземлювачів ЗП;
- визначають глибину закладення горизонтальних елементів заземлення ЗП;
- виявляють зв'язки обладнання з ЗП та шляхи розтікання струмів від обладнання під час блискавкових розрядів і коротких замикань;
- ідентифікують обриви;
- здійснюють контроль з'єднань заземлювачів із елементами заземлення, а також природних заземлювачів із заземлювальними пристроями.

Заземлювальні елементи, що з'єднують електрообладнання із заземлювальними пристроями (ЗП), не повинні мати розривів чи ненадійних контактів. Міцність з'єднань перевіряють ударами молотка.

Опір таких заземлювальних елементів не нормується, зазвичай становлячи 0,05–0,1 Ом. Наявність електричного кола оцінюють шляхом вимірювання опору за допомогою приладів, таких як Ф 4103-М1, МС-08, М-416 або аналогічних, чи методом амперметра-вольтметра.

Один провід приладу підключають до заземлення через самоочисну струбцину, а другий — до корпусу випробуваного обладнання за допомогою струбцини з ізолюваною ручкою.

На відкритих розподільчих пристроях (ВРУ) електростанцій і підстанцій стан ЗП щодо корозії перевіряють вибірково, розкриваючи ґрунт у місцях із високим ризиком корозії, а також біля нейтралей силових і автотрансформаторів, реакторів, короткозамикачів, розрядників та обмежувачів перенапруг.

У закритих розподільчих пристроях (ЗРУ) огляд заземлювачів із розкриттям ґрунту виконується за рішенням технічного керівника електростанції чи підприємства електромереж.

Для кількісної оцінки корозійного зносу на контрольованих ділянках ЗП вимірюють характерні розміри елемента (діаметр, товщину, ширину, глибину та площу дефектів), які залежать від типу корозії. Вимірювання проводять штангенциркулем.

Щоб виявити схильність до корозії та спрогнозувати термін служби заземлювачів, рекомендують вимірювати електрохімічний окислювально-відновний потенціал, питомий опір ґрунту та перевіряти наявність блукаючих струмів у ґрунті за допомогою існуючих методів.

Заземлювальні провідники необхідно захищати від корозії відповідно до вимог ГНД 34.20.507–2003 та ПУЕ. Відкриті заземлювальні провідники слід покривати захисною фарбою чорного кольору для ідентифікації. У районах із несприятливими екологічними умовами на заземлювальних спусках у зоні переходу земля-повітря потрібно встановлювати термоусадочну трубку (не менше 150 мм над поверхнею ґрунту й не менше 150 мм під землею). В інших місцевостях для захисту в зоні земля-повітря допускається використання альтернативних методів, таких як захисні покриття чи фарбування на ділянці довжиною 70 см.

1.3 Необхідні умови щодо експлуатації заземлювального пристрою

Характеристики ґрунту визначаються його питомим опором, який позначається грецькою літерою ρ . Цей параметр відображає електричні властивості ґрунту. Менше значення ρ забезпечує сприятливіші умови для

функціонування заземлювального пристрою.

Питомим опором ґрунту називають опір між протилежними сторонами куба із ґрунту з ребрами розміром 1 см; воно вимірюється (Ом·см).

Для кращого розуміння: куб міді з ребрами 1 см при температурі 20°C має опір $0,0175 \cdot 10^{-4}$ Ом. Таким чином, при $\rho = 1 \cdot 10^4$ Ом·см опір ґрунту в 5,7 мільярда разів перевищує опір міді.

Питомий опір також вимірюють в (Ом·м). Значення в Ом·м у 100 разів менше, ніж у Ом·см. Наприклад, $1 \cdot 10^4$ Ом·см дорівнює $1 \cdot 10^2$ Ом·м (тобто 100 Ом·м).

Таблиця 1.2 – Орієнтовні значення питомих опорів ґрунтів і води ρ , Ом·см

Найменування ґрунту	Межі величини 10^4
Пісок	4 – 10 і більше
Супісок	1,5 – 4 і більше
Суглинок	0,4 – 1,5 і більше
Глина	0,08 – 0,7 і більше (середнє значення 0,4)
Садова земля	0,4
Торф	0,2
Чернозем	0,1 – 5,3 і більше (середнє значення 2)
Річкова вода	0,1 – 0,8
Москвська вода	0,002 – 0,01
Скеля, валуни	20 - 40
Вічна мерзлота	10 – 100 і більше

У таблиці 1.2 наведено орієнтовні значення питомих опорів різних типів ґрунтів, а також річкової й морської води. Точні величини питомого опору ґрунту слід визначати безпосередньо на місці вимірювань.

За відомим значенням питомого опору ґрунту можна розрахувати опір розтікання різних електродів. Приблизні значення вказані в таблиці 1.3 та на рисунку 1.2.

Таблиця 1.3 – Наближені значення опору розтікання електродів заземлення

Вид електродів	Опір, ом
Трубчатий електрод діаметром 2" при	

довжині 2,5 м	$0,00302\rho$
Кутова сталь 50х 50 мм, дожиною 2,5 м	0,00318
Стержень сталійний, діаметром 12 мм	0,00228
Полосова сталь шириною 40 мм або кругла діаметром 20 мм	$\frac{2\rho}{l}$ де l довжина полоси, см
Прямокутна пластина (при невеликому відношенні розмірів сторін), зложена вертикально	$0.25 \cdot \frac{\rho}{\sqrt{ab}}$ де a і b – розміри сторін пластини, см

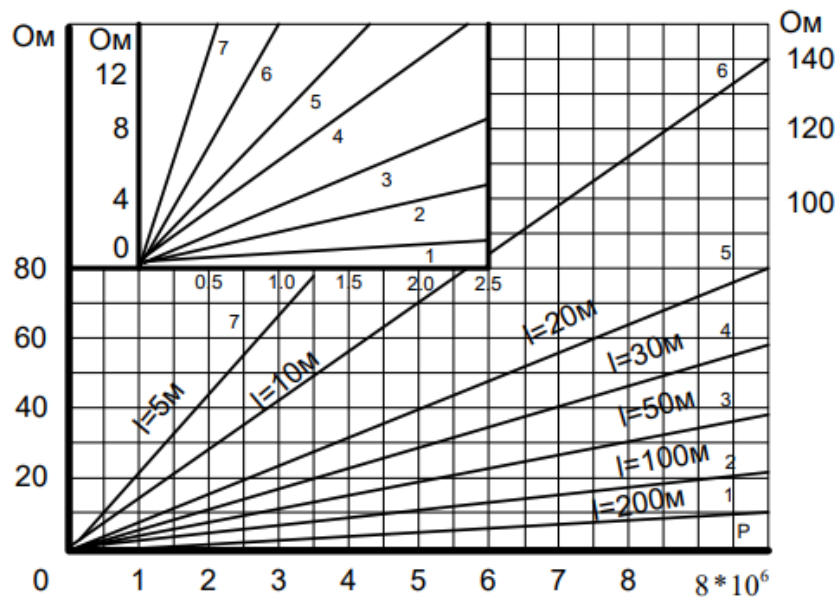


Рисунок 1.2 Опір розтікання смугової сталі шириною 4 см або круглої діаметром 2 см на глибині 70 см

1.4 Кліматичні зони розташування заземлювальних пристроїв

У таблиці 1.3 наведено дані для вологості ґрунту 10–20% від його маси. Влітку ґрунт може висихати, а взимку — промерзати, що значно збільшує опір розтікання заземлювачів. Для забезпечення контакту з вологішими та незамерзаючими шарами ґрунту вертикальні заземлювачі (стержні, куточки, труби) занурюють так, щоб їхній верх був на глибині 0,7–0,8 м. Горизонтальні заземлювачі на такій глибині потрапляють у зону висихання чи промерзання. Для стабільного опору заземлення питомий опір ґрунту при розрахунках збільшують, застосовуючи підвищувальні коефіцієнти, які залежать від

кліматичних зон України (таблиці 1.4, 1.5).

Таблиця 1.4 – Ознаки кліматичних зон

Характеристики кліматичної зони	Кліматичні зони України			
	1-ша	2 – га	3 – тя	4 – та
Середня багаторічна температура (січень), °C	Від – 20 До – 15	Від – 14 До – 10	Від – 10 До 0	Від 0 До +5
Середня багаторічна температура (липень), °C	Від + 16 До + 18	Від + 18 До + 22	Від + 22 До + 24	Від + 24 До + 26
Середньорічна кількість осадів, см	≈ 40	≈ 50	≈ 50	≈ 30 - 50
Тривалість замерзання вод в днях	190 - 170	≈ 150	≈ 10	0

Таблиця 1.5 – Значення підвищуючих коефіцієнтів, до величини ρ

Види електродів	Значення підвищуючих коефіцієнтів			
Вертикальні електроди довжиною 2 – 3 м при глибині заложення вершин 0,8 м	1,8 – 2,0	1,5 – 1,8	1,4 – 1,6	1,2 – 1,4
Горизонтальні електроди при глибині 0,8 м	4,5 – 7,0	3,5 – 4,5	2,0 – 2,5	1,5 – 2,0

Висновки до першого розділу:

- Ґрунт є провідником електричного струму значних розмірів, що сприяє широкому використанню електрообладнання (ЕОУ) в роботі електроустановок (ЕУ).
- Заземлення — це навмисне електричне з'єднання точки мережі, електроустановки чи обладнання із заземлювальним пристроєм.
- Заземлення поділяють на грозозахисне, робоче та захисне залежно від призначення.
- Заземлювальні пристрої (ЗП) повинні забезпечувати нормальні режими роботи електроустановок, електробезпеку персоналу та захист обладнання.

2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

2.1 Розрахунок заземлювальних пристроїв в установках із незаземленою або резонансно-заземленою нейтраллю

В установках 6–35 кВ із незаземленою або резонансно-заземленою нейтраллю опір заземлювального пристрою в будь-яку пору року має становити:

$$R_3 \leq \frac{250}{I_3}. \quad (2.1)$$

де I_3 - розрахунковий струм замикання на землю, А.

Якщо в нейтраль підключений заземлювальний реактор, розрахунковий струм для заземлювальних пристроїв, до яких він приєднаний, становить 125% від його номінального струму. Для заземлювальних пристроїв, не з'єднаних із реактором, за розрахунковий струм беруть некомпенсований ємнісний струм, що виникає при відключенні найпотужнішого заземленого реактора.

Опір заземлювального пристрою для електроустановок 6–35 кВ не повинен перевищувати 10 Ом (згідно з ПУЕ).

У електроустановках до 1 кВ із ізольованою нейтраллю опір заземлювального пристрою в будь-яку пору року має становити:

$$R_3 \leq \frac{250}{I_3}; \quad (2.2)$$

Значення R_3 не повинно перевищувати 10 Ом для джерел потужністю до 100 кВА та 4 Ом для джерел більшої потужності.

У формулах (2.1) і (2.2) у чисельнику вказано допустиму напругу на заземлювачі — 250 В або 125 В. Важливо зазначити, що людина, доторкаючись до заземленого обладнання, потрапляє під дію напруги, меншої за номінальну.

Якщо заземлювальний пристрій використовується одночасно для електроустановок 6–35 кВ і до 1 кВ, його опір визначається за формулою (2.2).

До заземлювальних пристроїв електроустановок до 1 кВ із глухозаземленою нейтраллю висуваються специфічні вимоги, які тут не розглядаються.

Заземлювальні пристрої електроустановок із незаземленою або резонансно-заземленою нейтраллю виконують у формі прямокутника з горизонтальних і вертикальних заземлювачів, іноді як один-два ряди таких заземлювачів. Розрахунок цих пристроїв із достатньою для практики точністю проводять методом коефіцієнтів використання, вважаючи ґрунт однорідним за глибиною.

Порядок розрахунку:

1. Визначають розрахунковий струм I_3 і, використовуючи формули (2.1) або (2.2), обчислюють R_3 (для сукупності заземлювальних пристроїв різної напруги беруть найменше з необхідних значень).

2. Визначають опір природних заземлювачів R_p . Використання природних заземлювачів спрощує конструкцію заземлювального пристрою, зменшує потребу в штучних заземлювачах, а іноді дозволяє обходитися без них. Опір природних заземлювачів вимірюють на конкретній установці. Орієнтовні значення: сталева водопровідна труба — 2–4 Ом; свинцева оболонка кабелю — 2–3 Ом; система трос–опора — 2,5–3 Ом. Опір фундаментів опор відкритих розподільчих пристроїв також розраховують.

Якщо $R_c \leq R_3$, вертикальний заземлювач не потрібен, на території прокладають горизонтальний заземлювач (зазвичай смугу), який приєднують до природного заземлювача щонайменше у двох точках.

Якщо $R_3 < R_c$, необхідно встановлювати штучні заземлювачі, опір яких має становити:

$$R_{\text{шт}} \leq \frac{R_c R_3}{R_c - R_3}; \quad (2.3)$$

Як штучні заземлювачі використовують вертикальні стержні довжиною 3–5 м, діаметром 12–20 мм, а також горизонтальні заземлювачі — сталеві смуги перерізом 40×4 мм.

3. Визначають розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_{\text{розр}} \leq k_c \rho_z; \quad (2.4)$$

де ρ — питомий опір ґрунту, виміряний за нормальної вологості; k_c — коефіцієнт сезонності, що враховує промерзання та висихання ґрунту (2.1). У помірних кліматичних зонах (друга, третя) для вертикальних електродів довжиною 3–5 м k_c становить 1,15–1,45, для горизонтальних електродів довжиною 10–15 м $k_c = 2,0$ –3,5.

Таблиця 2.1 – Питомий опір ґрунтів

Ґрунт	Питомий опір Ом•м	Ґрунт	Питомий опір Ом•м
Пісок	400-1000 і більше	Торф	20
Супісок	150-400	Чорнозем	10-50
Суглинок	40-150	Мергель, вапняк	1000-2000
Глина	8-70	Скелястий ґрунт	2000-4000
Садова земля	40		

4. Попередньо визначають конфігурацію заземлювача, враховуючи його розміщення на виділеній території, при цьому відстань між вертикальними заземлювачами має бути не меншою за їхню довжину. За схемою заземлювального пристрою заздалегідь установлюють довжину горизонтальних заземлювачів.

5. Розраховують опір горизонтальних заземлювачів (сполучної смуги контуру), Ом:

$$r_{\Gamma} = \frac{0,366\rho_{\text{розр}}}{I} \lg \frac{2l^2}{bt}; \quad (2.5)$$

де l - довжина смуги, м;

t - глибина заложення, м;

b - ширина смуги, м.

$\rho_{\text{розр}}$ - розрахунковий опір землі для горизонтальних заземлювачів. З урахуванням коефіцієнта використання опору смуги

$$R_{\Gamma} = \frac{r_{\Gamma}}{\eta_{\Gamma}}. \quad (2.6)$$

де η_{Γ} – коефіцієнт використання по таблиці. 2.1.

6. Якщо $R_{\Gamma} < R_{\text{шт}}$ то вертикальні заземлювачі не потрібні.

Якщо $R_{\Gamma} > R_{\text{шт}}$, то необхідно встановити вертикальні заземлювачі загальним опором:

$$R_B = \frac{R_{\Gamma} R_{\text{шт}}}{R_{\Gamma} - R_{\text{шт}}}. \quad (2.7)$$

6. Розрахуємо опір, Ом, одного вертикального заземлювача (стержня):

$$r_B = \frac{0.366\rho_{\text{роз}}}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right). \quad (2.8)$$

де $\rho_{\text{розр}}$ - розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом·м;

d - діаметр стержня, м;

l - довжина стержня, м;

t - глибина заглиблення, рівна відстані від поверхні землі до середини заземлювача, м.

Таблиця 2.2 – Показник застосування з'єднувальної стрічки в системі вертикальних електродів

Відношення відстань між заземлителями до їх довжини	Кількість вертикальних заземлювачів						
	4	6	8	10	20	30	50
1	0,45	0,40	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21
2	0,55	0,48	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28
3	0,70	0,64	0,60	0,56	0,45	0,41	0,37

7. Визначаємо кількість вертикальних заземлювачів:

$$n_B = \frac{r_B}{R_B \eta_B}. \quad (2.9)$$

де – n_B показник ефективності вертикальних заземлювачів, що залежить від проміжку між ними a , їхньої довжини l й кількості (таблиця 3.3).

За результатами обчислень уточнюється структура заземлювального пристрою.

Виконаємо розрахунок заземлення для підстанції 35/6 кВ, розташованої в іншій кліматичній зоні. Мережі 35 та 6 кВ функціонують із незаземленими нейтраллями. На стороні 35 кВ $I = 8$ А, на стороні 6 кВ $I = 25$ А. Живлення власних потреб підстанції забезпечується трансформатором 6/0,4 кВ із заземленою нейтраллю на стороні 0,4 кВ. Природні заземлювачі відсутні. Питомий опір ґрунту за нормальної вологості $\rho = 86$ Ом·м. Обладнання підстанції розміщене на площі 18×8 м. Визначимо опір заземлювального пристрою для установок 6 – 35 кВ при використанні його одночасно для установки СН напругою до 1 кВ по (2.2):

$$R_C = \frac{125}{I_3} = \frac{125}{8} = 15,6 \text{ (Ом)};$$

$$R_c \leq \frac{125}{25} = 5 \text{ (Ом)}.$$

Опір заземлювального пристрою нейтралі трансформатора на стороні 0,4 кВ має бути не більшим за 4 Ом.

Отже, ключовою умовою для розрахунку є: $R_3 \leq 4 \text{ Ом}$.

Заземлення виконуємо у формі контура зі стрічки 40×4 мм, укладеної на глибині 0,7 м навколо обладнання підстанції, на відстані 2 м від внутрішнього краю огорожі. Загальна протяжність стрічки становить 60 м. Опір заземлювальної стрічки визначається за формулою (2.5).

$$r_r = \frac{0.3666\rho_{\text{розр}}}{l} \lg \frac{2l^2}{bt} = \frac{0.3666 \cdot 3 \cdot 86}{60} \lg \frac{2 \cdot 60^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0.7} = 8.7 \text{ (Ом)}.$$

де $\rho_{\text{розр}} = k_c \rho = 3 \cdot 86$;

k_c - визначений по таблиці (2.2).

Приймаємо в контурі 10 вертикальних заземлювачів, по таблиці 2.2 для $a/l = 1$ знаходимо коефіцієнт використання смуги $\eta_r = 0,34$, тоді опір смуги в контурі із 10 вертикальних заземлювачів

$$R_r = \frac{r_r}{\eta_u} = \frac{8.7}{0.34} = 25.6 \text{ (Ом)};$$

Потрібний опір вертикальних заземлювачів визначається за формулою (2.7).

$$R_b = \frac{R_r \cdot R_3}{R_r - R_3} = \frac{25,6 \cdot 4}{25,6 - 4} = 4,7 \text{ (Ом)};$$

де $R_{\text{шт}} = R_3$ так як природні заземлювачі відсутні.

Таблиця 2.3 – Показники ефективності вертикальних заземлювачів, розташованих по контуру, без урахування дії з'єднувальної стрічки.

Відношення відстані між заземлювачами до їх довжини	Кількість вертикальних заземлювачів	n_B	Відношення відстані між заземлювачами до їх довжини	Кількість горизонтальних заземлювачів n_B	n_B
1	4	0,66 - 0,72	2	20	0,61-0,66
	6	0,58 - 0,65		40	0,55-0,61
	10	0,52 - 0,58		60	0,52-0,58
	20	0,44 - 0,5			
	40	0,38 - 0,44	3	4	0,84-0,86
	60	0,36 - 0,42		6	0,78-0,82
				10	0,74-0,78
2	4	0,76 - 0,8		20	0,68-0,73
	6	0,71 - 0,75		40	
	10	0,66 - 0,71		60	

Кількість вертикальних заземлювачів:

$$n_B = \frac{r_B}{R_B \eta_B} = \frac{24,4}{4,7 \cdot 0,57} = 9,13.$$

де R одного вертикального заземлювача (стержня завдовжки 5 м, діаметром 12 мм при $\rho_{\text{розр}} = k_c \rho = 1,25 \cdot 86 = 108 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}$)

$$r_T = \frac{0.3666 \cdot 108}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{12 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 3.2 + 5}{4 \cdot 3.2 - 5} \right) = 24.4 \text{ (Ом)}.$$

Приймаємо в контурі 10 вертикальних заземлювачів.

2.2 Розрахунок заземлювальних пристроїв в установках 110 кВ і вище з ефективно заземленою нейтраллю

Відповідно до ПУЕ, заземлювальні пристрої електроустановок напругою понад 1 кВ у мережах із ефективно заземленою нейтраллю проектується з урахуванням величини опору $R_3 \leq 0,5$ Ом або допустимої напруги дотику.

Розрахунок за допустимим опором $0,5 R_3 \leq \text{Ом}$ призводить до невиправданої перевитрати провідникового матеріалу та трудовитрат під час монтажу заземлювальних пристроїв для підстанцій малої площі, які не мають природних заземлювачів. Досвід експлуатації розподільчих пристроїв напругою 110 кВ і вище дозволяє перейти до нормування напруги дотику замість величини R_3 . Це обґрунтовується такими міркуваннями. Під час дотику людини до заземленого обладнання, що перебуває під потенціалом, частина опору заземлювача шунтується опором тіла людини R_E та опором розтікання струму від ніг до землі R_C . На тіло людини фактично впливає напруга:

$$U_{\text{л}} = U_{\text{пр}} - U_{\text{с}}. \quad (2.10)$$

де $U_{\text{с}} = I_{\text{л}} R_{\text{с}}$ – спад напруги з двох ступнів людини в землю.

Приймаємо ступню за диск радіусом 8 см, то:

$$R_{\text{с}} = \frac{\rho_{\text{в.с}}}{2 \cdot 4r} = \frac{\rho_{\text{в.с}}}{8 \cdot 0.08} = 15\rho_{\text{в.с}}.$$

де $\rho_{\text{в.с}}$ - питомий опір шару землі ; Ом·м ;

r - радіус ступні, м

Струм, що пронизує через людину

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{пр}} - U_{\text{с}}}{R_{\text{ч}}}. \quad (2.11)$$

Небезпека ураження залежить від величини струму та тривалості його

проходження через тіло людини. Відповідно до встановлених норм, допустимий струм визначається наступним чином:

Таблиця 2.4 – Визначення допустимого струму

Тривалість дії, с	0,1	0,2	0,5	0,7	1,0
Допустимий струм, мА	500	250	100	75	65

Знаючи допустимий струм, можна з рівняння (2.10) знайти допустиму напругу дотику:

$$U_{\text{дот}} \leq I_{\text{Л}} R_{\text{Л}} + U_{\text{С}}. \quad (2.12)$$

Підставляючи значення $U_{\text{С}}$ та $R_{\text{С}}$, отримуємо

$$U_{\text{дот}} \leq I_{\text{Л}} R_{\text{Л}} + 1.51 \rho_{\text{В,С}}. \quad (2.13)$$

Так, наприклад, якщо $R_{\text{Е}} = 1000 \text{ Ом}$, питомий опір верхнього шару ґрунту $\rho_{\text{В,С}} = 1000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, час дії струму $0,5 \text{ с}$, то, знайшовши $I_{\text{Лдоп}} = 100 \text{ мА} = 0,1 \text{ А}$, визначимо:

$$U_{\text{дот}} \leq 0,1 \cdot 1000 + 1,5 \cdot 0,1 \cdot 1000 = 250 \text{ (В)}.$$

З формули (2.13) видно, що зі зростанням $\rho_{\text{В,С}}$ допускається більша напруга дотику. Взявши деяке середнє значення, можна запропонувати для розрахунків наведені нижче припустимі величини напруги дотику:

Таблиця 2.5 – Допустимі значення напруги дотику

Тривалість дії, с	До 0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	1-3
Найбільша допустима напруга дотику, В	500	400	200	130	100	65

За розрахункову тривалість дії $\tau_{в\delta}$ приймаємо:

$$\tau_{в} = \tau_{р.з} + t_{відкл.в}; \quad (2.14)$$

де $t_{р.з}$ – час дії релейного захисту.

Для робочих місць, де персонал торкається до заземлених частин при оперативних перемиканнях, приймається час дії резервного захисту, для решти місць - час дії основного захисту; $t_{відкл.в}$ - повний час відключення вимикача.

Заземлювальний пристрій, виконаний по нормах напруги дотику, повинен забезпечити у будь-який час року обмеження $U_{дот}$ до нормованого значення в межах всієї території підстанції, а напруга на заземлювальному пристрої U_z , повинна бути не вище 10 кВ. Якщо $U_z > 5 - 10$ кВ, необхідно прийняти заходи по захисту ізоляції кабелів, що відходять, і запобігти винесенню високого потенціалу за межі електроустановки.

Заземлювальний пристрій для установок 110 кВ і вище виконується з вертикальних заземлювачів, сполучних смуг, смуг, прокладених повздовж рядів устаткування, вирівнюючих смуг, прокладених в поперечному напрямку, що створюють заземлюючу сітку із змінним кроком (Рисунок 2.1, а). Відстань між смугами має бути не більша 30 м.

Рекомендуються різні методи розрахунку складних заземлювачів. Облік численних чинників, що впливають на розтікання струму із заземлювачів, ускладнює розрахунок. У проектних організаціях він проводиться за спеціально складеною програмою на ЕОМ. Нижче розглянутий спрощений метод розрахунку.

Складний заземлювач замінюється розрахунковою квадратною моделлю (Рисунок 2.1,б). За умови рівності їх площа S , загальної довжини горизонтальних провідників, глибини їх занурення t , числа і довжини вертикальних заземлювачів і глибини їх занурення.

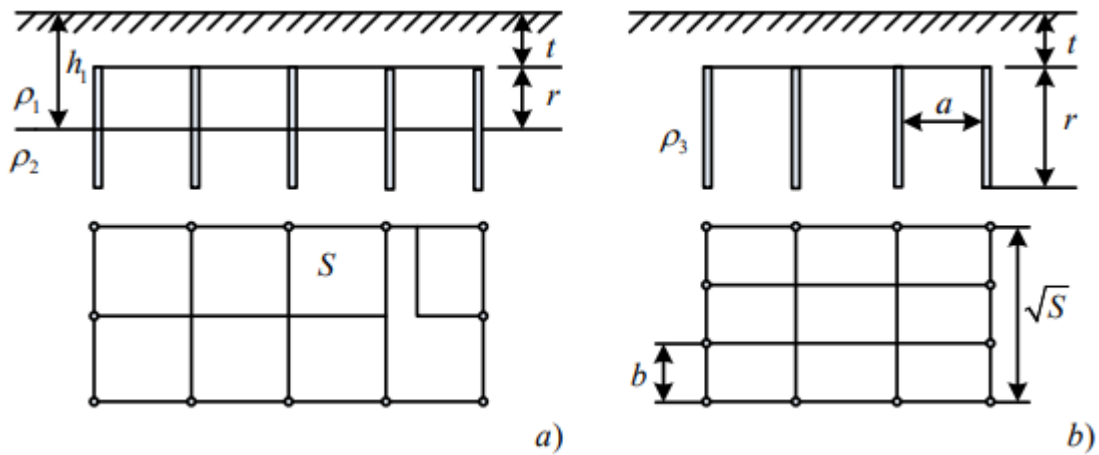


Рисунок 2.1 – До розрахунку складних заземлювачів

У реальних умовах питомий опір ґрунту варіюється залежно від глибини. Зазвичай верхні шари мають вищий питомий опір, тоді як нижні, зволожені шари, — нижчий. Для розрахунків багат шаровий ґрунт моделюється як двошаровий: верхній шар товщиною h_1 з питомим опором ρ_1 , нижній — з питомим опором ρ_2 . Значення ρ_1 , ρ_2 , h_1 визначаються за результатами вимірювань із урахуванням сезонного коефіцієнта k_f . Розрахунок виконується в такому порядку:

1. Знаючи максимальну припустиму напругу дотику, визначаємо напругу на заземлювальному пристрої:

$$U_3 = \frac{U_{\text{дот.доп}}}{k_{\Pi}}; \quad (2.15)$$

де k_{Π} — коефіцієнт напруги дотику; для складних заземлювачів він визначається за формулою:

$$k_{\Pi} = \frac{M\beta}{\left(\frac{l_B L_{\Gamma}}{\alpha \sqrt{S}}\right)^{0.45}}; \quad (2.16)$$

де l_B - довжина вертикального заземлювача, м;

a - відстань між вертикальними заземлювачами, м;

S - площа заземлюючого пристрою, m^2 ;

L_Γ - довжина горизонтальних заземлювачів, м;

M – параметр, залежний від ρ_1 / ρ_2 таким чином:

Таблиця 2.6 – Залежність M від ρ_1 / ρ_2 .

ρ_1 / ρ_2	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	10
M	0,36	0,5	0,62	0,69	0,72	0,75	0,77	0,79	0,8	0,82

β – коефіцієнт який визначається по опору тіла людини $R_\text{ч}$ та опору розтікання струму від ступень $R_\text{с}$:

$$\beta = \frac{R_\text{ч}}{R_\text{ч} + R_\text{с}}; \quad (2.17)$$

У розрахунках приймають $R = 1000 \text{ Ом}$; $R_\text{с} = 1,5$.

2. Оскільки , $U_3 = I_3 R_3$ то опір заземлювального пристрою повинен бути, Ом:

$$R_{3,\text{доп}} \leq \frac{U_3}{I_3}; \quad (2.18)$$

де I_3 – струм, що протікає із заземлювача спроектованого заземлювального пристрою під час однофазного короткого замикання.

Якщо однофазне КЗ відбулося в межах електроустановки, то:

$$I_3 = I_{3,п}^{(1)} \left(1 - \frac{X_0}{X_{r1}} \right). \quad (2.19)$$

де $I_{3,п}^{(1)}$ – струм однофазного КЗ в місці пошкодження;

X_{r1} – опір нульової послідовності трансформаторів даної електроустановки;

X_0 – результуючий індуктивний опір нульової послідовності до місця КЗ.

Якщо однофазне КЗ виникло за межами електроустановки, то:

$$I_3 = I_{п.о}^{(t)} \left(\frac{X_0}{X_{r1}} \right). \quad (2.20)$$

З формул (2.19) і (2.20) видно, що струм, який розтікається в ґрунт через заземлювач, становить певну частину від струму однофазного короткого замикання, залежну від потужності встановлених трансформаторів та кількості заземлених нейтралей у системі. Наприклад, для випадку $I_3 = (0,4 \div 0,6) I_{п.о}^{(t)}$. Для підстанцій із заземленою нейтраллю одного трансформатора ця частка може бути ще нижчою.

3. Визначається сумарний опір природних заземлювачів, Ом:

$$R_C = \frac{1}{\frac{1}{R_{каб}} + \frac{1}{R_{ф}} + \frac{1}{R_{С.Т.О}}}. \quad (2.21)$$

де $R_{каб}$ - опір розтікання струму кабелів;

$R_{С.Т.О}$ - опір розтікання струму системи трос - опори;

$R_{ф}$ – опір розтікання струму фундаментів.

Якщо $R_C < R_{з,доп}$, то створюється лише сітка з горизонтальних стрічок, якщо $R_C > R_{з,доп}$, то потрібно споруджувати штучний заземлювач, опір якого розраховується за формулою (2.3).

4. Визначається сумарний опір складного заземлювача, переведеного в розрахункову модель, Ом:

$$R_3 = A \frac{\rho_e}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_e}{L_\Gamma + L_B}; \quad (2.22)$$

де

$$A = \left(0,444 - 0,84 \frac{l_B + t}{\sqrt{S}} \right) \text{ при } 0 \leq \frac{l_B + t}{\sqrt{S}} \leq 0,1; \quad (2.23)$$

$$A = \left(0,385 - 0,25 \frac{l_B + t}{\sqrt{S}} \right) \text{ при } 0,1 \leq \frac{l_B + t}{\sqrt{S}} \leq 0,5. \quad (2.24)$$

де ρ_e – еквівалентний питомий опір землі Ом·м (таблиця 3.7);

l_B – загальна довжина вертикальних заземлювачів; $l_B = l_{BnB}$.

Отримане значення R_3 має бути менше $R_{иск}$ або R_3 .

Якщо опір заземлювального пристрою перевищує встановлені норми, необхідно розширити площу S , подовжити L_Γ , збільшити кількість вертикальних заземлювачів p_B та їхню довжину. Це спричиняє додаткові витрати й ускладнює реалізацію на підстанціях. Ефективним способом зниження ризику ураження струмом є насипання шару гравію чи щебеню товщиною 0,1–0,2 м у зонах робочих місць. Питомий опір верхнього шару при цьому значно зростає (5000–10000 Ом·м), що зменшує струм, який протікає через людину, завдяки збільшенню опору розтікання струму від ступні R_C .

У розрахунках відповідно знижується коефіцієнт β , а допустимий опір заземлювального контуру зростає.

Таблиця 2.7 – Еквівалентний відносний питомий опір для сіток із вертикальними заземлювачами ρ_1 / ρ_2

ρ_1 / ρ_2	a/l_B	Відносна товщина						
		0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	0,95
1	1 - 4	l	l	l	l	l	l	l
2	1	1,02	1,03	1,05	1,1	1,13	1,3	1,4
	2	1,03	1,07	1,1	1,13	1,15	1,32	1,5
	4	1,05	1,17	1,13	1,15	1,2	1,38	1,6
5	1	1,05	1,1	1,15	1,22	1,35	1,86	2,4
	2	1,22	1,26	1,35	1,43	1,54	2,12	2,7
	4	1,33	1,41	1,5	1,65	1,83	2,6	3,5
10	1	1,1	1,2	1,28	1,38	1,62	2,5	3,7
	2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,75	5,5
	4	1,52	1,7	1,88	2,08	2,33	3,52	6,0
0,125	0,5-4	0,95	0,9	0,8	0,7	0,62	0,54	0,52
0,25	0,5-4	0,97	0,93	0,85	0,78	0,71	0,65	0,64
0,5	0,5-4	0,99	0,96	0,92	0,88	0,83	0,79	0,77

Заземлювальний контур має бути виконаний відповідно до встановлених вимог щодо його опору. При цьому, незалежно від пори року, з урахуванням природних заземлювачів, опір повинен відповідати нормам $R_z \leq 0,5$ Ом.

У таких заземлювальних системах для вирівнювання потенціалу укладають поздовжні й поперечні смуги на глибині 0,5–0,7 м та на відстані 0,8–1 м від фундаментів чи опор обладнання. Рекомендується, щоб відстань між поперечними смугами зростала від країв до центру заземлювальної сітки, але не перевищувала 20 м.

Приклад розв'язку заземлювального пристрою для КТП 110/6 кВ наведено в додатку Б

Висновки до другого розділу:

1. Заземлювальні контури електроустановок із ізольованою або резонансно-заземленою нейтраллю формуються у вигляді прямокутної сітки з горизонтальних і вертикальних заземлювачів, а іноді як один-два ряди таких

заземлювачів. Для практичних цілей розрахунків цих систем можна виконувати методом коефіцієнтів використання, вважаючи ґрунт однорідним за глибиною.

2. Для установок напругою 110 кВ і вище заземлювальний пристрій складається з вертикальних заземлювачів, з'єднувальних смуг, смуг уздовж рядів обладнання та поперечних вирівнювальних смуг, що утворюють сітку зі змінним кроком (див. Рисунок 2.1, а). Відстань між смугами не повинна перевищувати 30 м.

Для розрахунку складних заземлювачів застосовуються різні методи. Врахування численних факторів, що впливають на розтікання струму, ускладнює обчислення. У проектних організаціях такі розрахунки виконуються за допомогою спеціалізованих комп'ютерних програм.

3 МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТУ І ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

3.1 Методика вимірювань питомого опору ґрунту

Під час проєктування великих заземлювальних систем необхідно виявити зони з найнижчим опором ґрунту для створення економічно вигідної конструкції. Вимірювання опору можна проводити різними способами: двоточковим або триточковим методами. Найточнішим зазвичай є чотириточковий метод, який використовується, наприклад, у тестері заземлення моделі 4500. На ділянці вимірювання встановлюють чотири електроди на однаковій відстані в лінію. Між крайніми електродами пропускають струм відомої величини, створений генератором. Падіння напруги вимірюється між внутрішніми електродми.

$$\rho = \frac{4\pi \cdot AR}{\left(1 + \frac{2A}{A_2 + 4AB_2}\right)} - \frac{2A}{4A_2 + 4B_2}. \quad (3.1)$$

де A - відстань між електродми в см;

R – опір ґрунту (Ом·см) ;

B - глибина заземлення електродів в см.

Якщо $A > 20 B$, то формула набуває наступного вигляду:

$$\rho = 2\pi \cdot AR. \quad (3.2)$$

3.2 Загальна методика вимірювань опору заземлювального пристрою

Під час вимірювання опору заземлювальних пристроїв (ЗП), зокрема методом амперметра-вольтметра, з міркувань безпеки слід застосовувати

мінімально можливу вимірювальну напругу. Також необхідно вжити заходів, щоб унеможливити появу людей і тварин у зоні проведення робіт та біля встановлених допоміжних електродів (заземлювачів).

Опір ЗП вимірюється з під'єднаними природними заземлювачами. Для точної оцінки стану заземлювачів вимірювання слід проводити в періоди найнижчої провідності ґрунту – взимку або влітку. Інакше виміряний опір ЗП необхідно коригувати за сезонним підвищувальним коефіцієнтом, указаним у проєктній документації.

Виміряний опір ЗП не повинен перевищувати нормативного значення (таблиця 3.1) у будь-яку пору року та має відповідати вимогам ГНД 34.20.302–2002.

Перед вимірюванням опору ЗП необхідно ознайомитися з проєктною документацією та актами на приховані роботи.

До обсягу вимірювань опору ЗП після монтажу, реконструкції чи капітального ремонту входить перевірка цілісності прихованих заземлювальних провідників, які перебували в зоні робіт або були об'єктом цих робіт. Це необхідно, оскільки під час перебудови, ремонту чи монтажу може бути порушена цілісність ЗП, з'єднань його елементів, від'єднані чи приєднані природні заземлювачі або додані нові елементи.

Періодичні вимірювання опору ЗП в електроустановках напругою вище 1 кВ проводяться відповідно до вимог ГНД 34.20.302–2002 та ГНД 34.20.507–2003.

Якщо вимірювання опору заземлювального пристрою (ЗП) неможливе, слід виконати його розрахунок і вказати це в документації до ЗП.

Опір ЗП вимірюють приладами, такими як МС-08, М-416, Ф 4103-М1 (або іншими дозволеними приладами), методом амперметра-вольтметра згідно з інструкціями в експлуатаційній документації, або за допомогою вимірювального комплексу КДЗ-1У.

Для вимірювання опору ЗП створюють коло струму через заземлювач, що тестується. На відстані від 30 до 120 м установлюють (забивають) струмові та потенційний допоміжні електроди, останній – для вимірювання падіння напруги

в опорі ЗП під час проходження струму.

Як допоміжні електроди використовують сталеві стрижні або труби діаметром до 50 мм, очищені від іржі в місцях приєднання провідників. Їх забивають або вгвинчують у ґрунт на глибину 0,8–1,0 м.

Точність вимірювань залежить від розташування ЗП та допоміжних електродів, а також відстаней між ними. Ці відстані визначаються розмірами ЗП і особливостями прилеглої території.

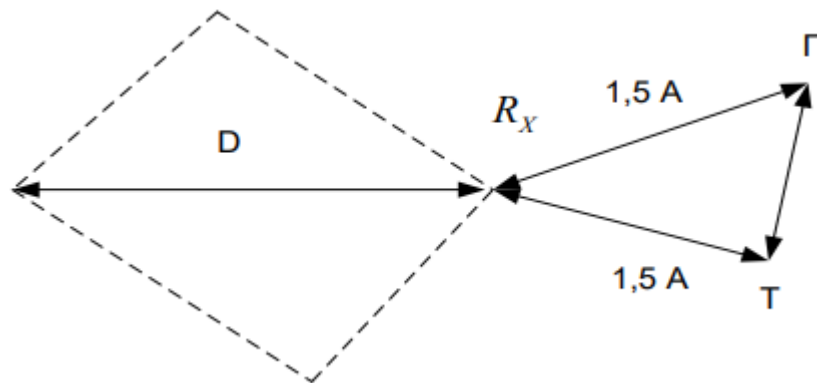
Допоміжні електроди слід розміщувати на ділянках, вільних від ліній електропередачі та підземних металевих комунікацій: потенційний електрод – не ближче 50 м, струмовий – не ближче 100 м від металевих елементів, пов'язаних із ЗП (трубопроводів, кабелів із металевими оболонками тощо).

Таблиця 3.1 – Максимально допустимі значення опору ЗП

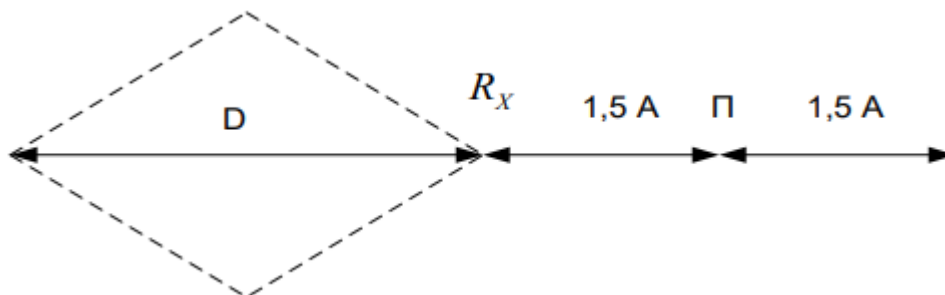
Найменування електро-установок	Характеристика електроустановок і заземлювального об'єкта	Величина, яка вимірюється	Опір, Ом
Електроустановка на напругу 1кВ, крім ПЛ	З глухозаземленою нейтраллю	Опір ЗП	Значення, яке зазначене в проєкті ЗП, але не більше 0,5
	Електроустановка в мережі з ізольованою нейтраллю і електроустановка без компенсуючих апаратів у мережах з компенсацією ємності струмів замикання на землю	Таке саме	10
	Електроустановка з компенсуючими апаратами	-»-	200/1 (100/1)*, але не більше 10
	Блискавковідвід, який стоїть окремо	Опір заземлювача	25
Електроустановка на напругу до 1 кВ, крім ПЛ	Штучний заземлювач, до якого приєднано нейтралі генераторів і трансформаторів на напругу до 1 кВ	Те саме для мереж: 630/380 В 380/220 В 220/127 В	15 30 60

Для вимірювання опору складних заземлювальних пристроїв (ЗП) достатніми є відстані між струмовим і потенційним допоміжними електродами, а також від них до ЗП, що дорівнюють $3D$ (де D – найбільша діагональ ЗП, довжина променя або довжина вертикального електрода ЗП).

Можна провести кілька вимірювань опору за різними напрямками променів (розташування допоміжних електродів), як показано на рисунку 3.1, при різних відстанях D і A , зазначених у таблиці 3.2, і за фактичне значення прийняти варіант із найбільшим опором.



а – двохраненева схема



б – двохраненева схема

Рисунок 3.1 – Розміщення допоміжних електродів під час вимірювання опору ЗП

де П – потенційний допоміжний електрод;

R_x – опір ЗП;

Т – токовий допоміжний електрод;

D – найбільша діагональ;

A – відстань між токовим і потенційним допоміжними електродами

Таблиця 3.2 – Рекомендовані значення відстаней D і A

Відстань, м			
D	> 40	10 - 40	< 10
A	$\geq D$	≥ 40	≥ 20

Для вимірювання великого опору заземлювального пристрою (ЗП) прилад типу МС-08 (М-416) підключають за трипровідною схемою, з'єднуючи клеми $I_1(1)$ і $E_1(2)$ між собою (рисунок 3.2). При цьому опір провідника, що з'єднує прилад із ЗП, враховується у вимірюваному опорі, тому провідник має мати переріз не менше 4–6 мм².

Для вимірювання малого опору ЗП прилади підключають за чотирипровідною схемою з розімкнутими клемми $I_1(1)$ і $E_1(2)$.

$I_1(1)$	$E_1(2)$	$E_2(3)$	$I_2(4)$
0	0	0	0

Рисунок 3.2 – Виводи приладу МС-08 (М-416) для приєднання проводів

Під час вимірювання опору заземлювального пристрою (ЗП) не допускається перевищення опору струмового допоміжного електрода граничних значень: 1000 Ом, 500 Ом або 250 Ом для меж вимірювання приладів 1000 Ом, 100 Ом і 10 Ом відповідно. Щоб виміряти фактичний опір струмового допоміжного електрода, достатньо поміняти місцями проводи, підключені до затискачів $I_1(1)$ і $I_2(4)$ приладу типу МС-08 (М-416). Для зниження опору можна зволожити ґрунт водою, розчином солі або кислоти в місцях розташування допоміжних електродів.

Детальний порядок вимірювань і випробувань викладено в технічній літературі та інструкціях до приладів.

Якщо ЗП розташовано на території великого промислового підприємства, підстанції з багатьма лініями електропередачі або в інших умовах, що унеможливають розміщення струмового й потенційного допоміжних

електродів у зоні, вільній від підземних металевих комунікацій, пов'язаних із ЗП, опір ЗП дозволяється визначати розрахунковим методом.

Для виконання обчислень опору ЗП слід врахувати:

- фактичне розміщення природних й штучних заземлювачів ЗП;
- властивості ґрунту, де розташовано об'єкт, встановлені шляхом вертикального електричного зондування.

3.3 Вимірювання опору заземлення заземлювальних пристроїв із застосуванням вимірювальних електродів

Спрощений (двоточковий) метод. Цей спосіб використовується, коли є доступ до іншого заземлення, окрім того, що вимірюється.

У щільно забудованих місцевостях, де складно розмістити два допоміжні електроди, застосовують двохточковий метод. Вимірювання відображають опір двох послідовно з'єднаних заземлювальних пристроїв. Отже, додаткове заземлення має бути достатньо надійним, щоб його опір можна було ігнорувати. Також необхідно визначити опір провідника та відняти його від отриманого результату.

Двоточковий метод менш точний порівняно з триточковим (методом 62%), оскільки залежить від відстані між електродом, що вимірюється, та допоміжним заземленням (наприклад, невикористаним заземленням або водопровідною трубою). Цей спосіб не є стандартним, а радше виступає рішенням для густонаселених районів (див. рисунок 3.3).

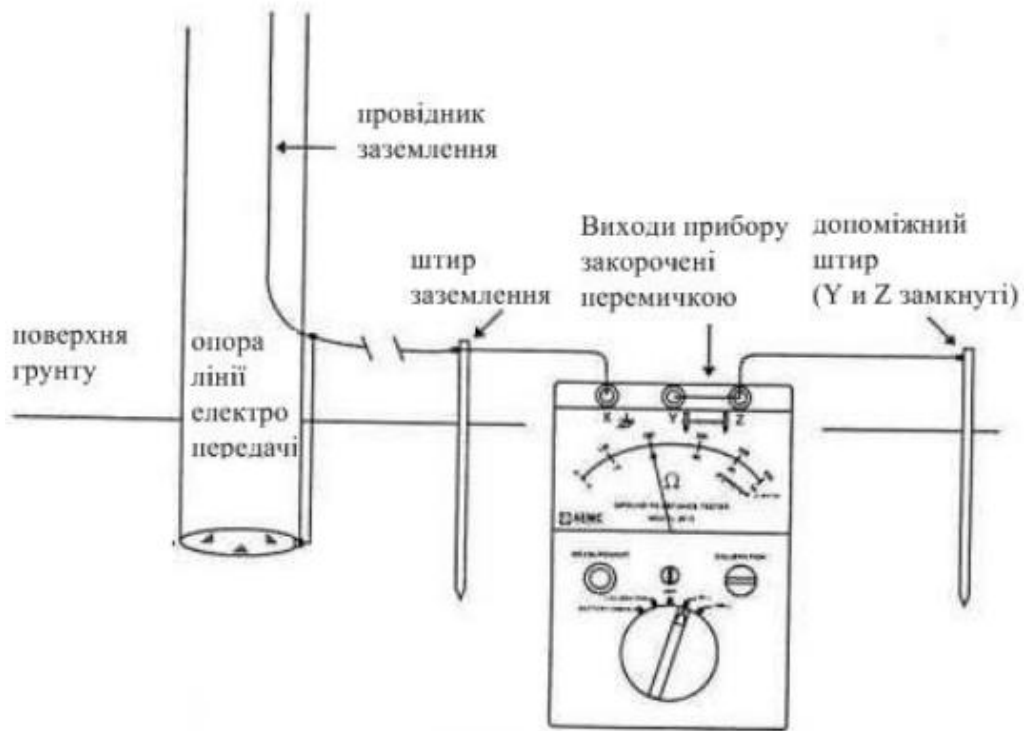


Рисунок 3.3 – Стандартний метод вимірювання опору ЗП

Схема триточкового методу падіння потенціалу. За допомогою вольтметра вимірюють напругу між штирями X і Y, а амперметром — силу струму, що проходить між штирями X та Z (див. рисунок 3.4).

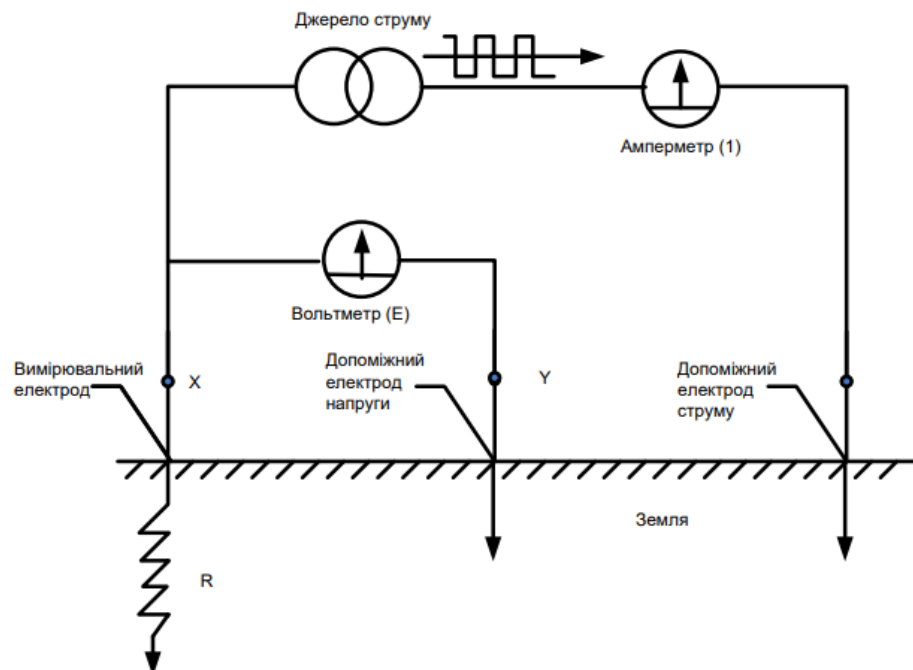


Рисунок 3.4 – Метод падіння потенціалу, 3 – точкова схема.

Точки X, Y і Z відповідають точкам X, P і C у приладі з триточковою схемою або точкам 31, P2 і 32 у приладі з чотириточковою схемою.

Використовуючи закон Ома у вигляді $E = RI$ або $R = E/I$, можна обчислити опір заземлення електрода R. Наприклад, якщо $E = 20 \text{ В}$, а $I = 1 \text{ А}$, то:

$$R = E / I = 20 / 1 = 20 \text{ (Ом)}.$$

При застосуванні вимірювача заземлення немає потреби виконувати ці розрахунки. Прилад автоматично генерує необхідний струм для вимірювання й безпосередньо відображає значення опору заземлення.

Розташування допоміжного електрода під час вимірювання. Для точного визначення опору заземлення допоміжний електрод струму Z слід розмістити на достатній відстані від електрода, що перевіряється, щоб потенціал на допоміжному електроді напруги Y вимірювався поза зонами ефективного опору як електрода X, так і допоміжного електрода струму Z.

Найефективніший спосіб перевірити, чи розташовано електрод поза зонами ефективного опору інших електродів, — це провести вимірювання, змінюючи його позицію. Якщо допоміжний електрод напруги Y перебуває в зоні ефективного опору одного з інших електродів (або одночасно в обох, якщо зони перетинаються), то при зміні його розташування показники приладу суттєво варіюватимуться, і в такому разі точно визначити опір заземлення неможливо (див. рисунок 3.5).

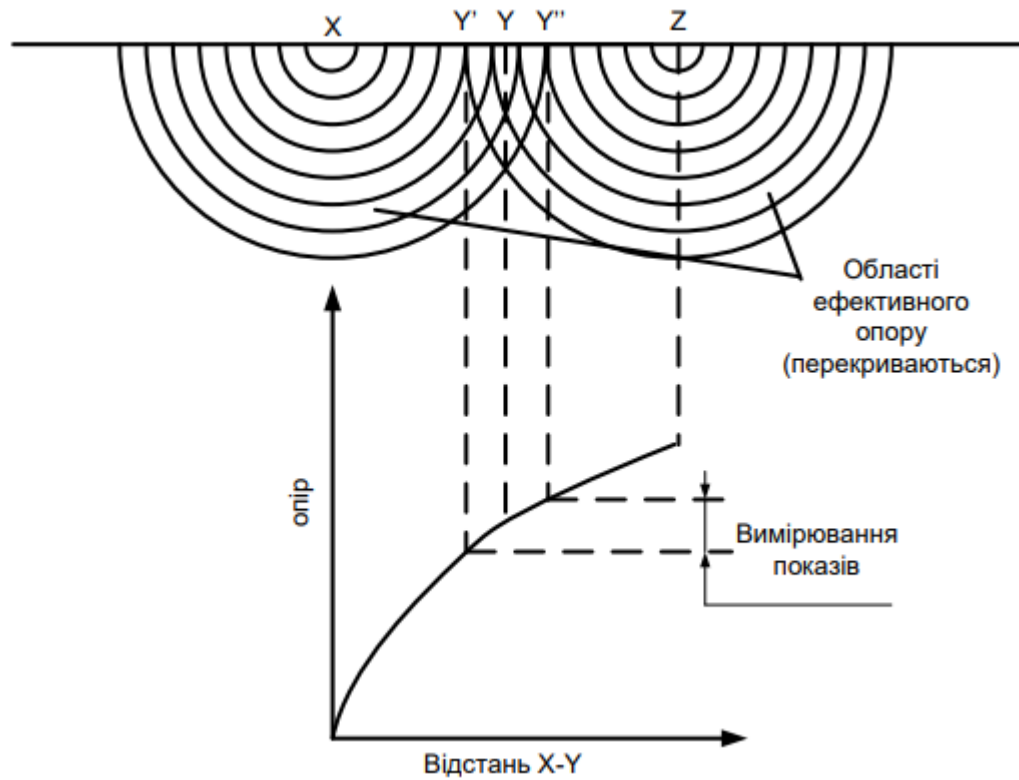


Рисунок 3.5 – Розташування допоміжного електрода струму Z під час вимірювання

Натомість, якщо допоміжний електрод напруги Y розміщено поза зонами ефективного опору (див. рисунок 4.6), то при зміні його позиції показники приладу залишатимуться практично незмінними.

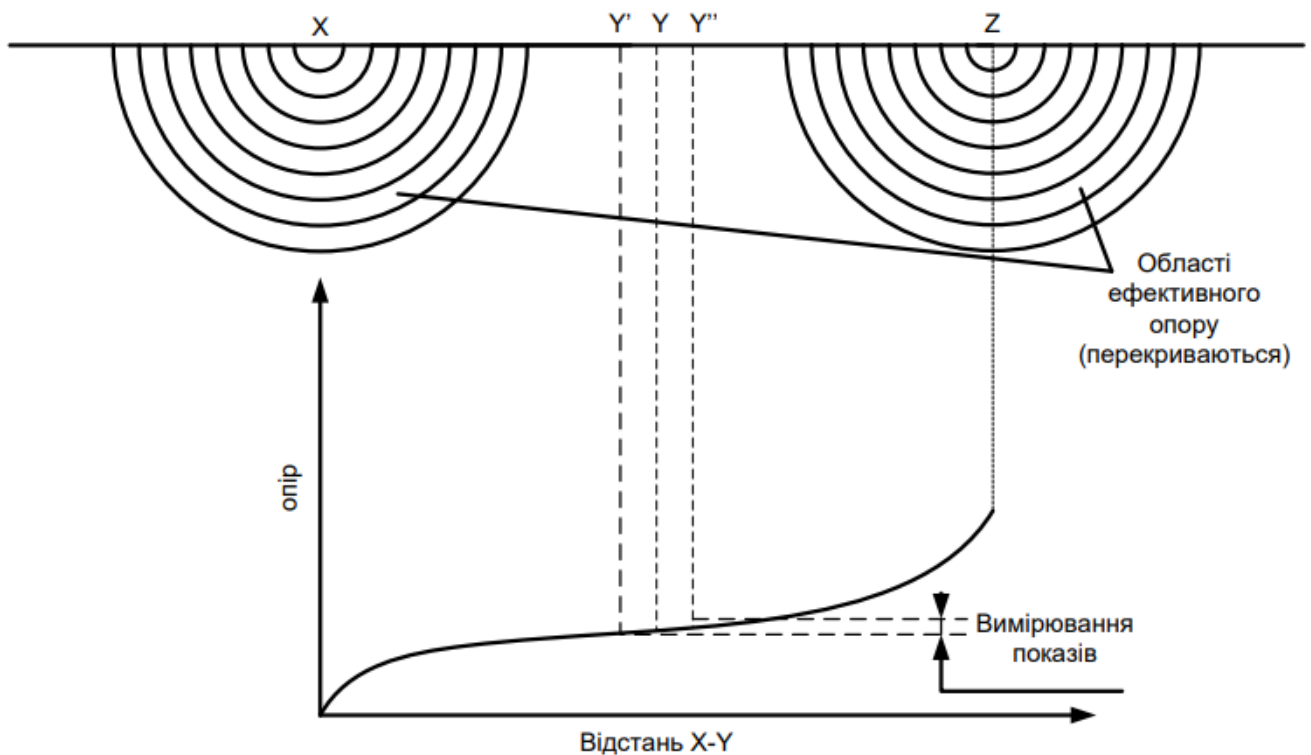


Рисунок 3.6 – Розташування допоміжного електрода напруги Y під час вимірювання

Це є оптимальним способом оцінки опору заземлення електрода X. Зазвичай відстань від цієї зони до електрода, що перевіряється, становить близько 62% відстані між допоміжним електродом струму та електродом, що тестується.

Вимірювання опору заземленого електрода (метод 62%). Метод 62% було затверджено після аналізу графіків і практичних випробувань. Він забезпечує найвищу точність за умови однорідного ґрунту.

Цей спосіб використовується, коли перевіряється заземлювальний пристрій, а два допоміжні електроди можливо вибудувати в одну лінію. Заземлення складається з одного штиря, труби, пластини тощо, як зображено на рисунку 3.7.

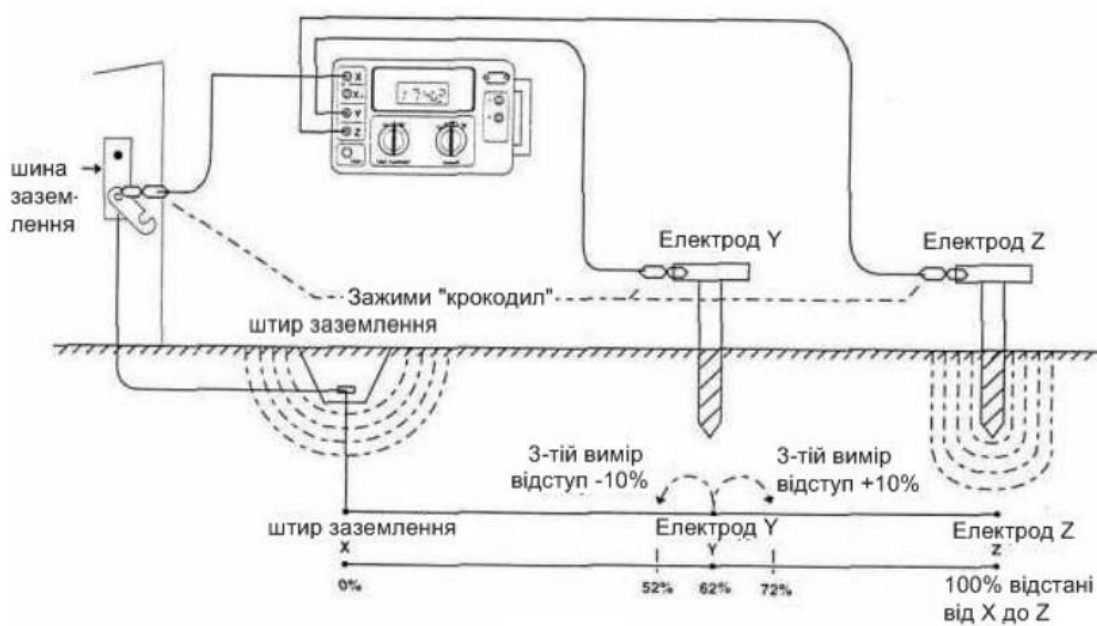


Рисунок 3.7 – Застосування методу 62 – х відсотків

На рисунку 3.8 зображено, що зони ефективного опору (набір концентричних поверхонь навколо штирів) електрода, що перевіряється, X, та допоміжного електрода струму Z перетинаються.

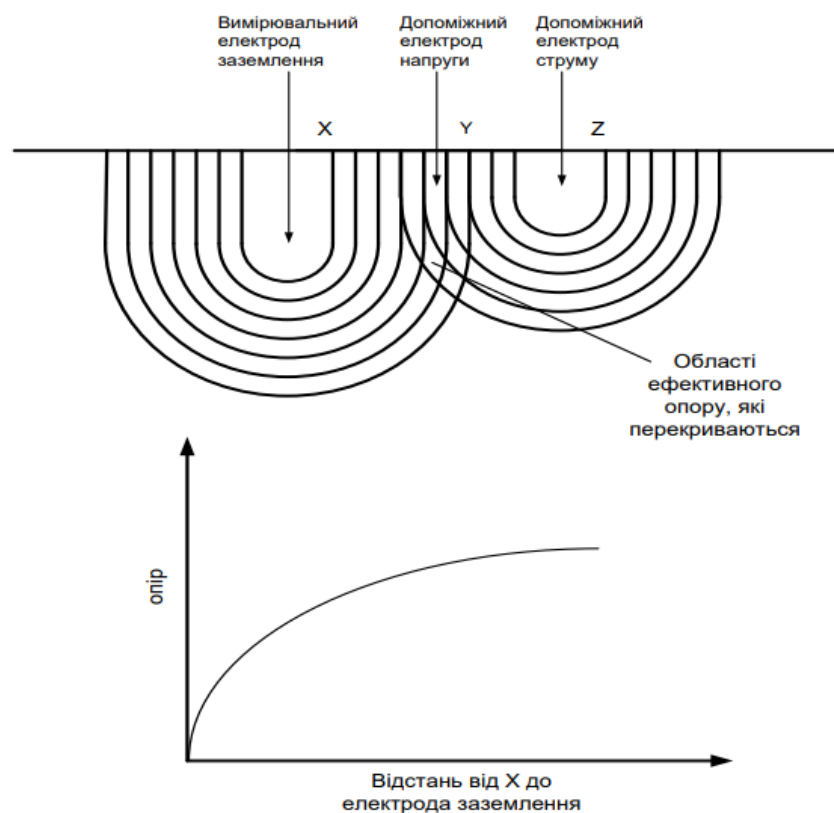


Рисунок 3.8 – Зони ефективного опору перекриваються

Якщо перемістити електрод потенціалу Y ближче до електроду X або Z і повторити вимірювання, показники значно відрізняться, а отримане значення буде суттєво відхилятися від справжнього опору заземлення. Перекриття зон ефективного опору спричиняє зростання виміряного опору в міру віддалення електроду X від електроду Y , що перевіряється.

Тепер розглянемо рисунок 3.9, де електроди X і Z розташовані на достатній відстані, щоб зони їхнього ефективного опору не перекривалися. Якщо побудувати графік залежності опору від відстані між електродами X і Y , видно, що різниця між значеннями опору зліва і справа від точки 62% (відносна відстань від Y до X) є прийнятно малою. Зазвичай ця різниця виражається у відсотках від виміряної величини: $\pm 2\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ тощо.

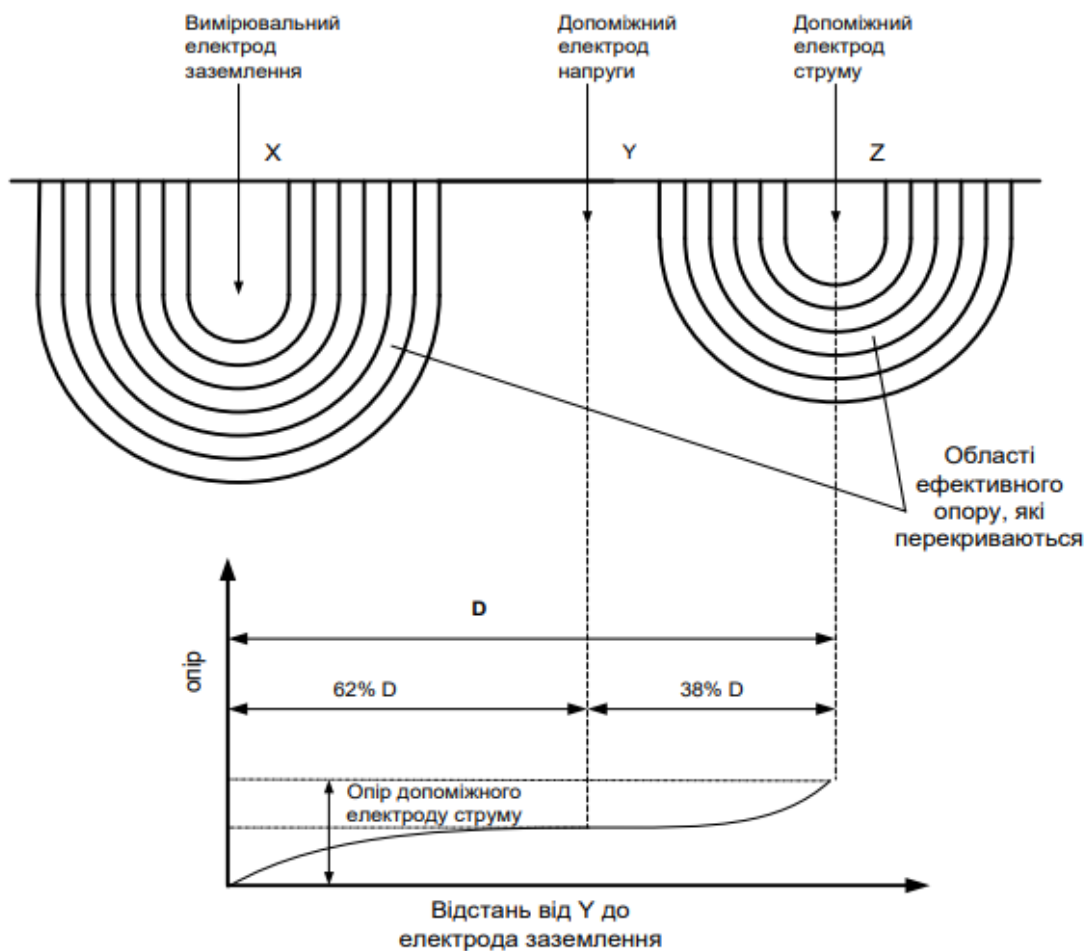


Рисунок 3.9 – Зони ефективного опору не перекриваються

Неможливо встановити універсальне значення відстані від допоміжного електрода струму Z до електрода, що перевіряється, X , оскільки воно залежить від довжини й діаметра електрода, однорідності ґрунту та, зокрема, розмірів зон ефективного опору електродів. Проте нижче наведено орієнтовне значення цієї відстані для електрода діаметром 1 дюйм за умов однорідного ґрунту (для діаметра 0,5 дюйма відстань зменшується на 10%, для діаметра 2 дюйми — збільшується на 10%).

Таблиця 3.3 – Відстані до допоміжних електродів для методу 62%

Відстань до допоміжних електродів для методу 62%		
Глибина заземлення перевірочного електрода, фути	Відстань до електрода Y , фути	Відстань до електрода Z , фути
6	45	72
8	50	80
10	55	88
12	60	96
18	71	115
20	74	120
30	86	140

Вимірювання опору заземлювальних пристроїв за допомогою струмових кліщів (наприклад, приладом СА6415).

Цей інноваційний метод дозволяє визначати опір заземлення без відключення заземлювального кола. Його перевага полягає в можливості вимірювання загального опору заземлювального пристрою, включно з опором з'єднань у колі.

Теоретичні засади методу. Заземлювальний провідник електромережі загального призначення можна зобразити схемою, показаною на рисунку 3.10, або еквівалентною схемою, представленою на рисунку 3.11.

Будь-який заземлювальний пристрій в електросистемі з численними точками контакту із землею можна схематично зобразити як електричне коло, що складається з кількох простих контурів (див. рисунок 3.10).

Коли випробувальна напруга E подається через спеціальний

трансформатор, розташований у головці приладу, до заземлювального стрижня (провідника з опором R_x), у колі починає протікати результуючий струм I .

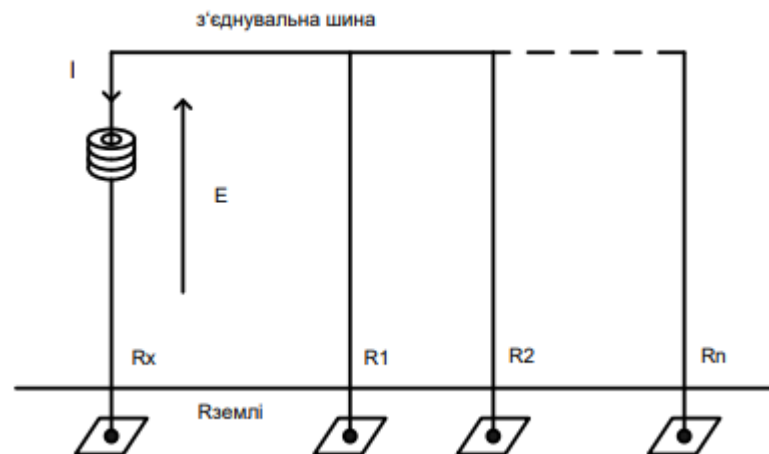


Рисунок 3.10 – Схема вимірювання опору заземлювальних пристроїв із використанням струмових кліщів

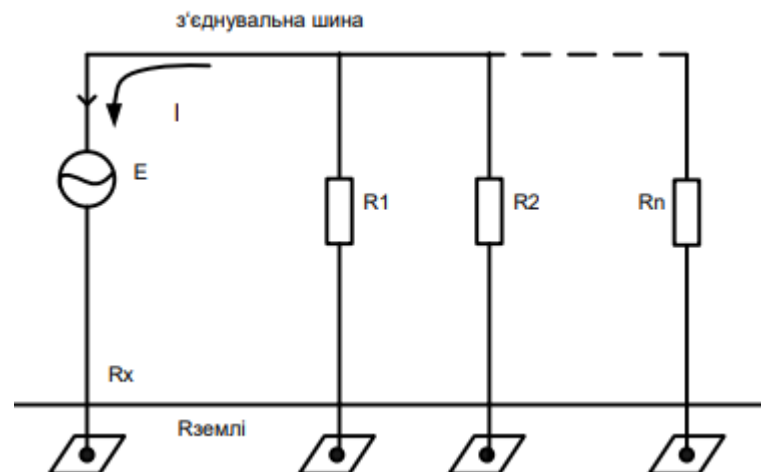


Рисунок 3.11 – Еквівалентна схема для вимірювання опору заземлювальних пристроїв із застосуванням струмових кліщів

Струм генерується спеціальним трансформатором, підключеним через підсилювач потужності до джерела напруги з фіксованою амплітудою та частотою.

У приладах СА 6410/12/15 генератор напруги з частотою 2,4 кГц створює напругу E , а результуючий струм I вловлюється приймальною котушкою, розміщеною у вимірювальній головці приладу.

Вимірювальний сигнал фіксується синхронним детектором, підсилюється селективним підсилювачем, фільтрується, порівнюється в компараторі з опорним сигналом, перетворюється аналогово-цифровим перетворювачем і виводиться на ЖК-дисплей.

Селективний підсилювач використовується для очищення корисного сигналу від перешкод частоти мережі та високочастотних шумів.

Внутрішній фільтр підсилювача відсікає всі струми, крім результуючого струму I , величина якого становить $I = E/R_x$.

Знаючи значення E (встановлюється генератором) та I (вимірюється), можна визначити опір контуру R_x , який відображається на екрані приладу. Фактично, опір контуру R_x включає такі величини:

- $R_{\text{землі}}$ - величина, значення якої звичайно набагато менше 1 Ома;
- $R_1, R_2, \dots, R_n$ - незначний опір паралельно з'єднаних провідників, які об'єднують окремі заземлювачі в заземлювальний контур;
- R_x - шукане значення опору;
- $R_{\text{з'єднувальної шини}}$ - (величина, що зазвичай становить значно менше 1 Ом).

Отже, потрібний опір заземлювального контуру є сумою опорів $R_x + R_{\text{землі}} + (R_1 \parallel R_2 \dots \parallel R_n) + R_{\text{сполучної шини}}$ або, незважаючи на малі величини опорів $R_{\text{землі}}$, $(R_1 \parallel R_2 \dots \parallel R_n)$, і $R_{\text{з'єднувальної шини}}$, він приблизно дорівнює R_x .

Нижче подано приклади вимірювання опору заземлення реальних об'єктів у типових умовах.

Вимірювання опору заземлення трансформатора, встановленого на опорі лінії електропередачі (стовпова трансформаторна підстанція). Вимірювання проводять у такій послідовності (див. рисунок 3.12):

Обхопіть кліщами заземлювальний провідник і визначте силу струму в ньому.

Примітка: кліщі мають бути розміщені на електричному шляху від нейтралі системи або заземлювального провідника до штиря чи штирів (залежно від конструкції).

Максимально допустиме значення струму становить 30 А. Якщо струм

перевищує 30 А, вимірювання опору заземлення неможливе. У такому разі припиніть вимірювання, зніміть прилад СА 6415 із цієї точки та продовжуйте вимірювання в інших точках.

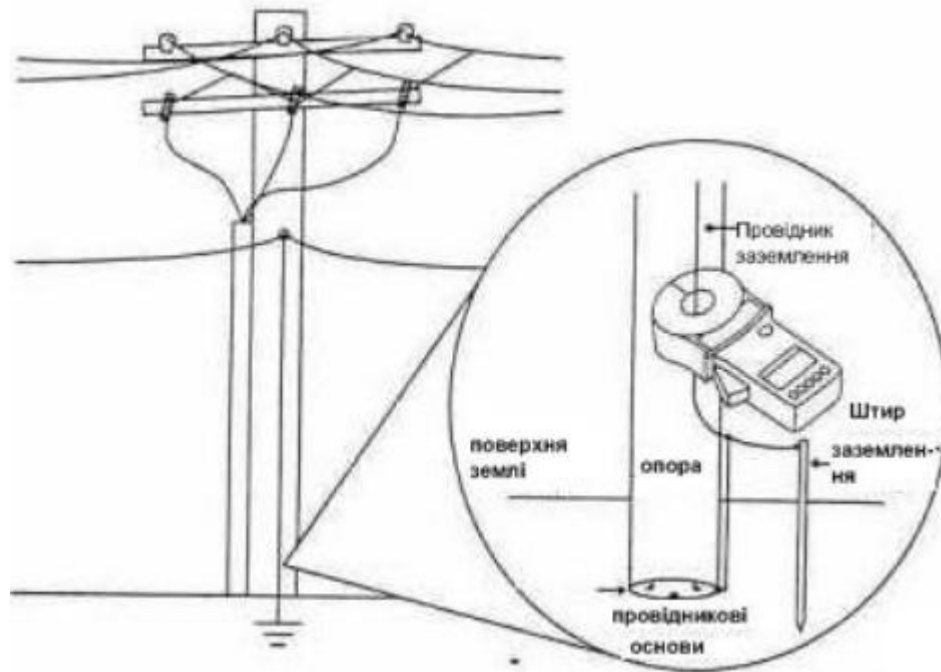


Рисунок 3.12 – Визначення опору заземлення трансформатора

Якщо струм у колі заземлення не перевищує допустимої величини, увімкніть на приладі режим “?” і зчитайте результат вимірювання в омах. Отримане значення охоплює не лише опір системи заземлення, а й опір контакту нейтралі зі штирем та всіх з’єднань між нейтраллю і штирем.

Зверніть увагу, що на рисунку 3.12 заземлення забезпечується торцем стовпа та заземлювальним штирем. Кліщі слід підключати вище точки з’єднання провідників від торця стовпа та штиря, щоб виміряти сумарний опір обох заземлювачів.

Високий опір може бути спричинений: незадовільним заземленням штиря; від’єднаним заземлювальним провідником; підвищеним опором контактів або місць з’єднання провідника.

Несучі стійки фундаментів електрообладнання та опор ліній електропередачі. Знайдіть заземлювальний провідник біля фундаменту стійки. Зауважте, що можливі різні конфігурації. Будьте уважні, визначаючи

заземлювальні провідники. На рисунку 3.13 зображена стійка на бетонному фундаменті із зовнішнім заземлювальним провідником. Точку підключення кліщів потрібно розташувати вище місця електричного з'єднання елементів системи заземлення, яка може складатися з групи штирів, пластин, витків або частин фундаменту.

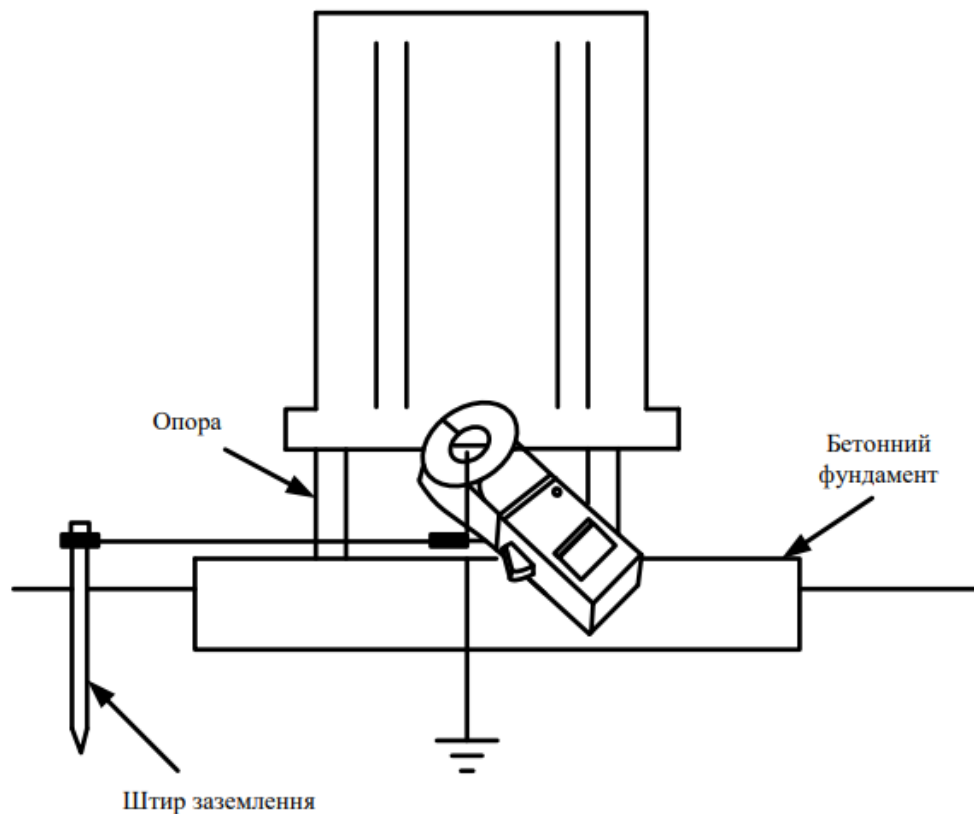


Рисунок 3.13 – Сійка на бетонному фундаменті із зовнішнім заземлювальним провідником

3.4 Специфіка методів вимірювання опору заземлення ВРП на підстанції

Вимірювання опору заземлення трансформатора, розміщеного на відкритому майданчику. Необхідно встановити та врахувати всі наявні заземлювальні штирі (як правило, використовується один). У разі, коли штир розташований всередині огороженої зони (див. рисунок 4.14), слід виконати підключення до провідника безпосередньо після місця з'єднання зі штирем. Досить часто від клема на штирі може бути прокладено кілька провідників, які

йдуть до нейтралі або повертаються всередину огороженого простору. У багатьох ситуаціях найточніші результати можна отримати, застосовуючи струмовимірювальні кліщі типу 3710 чи 3730, приєднані безпосередньо до штиря заземлення.

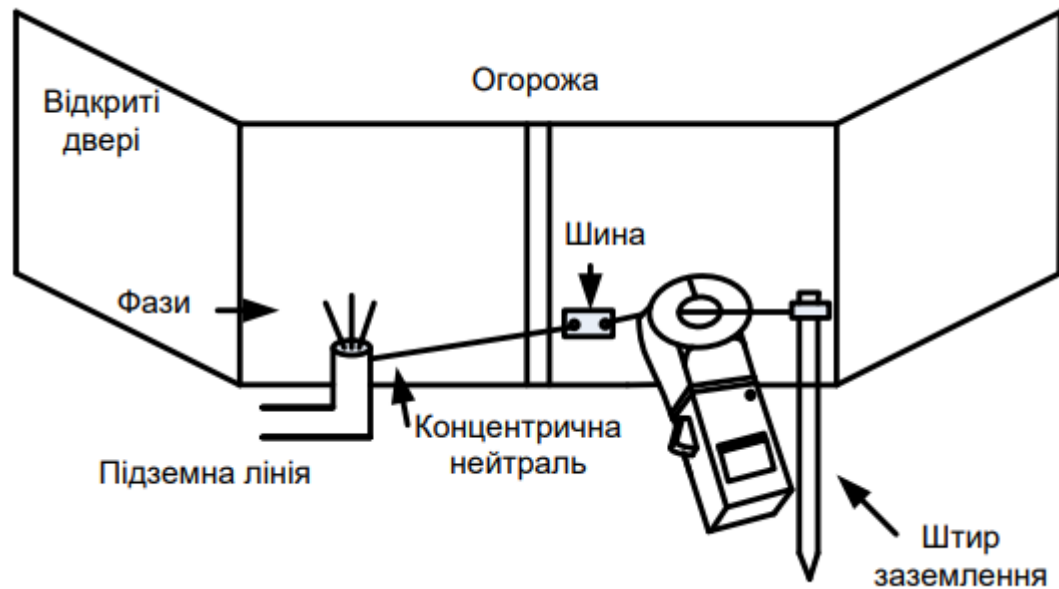


Рисунок 3.14 – Заземлювальний штир розташований всередині огороженої території

У деяких випадках штир може бути встановлений поза межами огорожі (див. рисунок 3.15):

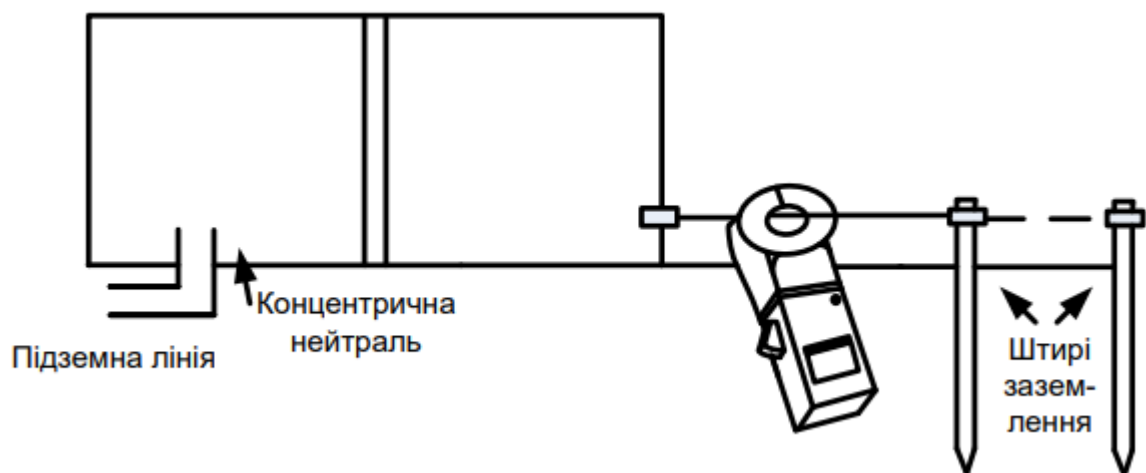


Рисунок 3.15 – Заземлювальний штир розміщено за межами огороженої зони

У цьому випадку проводиться вимір лише опору самого заземлювального

елемента. Струмовимірювальні кліщі слід під'єднувати виключно в тій точці, де існує єдиний шлях струму до нейтралі.

Якщо отримане значення опору виявилося занадто малим, це, найімовірніше, свідчить про підключення до струмової петлі — у такій ситуації потрібно змінити місце вимірювання, наблизившись до самого штиря. На рисунку 3.15 зображено варіант, коли штир розміщено за межами огороження. Щоб отримати достовірний результат, слід підключити кліщі в точці, яка позначена на цьому зображенні. Якщо ж у середині огороження знаходяться кілька штирів, розміщених у різних місцях, необхідно з'ясувати схему їх з'єднання, щоб правильно обрати точку під'єднання для вимірювання.

3.5 Визначення опору контактів у місцях з'єднання заземлювального пристрою з заземленою електроустановкою

Електропровідність заземлювального провідника можливо визначити, підключивши його між двома входами вимірювального пристрою (див. рисунок 3.16).

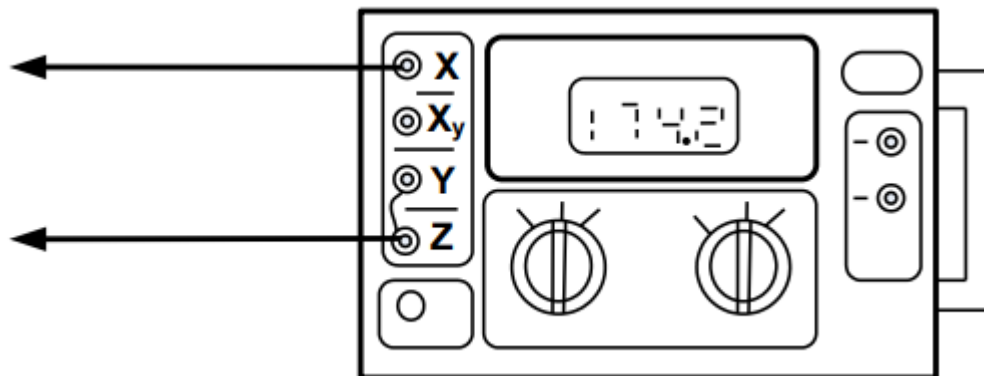


Рисунок 3.16 – Вимірювальний прилад для визначення опору контактів у місцях з'єднання заземлювального пристрою із заземленою електроустановкою

3.6 Визначення опору між заземленою електроустановкою та окремими її заземленими елементами

Візьміть кліщами провідник заземлення й виміряйте силу струму в ньому.

Кліщі мають бути розміщені на електричному шляху від нейтралі системи чи заземлювального провідника до штиря або штирів (залежно від конструкції).

Максимально допустимий струм становить 30 А. Якщо сила струму перевищує 30 А, вимірювання опору заземлення провести неможливо. У такому разі зупиніть вимірювання, приберіть прилад СА 6415 із цієї точки й перейдіть до вимірювань в інших місцях.

Якщо струм у колі заземлення не перевищує дозволеного значення, активуйте на приладі режим “?” і зчитайте результат у омах. Отримане значення відображає не лише опір заземлювальної системи, а й включає опір контакту між нейтраллю та штирем, а також усіх з’єднань між ними.

3.7 Вимірювання напруги дотику та кроку

Вимірювання напруги дотику в електроустановках проводять для оцінки безпеки працівників та захисту обладнання від надмірної напруги. Регулярні вимірювання опору заземлювального пристрою (електрода чи сітки) рекомендуються, якщо:

- заземлення компактне та легко від’єднується;
- є ризик корозії через низький опір ґрунту чи гальванічні процеси;
- пробій на землю біля заземлення малоймовірний.

Вимірювання напруги дотику застосовують, коли:

- відключення заземлення неможливе з фізичних чи економічних причин;
- можливі пробої на землю біля заземлення чи обладнання;
- розміри “контуру” обладнання відповідають заземленню.

Жоден із цих методів не оцінює здатність заземлювального провідника витримувати значні струми витоку. Для цього потрібен окремий тест із великим струмом.

Для вимірювання напруги дотику використовують 4-контактний тестер, який створює в ґрунті напругу, що імітує несправність. Прилад показує струм у

вольтх на ампер, який множать на максимальний очікуваний струм у ґрунті. Наприклад, при 5000 А та показнику 0,100 напруга дотику становить 500 В.

Метод подібний до вимірювання падіння потенціалу, але потребує іншої відстані між допоміжними електродами.

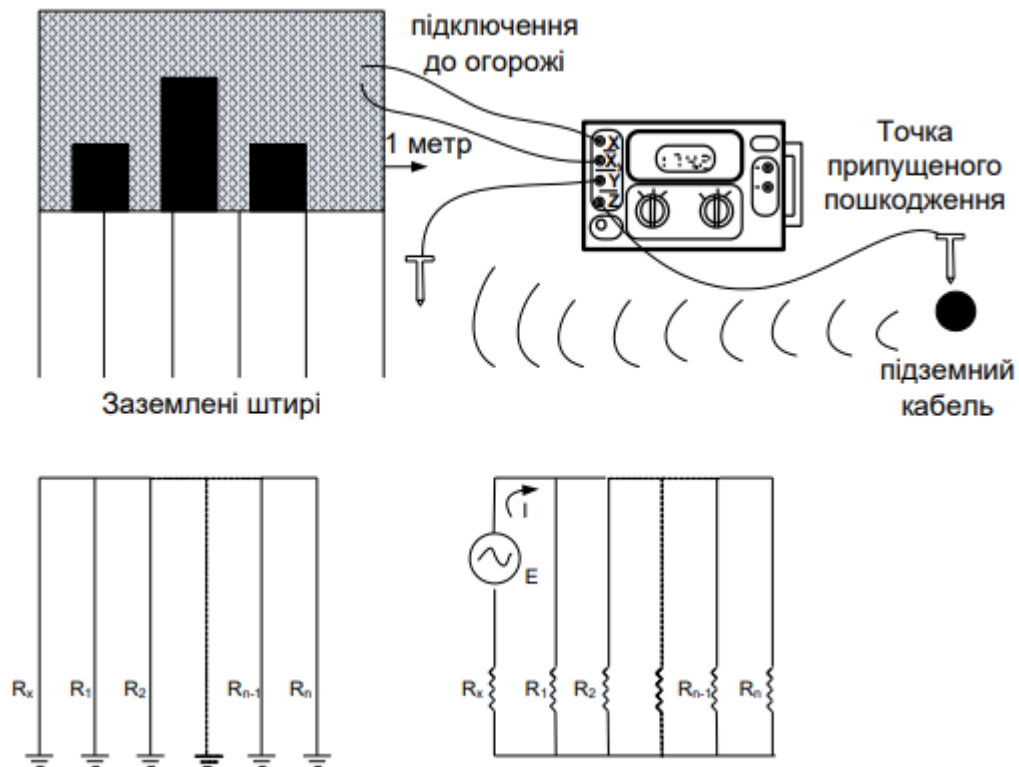


Рисунок 3.17 – Вимірювання напруги дотику

Розглянемо такий приклад. Припустимо, ізоляція підземного кабелю, зображеного на схемі, була пошкоджена неподалік від підстанції. У ґрунті виникнуть аварійні струми, які прямуватимуть до заземлювального пристрою підстанції, створюючи різницю потенціалів. Ця напруга може становити загрозу для здоров'я чи навіть життя персоналу, який перебуває на цій ділянці.

Для приблизного вимірювання напруги дотику в цій ситуації виконайте такі кроки. Підключіть кабелі між огорожею підстанції та точками 31 і P1 4-контактного тестера заземлення. Встановіть електрод у ґрунті в місці, де ймовірний пробій кабелю, і з'єднайте його з виводом 32 приладу. Розмістіть ще один електрод у ґрунті на лінії між першим електродом і точкою підключення до

огорожі, на відстані одного метра (або довжини витягнутої руки) від місця підключення до огорожі, і підключіть його до точки Р2 приладу. Увімкніть прилад, оберіть діапазон 10 мА, виконайте вимірювання. Отримане значення помножте на максимальний можливий струм під час аварії.

Розміщуючи електрод, підключений до виводу Р2 приладу, у різних точках навколо огорожі, що прилягає до несправної лінії, можна скласти карту розподілу потенціалу.

Напруга дотику в електроустановках, де заземлювальний пристрій (ЗП) виконано відповідно до норм на напругу дотику (у мережах із великими струмами короткого замикання), вимірюється за умови підключених природних заземлювачів. Вимірювання напруги дотику слід проводити в контрольних точках, визначених розрахунками під час проєктування. Для збору даних у базу діагностики стану ЗП рекомендується вимірювати напругу дотику також на робочих місцях (де можливі короткі замикання при дотику персоналу до обладнання чи конструкцій) та в інших потенційно небезпечних зонах.

Для вимірювання напруги дотику застосовують прилади типу ПИНП, ЗКО-200 або інші дозволені пристрої, а також вимірювальний комплекс серії КДЗ-1У.

Під час вимірювання імітується протікання струму замикання через заземлене обладнання та допоміжний токовий електрод, а напруга дотику визначається між місцем розташування ніг людини і точкою її можливого контакту з обладнанням (рисунок 3.18), що має пошкодження чи порушення ізоляції.

Виміряна напруга коригується з урахуванням опору тіла людини ($R_{\text{п}} = 1$ кОм для установок із напругою вище 1 кВ із глухозаземленою нейтраллю; у приладах ЗКО-200 і ПИНП такий резистор вбудований) та опору основи (місце під пластиною, що імітує стопи людини). Опір основи рекомендується визначати для кожної точки вимірювання за допомогою мегаомметра.

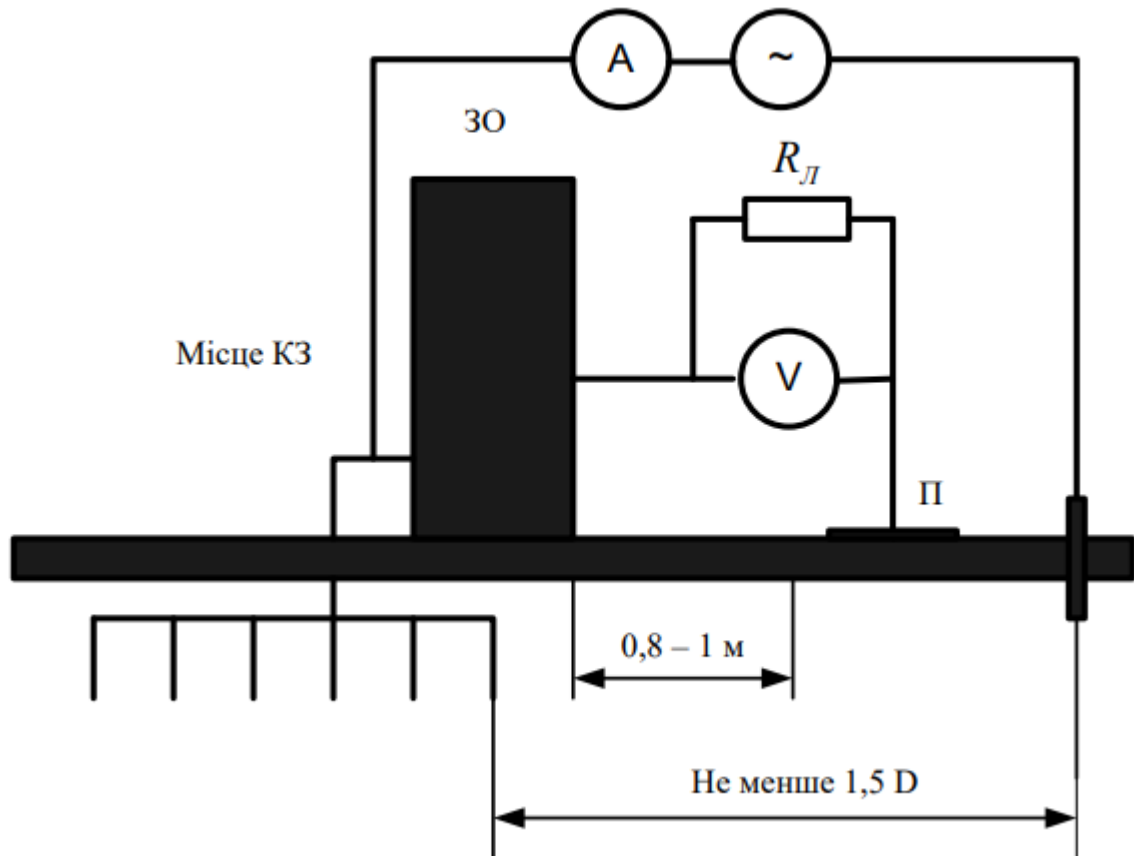


Рисунок 3.18 – Схема вимірювальних контурів для визначення напруги дотику на робочому місці

Пластина (потенційний допоміжний електрод), що імітує стопи людини, має розміри 25 см х 25 см, навантажується і розташовується приблизно на відстані 1 м від обладнання (рисунок 3.19). Поверхню під пластиною слід вирівняти та зволожити.

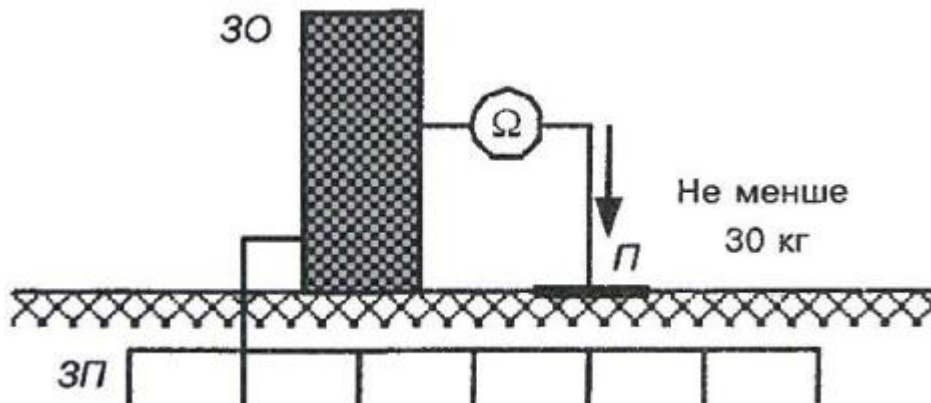


Рисунок 3.19 – Схема вимірювання опору основи

Напруга дотику розраховується за формулою:

$$U_{\text{дот}} = \frac{U_{\text{вим}} I_{\text{кзрозр}}}{U_{\text{вим}}} . \quad (3.3)$$

де $U_{\text{дот}}$ - напруга дотику при розрахунковому струмі КЗ, В;

$U_{\text{вим}}$ – виміряна напруга дотику при струмі у вимірювальному колі який рівний $I_{\text{вим}}$, В;

$I_{\text{кзрозр}}$ - розрахунковий для ЗП струм КЗ, А.

На точність вимірювань можуть суттєво впливати сторонні струми в ґрунті (блукаючі струми або струми, пов'язані з робочим режимом електроустановки, що стікають із заземлювача в землю). Тому під час вимірювань слід перевірити наявність таких струмів, за можливості зменшити їхній вплив (наприклад, відключити електрозварювання) або забезпечити напругу на заземлювачі від вимірювального струму, яка щонайменше в 10 разів перевищує напругу від сторонніх струмів.

Напругу завад визначають за показаннями вольтметра V при відключеному джерелі живлення вимірювального контуру.

Провідники струмового та потенційного контурів, виводи $\text{A}2$ (1) і $\text{A}1$ (2) приладу до заземленого обладнання підключають окремими струбцинами. Провідник струмового контуру з'єднують із заземлювальним спуском обладнання або його корпусом. Провідник потенційного контуру підключають до точки можливого дотику.

Потенційний контур від виводу $\text{A}2$ (3) приладу з'єднують із пластиною П. Вивід $\text{I}2$ (4) приладу підключають провідником до струмового електроду, імітуючи струмовий контур, що виникає при замиканні на землю.

Під час вимірювань на підстанціях 110 кВ і вище виводи $\text{A}1$ і $\text{A}2$ вимірювального приладу необхідно зашунтувати резистором $R_{\text{п}}$ 1 кОм (за винятком приладів ЗКО-200 і ПІНП).

Напругу дотику можна вимірювати й поза робочим місцем. У цьому разі

провідник струмового контуру під'єднують до заземлювального провідника найближчого обладнання, через яке може проходити струм короткого замикання (КЗ).

Під час вимірювань необхідно враховувати розподіл струмів КЗ на підстанції. Якщо основна частина струму КЗ повертається до нейтралі трансформатора перевірюваної підстанції, нейтраль трансформатора може слугувати струмовим допоміжним електродом. В іншому випадку струмовий допоміжний електрод виносять за межі підстанції на відстань не меншу за $1,5-2D$ (де D – найбільша діагональ підстанції). Опір струмового допоміжного електрода, як правило, не повинен перевищувати опір перевірюваного заземлювача більш ніж у 20 разів.

Для електроустановок із напругою до 1 кВ із заземленою чи ізольованою нейтраллю, а також вище 1 кВ з ізольованою нейтраллю граничнодопустимі значення напруги дотику не повинні перевищувати норм, установлених ГОСТ 12.1.038–82.

Напруга кроку – це різниця потенціалів між двома точками кола струму, розташованими на відстані кроку, на яких одночасно стоїть людина.

На рисунку 3.20 показано визначення напруги між точками на поверхні ґрунту (або іншої основи, де стоїть людина) у зоні розтікання струму від одиничного заземлювача у вигляді півкулі. У цьому випадку напруга кроку визначається як різниця потенціалів φ_x і φ_{x+a} між двома точками на поверхні землі в зоні розтікання струму, розташованими на відстанях x і $x+a$ від заземлювача та на відстані кроку одна від одної, де людина стоїть одночасно. Довжина кроку а приймається рівною 0,8 м. Отже, напруга кроку $U_k, В$, становить:

$$U_k = \varphi_x - \varphi_{x+a} = I_h \cdot R_h = \varphi_3 \cdot \beta_1. \quad (3.4)$$

де β_1 - коефіцієнт напруги кроку, який враховує форму потенціальної кривої: $\beta_1 = (\varphi_x - \varphi_{x+a})/\varphi_3 \leq 1$.

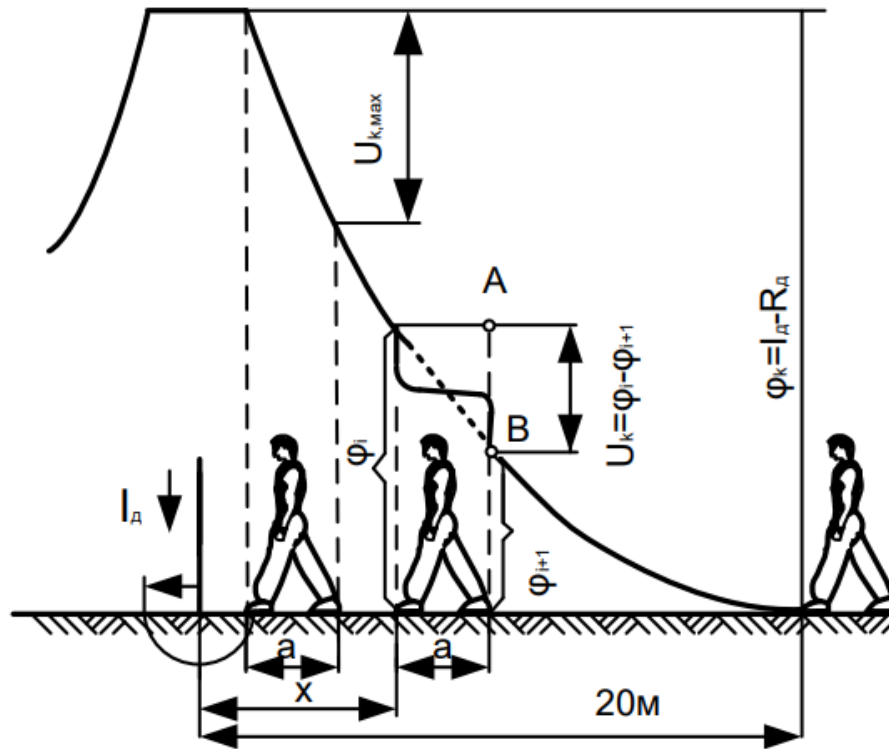


Рисунок 3.20 – Напряга кроку для одиничного заземлювача у вигляді півкулі

Оскільки різниця потенціалів між двома точками, на яких стоїть людина, розподіляється між опором тіла людини R_h та послідовно з'єднаними з ним опорами взуття $R_{вз}$ і розтікання основи $R_{осн}$, то:

$$\varphi_3 \cdot \beta_1 = I_h \cdot (R_h + R_{вз} + R_{осн}) = I_h \cdot R_{пов} = I_h \cdot R_h \cdot R_{пов} / R_h. \quad (3.5)$$

де $R_{пов} = R_h + R_{вз} + R_{осн}$ - повний опір людини.

В свою чергу $I_h \cdot R_h = U_{кр}$

Отже, вираз для напруги кроку, враховуючи спад напруги на опорі взуття та опорі основи, на якій стоїть людина, відповідно до (4.7) матиме вигляд:

$$U_{кр} = \varphi_3 \cdot \beta_1 \beta_2. \quad (3.6)$$

де β_2 - коефіцієнт, що враховує спад напруги в додаткових опорах ланцюгів людини:

$$\beta_2 = R_h / R_{пов} = R_h / (R_h + R_{вз} + R_{осн}). \quad (3.7)$$

4 ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

4.1 Вимоги до періодичності перевірок стану заземлювальних пристроїв

Відповідно до норм ГНД 34.20.507–2003 та ГНД 34.20.302–2002, періодичність перевірок і контролю стану заземлювальних пристроїв (ЗП) така:

- Повна перевірка – для нових ЗП, а також після капітального ремонту чи реконструкції (переобладнання).
- Вимірювання опору ЗП – після встановлення, переобладнання, але не рідше ніж раз на 12 років.
- Вибіркова перевірка корозійного стану заземлювачів (з розкриттям ґрунту) – не рідше ніж раз на 12 років. За потреби, за рішенням технічного керівника енергооб'єкта (електростанції, підстанції, мережі), перевірку можна проводити частіше.
- Контроль наявності та стану зв'язків між заземлювачем і заземлюваними елементами, з'єднань природних заземлювачів із ЗП, відповідності ЗП проєкту та вимогам ПУЕ (особливо за відсутності схеми заземлення) – після ремонтів, але не рідше ніж раз на 12 років, а для ЗП, що експлуатуються понад 25 років, – раз на 6 років.
- Перевірка з'єднань нульових виводів первинних обмоток однофазних вимірювальних трансформаторів напруги 35 кВ і вище за схемою «зірка» та зв'язків нуля «зірки» із ЗП – не рідше ніж раз на 6 років.
- Контроль стану з'єднань із ЗП вузлів високочастотних конденсаторів зв'язку (фільтрів приєднання), високочастотних каналів релейного захисту, протиаварійної автоматики, засобів диспетчерського керування через проводи ПЛ, з урахуванням можливості технічного обслуговування фільтрів приєднання разом із ВЧ-кабелями та апаратурою без зняття напруги з ПЛ, за умови дотримання заходів безпеки згідно з ДНАОП 1.1.10.-1.01–98 – не рідше ніж раз на 6 років.

- Вимірювання напруги дотику (для ЗП, виконаних за нормами на напругу дотику) у розрахункових точках – не рідше ніж раз на 6 років.
- Перевірка (розрахункова) відповідності напруги на ЗП вимогам ПУЕ – після монтажу, реконструкції, капітального ремонту, але не рідше ніж раз на 12 років.
- Контроль параметрів ЗП у місцях, де можливі зміни через проведені роботи.

Після коротких замикань або грозових перенапруг необхідно оглянути ЗП у зоні впливу та на прилеглих ділянках.

4.2 Контроль розміщення горизонтальних і вертикальних заземлювачів та перевірка надійності їхніх з'єднань

Заземлювальні елементи, що з'єднують електрообладнання із заземлювальним пристроєм (ЗП), не повинні мати розривів або ненадійних контактів. Якість з'єднань перевіряють ударом молотка.

Опір таких заземлювальних елементів не нормується і зазвичай становить 0,05–0,1 Ом. Наявність електричного кола оцінюють шляхом вимірювання опору за допомогою вимірювача типу Ф 4103-М1 чи інших аналогічних приладів (МС-08, М-416 тощо) або методом амперметра-вольтметра

Один провід приладу під'єднують самоочисною струбциною безпосередньо до заземлення, а другий – за допомогою струбцини з ізолювальною ручкою до корпусу перевірюваного обладнання.

Висновки до третього розділу:

1. Опір ґрунту можна вимірювати кількома способами: дво-, три- або чотириточковим методом. Найточнішим зазвичай є чотириточковий метод.
2. Під час вимірювань опору ЗП для забезпечення безпеки слід використовувати мінімально можливу вимірювальну напругу.
3. Основною причиною вимірювання напруги дотику є потреба оцінити безпеку персоналу та захист обладнання від високої напруги. Проте в окремих випадках електричну безпеку можна аналізувати з різних перспектив.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Цей розділ бакалаврської кваліфікаційної роботи присвячений визначенню вимог охорони праці щодо безпечної експлуатації заземлюючих пристроїв розподільних установок. Під час експлуатації заземлюючих пристроїв розподільних установок, згідно [17, 18], на оперативно-ремонтних працівників впливають такі шкідливі виробничі фактори: фізичні, хімічні та трудового процесу:

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо).

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил).

Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

5.1 Технічні рішення з безпечної організації будівельно-монтажних робіт

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Працівники, які обслуговують електроустановки, повинні вивчити ці Правила відповідно до вимог своєї посади або роботи, яку вони виконують, пройти навчання безпечним прийомом праці на робочому місці під керівництвом досвідченого працівника, перевірку знань та присвоєння групи з електробезпеки

(далі – групи) відповідно до додатка 1 до цих Правил. Працівнику, який пройшов перевірку знань цих Правил, видається посвідчення встановленої форми, яке він повинен мати при собі під час виконання робіт.

Забороняється допуск до роботи працівників, які не пройшли навчання та перевірку знань з питань охорони праці. Працівники, які виконують роботи, зазначені у ДНАОП 0.00-8.02-93 "Перелік робіт з підвищеною небезпекою", повинні мати відповідний запис у посвідченні про перевірку знань. Забороняється допуск працівників, молодших 18 років, до робіт, зазначених у ДНАОП 0.03-8.07-94 "Перелік важких робіт і робіт зі шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх".

До оперативного обслуговування електроустановок допускаються працівники, які знають їхні схеми, інструкції з експлуатації, особливості конструкції та роботи обладнання і пройшли навчання та перевірку знань.

В електроустановках понад 1000 В працівники зі складу оперативних або оперативно-виробничих працівників, які одноособово обслуговують електроустановки, а також старші в зміні повинні мати групу IV, решта - групу III. В електроустановках до 1000 В працівники зі складу оперативних або оперативно-виробничих працівників, які одноособово обслуговують електроустановки, повинні мати групу III.

Забороняється в електроустановках наближення людей, механізмів та вантажопідіймальних машин до неогороджених струмовідних частин, що перебувають під напругою, на відстань, меншу 0.6 – 2.5 м в залежності від напруги (0.4 – 330 кВ). Виняток становлять роботи з використанням електрозахисних засобів.

Огляд електроустановок електростанцій, підстанцій та розподільчих пунктів може виконувати один працівник з групою III зі складу оперативних та оперативно-виробничих працівників або працівник з групою V зі складу керівників чи спеціалістів підприємства. Огляд виконується з дозволу особи, в управлінні якої знаходиться електроустановка.

Огляд електроустановок неелектротехнічними працівниками та екскурсії слід проводити під наглядом працівника з групою V або оперативного працівника з групою IV, якщо є дозвіл керівництва підприємства. Огляд ПЛ слід виконувати відповідно до вимог цих Правил. Електротехнічних працівників, які не обслуговують дані електроустановки, слід допускати до них у супроводі оперативних або оперативно-виробничих працівників з групою IV, або іншого працівника з групою V. Працівник, який супроводить, повинен забезпечити створення безпечних умов для людей та попереджати їх про заборону наближення до струмовідних частин.

Під час огляду електроустановок понад 1000 В забороняється відчиняти двері приміщень, кімрок, не обладнаних сітчастими огороженнями або бар'єрами, якщо відстань між дверима і струмовідними частинами менша за зазначену в цих Правилах. Перелік таких приміщень і кімрок затверджує керівництво підприємства. В електроустановках понад 1000 В, в яких вхід до приміщень, кімрок обладнано сітчастими огороженнями або бар'єрами, під час огляду забороняється відчиняти двері сітчастих огорожень і проникати за огороження або бар'єри. В електроустановках до 1000 В під час огляду дозволяється відчиняти двері щитів, збірок, пультів керування та інших пристроїв. Забороняється під час огляду виконувати будь-яку роботу.

В електроустановках 6-35 кВ забороняється наближатись до місця замикання на землю на відстань менше 4 м в ЗРУ та менше 8 м у ВРУ та на ПЛ. Наближення до місця замикання на землю в цих електроустановках допускається тільки для знімання напруги та звільнення людей, які потрапили під напругу. У цьому разі потрібно користуватись електрозахисними засобами.

Вимикати та вмикати роз'єднувачі, відокремлювачі, вимикачі понад 1000 В з ручним приводом необхідно в діелектричних рукавичках.

Двері приміщень електроустановок, камер, щитів та збірок слід зачиняти на замок, крім тих, в яких проводяться роботи.

Ключі від електроустановок всіх класів напруг повинні перебувати на обліку у оперативних працівників. В електроустановках без місцевих

оперативних працівників ключі можуть перебувати на обліку у керівників або спеціалістів. Ключі слід пронумерувати. Один комплект ключів повинен бути запасним. Запасний комплект ключів повинен бути у оперативних працівників. Ключі видаються під розписку:

- працівникам, які мають право на одноособовий огляд, - від усіх приміщень;
- в разі допуску - працівнику, який допускає (далі - допускачу), керівнику робіт, працівнику, який спостерігає за безпечним виконанням робіт (далі - наглядачу) - від приміщень, в яких треба буде працювати.

Ключі слід повертати кожного дня після завершення огляду або роботи. Під час виконання роботи в електроустановках без місцевих оперативних працівників ключі слід повертати не пізніше наступного робочого дня після огляду або повного закінчення роботи. Необхідність видавання ключів на тривалий термін працівникам підприємств-споживачів, які мають право на оперативні перемикання в РУ підприємств електромереж, а також оперативним, оперативно-виробничим працівникам, керівникам та спеціалістам свого підприємства, які мають право одноособового огляду, визначається керівництвом підприємства. Видавання та повернення ключів слід реєструвати в журналі довільної форми або в оперативному журналі.

У разі нещасних випадків для звільнення потерпілого від дії електричного струму слід негайно зняти напругу без попереднього дозволу.

5.1.2 Електробезпека

Основні технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

- 1) виконання технічних заходів під час підготовки робочого місця,
- 2) застосування під час обслуговування електроустановок електрозахисних засобів.

1) Під час підготовки робочого місця для роботи, яка вимагає знімання напруги, слід виконати у зазначеній послідовності такі технічні заходи:

- провести необхідні вимкнення і вжити заходів щодо запобігання помилковому або самочинному вмиканню комутаційної апаратури;
- вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційної апаратури. За необхідності струмопровідні частини слід огорожувати;
- приєднати до "землі" переносні заземлення;
- перевірити відсутність напруги на струмопровідних частинах, на які слід встановити заземлення. Якщо переносні заземлення планується ставити поблизу струмопровідних частин, що не входять в зону робочого місця, то їх огороження слід встановити до перевірки відсутності напруги та заземлення;
- встановити заземлення (увімкнути заземлювальні ножі, приєднати до вимкнених струмопровідних частин переносні заземлення) безпосередньо після перевірки відсутності напруги та вивісити плакати "Заземлено" на приводах вимикальних комутаційних апаратів;
- огородити, у разі необхідності, робочі місця або струмопровідні частини, що залишились під напругою, і вивісити на огороженнях плакати безпеки. Залежно від місцевих умов струмопровідні частини огорожують до або після їх заземлення.

2) Під час обслуговування електроустановок повинні застосовуватись засоби захисту від ураження електричним струмом, від впливу електричного поля, а також засоби індивідуального та колективного захисту. Ізолювальні електрозахисні засоби поділяються на основні і додаткові. До основних ізолювальних електрозахисних засобів, які повинні застосовуватись в електроустановках напругою понад 1000 В, відносяться: ізолювальні штанги всіх видів, ізолювальні кліщі, електровимірювальні кліщі, показчики напруги, пристрої для створення безпечних умов праці під час проведення випробувань і вимірювань в електроустановках (показчики напруги для фазування, показчики пошкодження кабелів та ін.); до додаткових – діелектричні рукавички, діелектричне взуття, діелектричні килими, ізолювальні підставки, ізолювальні накладки, ізолювальні ковпаки, штанги для перенесення та вирівнювання

потенціалу, сигналізатори напруги, захисні огороження (щити, ширми), переносні заземлення, плакати та знаки безпеки та інші засоби захисту.

Крім наведених вище засобів захисту в електроустановках повинні застосовуватись такі ЗІЗ: захисні каски – для захисту голови; захисні окуляри і щитки – для захисту очей і обличчя; протигази і респіратори – для захисту органів дихання; рукавиці – для захисту рук; запобіжні пояси та страхувальні канати.

Вибір необхідних електрозахисних засобів, засобів захисту від дії ЕП, а також ЗІЗ регламентується [19], а також іншими відповідними нормативними документами (НД) з урахуванням місцевих умов. У разі застосування основних ізолювальних електрозахисних засобів достатньо використовувати один додатковий засіб, крім випадків, що обумовлені в цих Правилах. У разі необхідності захисту працівника від напруги кроку дозволяється використовувати діелектричне взуття без застосування основних засобів захисту.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в приміщенні наведено в таблиці 5.1.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочих місцях передбачається [23]:

- в холодну пору року – використання калорифера;
- в літню пору – застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву,
- провітрювання приміщень.

Таблиця 5.1 – Нормування параметрів мікроклімату на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Теплий	Пб	15-29	70 при 25°C	0,2-0,5
Холодний	Пб	13-23	не більш 75	не більш 0,4

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м [22]. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Вуглецю оксид (CO)	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено [23]: провітрювання приміщень; цілісність конструкції кабін будівельної техніки та вікон для перешкодження попадання пилу в кабінні під час роботи; встановлення пиловловлюючих засобів.

5.2.3 Виробниче освітлення

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормуємо

освітлення на робочому місці працівника.

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [24] розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Норми при штучному, природньому та суміщеному освітленні наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень, що будуються

Харак-ка зорової роботи	Найменши й або еквівалент-ний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характе-ристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природн є Ен пр	Сумісн є Е сум
						всьог о	у т. ч. від загальног о		
Середньо ї точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середні й велики й	світлий середні й темний	400	200	4	2,4

Для забезпечення нормативних значень освітлення передбачено:

- використання додаткового штучного освітлення, а саме світлодіодних ламп;
- необхідна кількість природного світла (великі вікна);
- для підтримки постійної освітленості повинно бути організовано систематичне, не рідше двох разів на місяць, очищення арматури світильників і ламп від пилу та бруду, а в приміщеннях із значним виділенням пилу, диму та кіптяви - не рідше чотирьох разів на місяць згідно з графіком.

5.2.4 Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні

шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» [25].

Норми звукового тиску на постійних робочих місцях в приміщеннях об'єктів будівництва наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні. Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі (ширми, екрани тощо).

- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

5.2.5 Виробничі вібрації

Загальна вібрація передається на тіло через опорні поверхні людини, що

стоїть чи сидить (підшви ніг або сідниці). Допустимі рівні загальної вібрації на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [26] і наведені в таблиці 5.5.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	$\frac{1,3}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10^{-2} , знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

5.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги». Типові правила пожежної безпеки для промислових підприємств і інструкції на окремих об'єктах.

Основні виробничі приміщення п/ст за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д – негорючі речовини і матеріали в холодному стані з зонами П-III (місця, де зберігаються тверді горючі речовини). Будівлі, в яких розташовані ці приміщення, характеризується II ступенем вогнестійкості.

До II ступеня вогнестійкості відносяться будівлі з несучими і огорожувальними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових та плиткових негорючих матеріалів. В покриттях будівель допускається застосовувати незахищені сталеві конструкції. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхові (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, настили, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 наведено в таблиці 5.6.

Найбільшу відстань до евакуаційного виходу визначаємо за об'ємом приміщення та ступені вогнестійкості будівлі.

В виробничому приміщенні, відстань при щільності людського потоку в загальному проході, чол/м² наступна: до 1 – 100 м².

Кількість людей для розрахунку ширини евакуаційних виходів показана в таблиці 5.7.

Таблиця 5.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи проти-пожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	2	REI 60	2	1

Таблиця 5.7 – Кількість людей для розрахунку ширини евакуаційних виходів

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія приміщення	Ступінь вогнестійкості будівлі	Кількість людей на 1 м ширини Евакуаційного виходу(дверей)
0,126	Д	II	100

На території п/ст встановлено 25 вогнегасників ВП-5(8) і протипожежний стенд.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему «Аналіз конструктивних особливостей та умов застосування заземлювальних пристроїв розподільних установок» виконано поставлені задачі дослідження та отримано такі результати:

В першому розділі проаналізовані основні відомості про заземлювальні пристрої, крім того проаналізовано призначення та класифікацію захисних заходів, а також технічні параметри, які відповідають за станом заземлювальних пристроїв. Також в роботі розглянуті необхідні умови щодо експлуатації заземлювальних пристроїв та кліматичні зони розташування заземлювальних пристроїв.

В другому розділі виконано розрахунок параметрів заземлювальних пристроїв. Зокрема, проведено розрахунок заземлювальних пристроїв в установках, а також в установках напругою 110 кВ і вище з ефективно заземленою нейтраллю, що дозволило визначити оптимальні параметри для забезпечення їх ефективної роботи.

У третьому розділі досліджено методики вимірювань параметрів ґрунту та заземлювальних пристроїв. Розглянуто методику вимірювань питомого опору ґрунту, загальну методику вимірювань опору заземлювального пристрою, а також специфіку вимірювань опору заземлення на підстанціях ВРП із застосуванням вимірювальних електродів. Окремо проаналізовано методи визначення опору контактів у місцях з'єднання заземлювального пристрою з електроустановкою, опору між заземленою електроустановкою та її елементами, а також вимірювання напруги дотику та кроку, що дало змогу оцінити безпеку експлуатації систем заземлення.

У четвертому розділі досліджено умови експлуатації та застосування заземлювальних пристроїв. Визначено вимоги до періодичності перевірок стану заземлювальних пристроїв, а також проведено аналіз контролю розміщення горизонтальних і вертикальних заземлювачів та перевірки надійності їхніх

з'єднань, що дозволило сформулювати рекомендації для підвищення ефективності та безпеки роботи заземлювальних систем.

В п'ятому розділі проаналізовані вимоги до охорони праці та електробезпеки при експлуатації заземлювальних пристроїв. Запропоновано технічні заходи, такі як використання ізолювальних електрозахисних засобів, огороження струмопровідних частин, а також забезпечення нормативних параметрів мікроклімату, освітлення та шуму на робочих місцях. Розроблено рекомендації щодо зниження корозії заземлювачів шляхом застосування захисних покриттів і термоусадочних трубок у зоні земля-повітря.

Результати дослідження дозволяють підвищити надійність і безпеку експлуатації заземлювальних пристроїв розподільних установок, а також можуть бути використані для вдосконалення методів їх проектування, діагностики та експлуатації в сучасних енергосистемах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз методів контролю стану заземлювальних пристроїв діючих енергооб'єктів на сучасному етапі Коліушко, Д.Г. ; Руденко, С.С. URL : <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/159039>.
2. Матвійчук В. А. Рубаненко О. Є. Гунько І.О. Діагностування електрообладнання. Вінниця: ВНАУ. 2020. 138 с.
3. Методичні вказівки до виконання бакалаврських кваліфікаційних робіт зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітніх програм «Електроенергетика та електротехніка», «Електричні станції» та «Електричні системи та мережі» [Електронний ресурс] / уклад.: В. В. Тептя, В. О. Комар. – Вінниця: ВНТУ, 2022, (PDF, 95 с.)
4. Возняк, О.М., Штуць. А.А., Колісник М.А. Сучасні системи електроприводів. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ТВОРИ, 2021. – 280 с.
5. Козодой Д. С. Електробезпека: Конспект лекцій з дисципліни «Загальна електротехніка та електробезпека». – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 97 с.
6. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
7. «Інтелектуальні системи в електроенергетиці. Теорія та практика: навчальний посібник. / Стаднік М.І., Видмиш А.А., Штуць А.А., Колісник М.А. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 332 с.
8. Електробезпека : підручник / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв та ін. Харків : УкрДУЗТ, 2018. 295 с.
9. Охорона праці на залізничному транспорті : навч.посіб. / Д. С. Козодой, О. В. Костиркін, С. О. Кисельова та ін. Харків : УкрДУЗТ, 2020. 124 с.
10. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів / Держгірпромнагляд. 1998. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98>.
11. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів / Міністерство палива та енергетики України. 2006. URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#Text>.

12. НПАОП 40.1-1.07-01. Правила експлуатації електрозахисних засобів / Міністерство праці та соціальної політики України. 2001. URL:

13. НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці / Держгірпромнагляд. 2005. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05#Text>.

14. Стаднік М.І., Рубаненко О.О., Штуць А. А., Колісник М. А. Методичні вказівки з виконання курсової роботи студентами факультету механізації сільського господарства напряму підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», галузь знань 14 «Електрична інженерія» – Вінниця, РВВ ВНАУ: 2018. -235с.

15. Лежнюк П.Д., Матвійчук В.А., Рубаненко О.Є. Технології наукових досліджень. - Вінниця: ВНАУ, 2015. – 186 с.

16. Матвійчук В. А., Рубаненко О. Є., Стаднійчук І. П. Електротехнології в АПК : навчальний посібник. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 272 с.

17. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

18. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

19. ДНАОП 1.1.10-1.01-97 Правила безпечної експлуатації електроустановок. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=21826.

20. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

21. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови

електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

22. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

23. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

24. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

25. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

26. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

27. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

28. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82138

29. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.

30. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

31. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.

32. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: «Аналіз конструктивних особливостей та умов застосування заземлювальних пристроїв розподільних установок»

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота

(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (зазначити))

Підрозділ: Кафедра електричних станцій та систем

(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ЕСС Остра Н. В.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

StrikePlagiarism	
Оригінальність	88,4
Загальна схожість	11,6

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи

Автор Ульянов Т. С.
(підпис)

Ульянов Т. С.
(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Вишневський С. Я
(прізвище, ініціали)

Експерт

(за потреби)

(підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

ДОДАТОК Б

Приклад розв'язку заземлювального пристрою для КТП 110/6 кВ

Обчислимо заземлювальний пристрій для КТП 110/6 кВ площею $12 \times 20 \text{ м}^2$; $\rho_1 = 500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (із урахуванням промерзання); $h_1 = 2 \text{ м}$; $\rho_2 = 60 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $t = 0,7 \text{ м}$; $l_B = 5 \text{ м}$; $t_{p.з} = 0,12 \text{ с}$; $t_{огг.в} = 0,08 \text{ з}$; струм, який стікає з заземлювачів підстанції при однофазному КЗ на даній підстанції $I_3 = 1,9 \text{ кА}$. Природних заземлювачів немає.

Для $\tau_B = 0,12 + 0,08 = 0,2 \text{ с}$ розрахуємо $U_{\text{дот.доп}} = 400 \text{ В}$ Коефіцієнт дотику по (2.16):

$$K_{\Pi} = \frac{M\beta}{\left(\frac{l_B L_{\Gamma}}{\alpha \sqrt{S}}\right)^{0.45}} = \frac{0.806 \cdot 0.57}{\left(\frac{5 \cdot 125}{5 \sqrt{12 \cdot 20}}\right)^{0.45}} = 0.18.$$

тут $M = 0,806$ при $\rho_1 / \rho_2 = 500/60 = 8,3$;

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1.5 \rho_{a,c}} = \frac{1000}{1000 + 1.5 \cdot 500} = 0.57.$$

$L_{\Gamma} = 125 \text{ м}$ за планом (Рисунок 2.1, а).

Напруга на заземлювальному пристрої визначається за формулою (2.15).

$$U_3 \frac{U_{\text{дат.доп}}}{K_{\Pi}} = \frac{400}{0,18} = 2222 \text{ (В)}.$$

В межах допустимого (менше 10 кВ).

Опір заземлювального пристрою за формулою (2.18):

$$R_{\text{з.доп}} \frac{U_3}{I_3} = \frac{2222}{1900} = 1,23 \text{ (Ом)}.$$

Дійсний план заземлювального пристрою (Рисунок 2.1,а) перетворим в розрахункову квадратну модель (Рисунок 2.1, б) із стороною:

$$\sqrt{S} = \sqrt{12 \cdot 20} = 15.5 \text{ (м)}.$$

Число комірок по стороні квадрата:

$$m = \frac{L_{\Gamma}}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1 = \frac{125}{2 \cdot \sqrt{15.5}} - 1 = 3.03 \text{ (м)}.$$

приймаємо $m = 3$.

Довжина смуг у розрахунковій моделі:

$$L_{\Gamma} = 2 \cdot \sqrt{S} (m + 1) = 2 \cdot 15.5 \cdot 4 = 124 \text{ (м)}.$$

Довжина сторін комірки:

$$b = \frac{15.5}{3} = 5.17 \text{ (м)}.$$

Кількість вертикальних заземлювачів, розташованих по периметру контуру, визначається при $a/l_B = 1$:

$$n_B = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{1 \cdot l_B} = \frac{15.5 \cdot 4}{5} = 12.4 \text{ (м)}.$$

Приймаємо що $n_B = 12$.

Загальна довжина вертикальних заземлювачів:

$$L_B = l_B n_B = 5 \cdot 12 = 60 \text{ (м)}.$$

Відносна глибина

$$\frac{l_B + t}{\sqrt{S}} = \frac{5 + 0.7}{15.5} = 0.368 \geq 0.1.$$

тоді за формулою (2.24)

$$A = 0.385 - 0.25 \frac{l_B + t}{\sqrt{S}} = 0.385 - 0.25 \frac{5 + 0.7}{15.5} = 0.293.$$

По таблиці 2.2 для $\rho_1/\rho_2 = 8.3$ а $l_B = 1$

$$\frac{h_1 - t}{l_B} = \frac{2 - 0.7}{5} = 0.26.$$

Визначаємо $\rho_e/\rho_2 = 1.4$; тоді $\rho_e = 1.4$; $\rho_2 = 1.4 \cdot 60 = 84$ Ом·м.

Загальний опір складного заземлювача за формулою (2.22):

$$R_3 = A \frac{\rho_e}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_e}{L_\Gamma + L_B} = 0.293 \frac{84}{15.5} + \frac{84}{124 + 60} = 2.044 \text{ (Ом)}.$$

що більше допустимого $R_{3,\text{доп}} = 1.23$ Ом

Знайдемо напругу дотику;

$$U_{\text{дот}} = k_\Pi I_3 R_3 = 0.18 \cdot 1900 \cdot 2.044 = 699 \text{ (В)}.$$

Більше допустимого значення 400 В.

Для зменшення напруги дотику $U_{\text{дот}}$ слід вжити заходів, таких як розширення заземлювального контуру за межі підстанції або застосування

природних заземлювачів.

Припустимо, що на підстанції використовуються природні заземлювачі, зокрема система тросів та опор ліній 110 кВ із сумарним опором 2 Ом. У такому разі загальний опір заземлювальної системи підстанції визначається відповідно.

$$R_3 = \frac{R_e R_3}{R_e + R_3} = \frac{2,044 \cdot 2}{2,044 + 2} = 1,01 \text{ (Ом)}.$$

Менше $R_{3,\text{доп}} = 1,23 \text{ Ом}$

Розрахуємо напругу дотику:

$$U_{\text{дот}} = k_{\Pi} I_3 R_{3,\text{доп}} = 0,18 \cdot 1900 \cdot 1,01 = 345 \text{ (В)}.$$

Менше допустимого значення 400 В.

Альтернативним способом зниження напруги дотику $U_{\text{дот}}$ є використання підсипки гравію товщиною 0,2 м у зонах робочих місць. У такому разі питомий опір верхнього шару (гравію) становитиме $\rho_{B,C} = 3000 \text{ Ом м}$, тоді

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 3000} = 0,18;$$

$$k_{\Pi} = \frac{M\beta}{\left(\frac{l_B L_{\Gamma}}{\alpha \sqrt{S}}\right)^{0.45}} = \frac{0.806 \cdot 0.18}{\left(\frac{5 \cdot 125}{5 \sqrt{12 \cdot 20}}\right)^{0.45}} = 0.057;$$

Нанесення гравійної підсипки не впливає на розтікання струму від заземлювального контуру, оскільки глибина закладення заземлювачів становить 0,7 м, що перевищує товщину шару гравію. Таким чином, співвідношення ρ_1 / ρ_2 і значення M залишаються незмінними.

$$U_z = \frac{400}{0,057} = 7017 \text{ (В)};$$

Менше допустимого (10 кВ).

За формулою (2.18):

$$R'_{z, \text{доп}} = \frac{7017}{1900} = 3,69 \text{ (Ом)};$$

Отже, $R_z = 2,044 \text{ Ом} < R'_{z, \text{доп}} = 3,69 \text{ Ом}$

Напруга дотику

$$U_{\text{дот}} = k'_p I_z R'_{z, \text{доп}} = 0,057 \cdot 1900 \cdot 2,044 = 221 \text{ (В)};$$

Менше допустимого 400 В

З розрахунків очевидно, наскільки ефективною є підсипка гравію на території підстанції. Визначимо максимальний допустимий струм, що протікає із заземлювачів підстанції під час однофазного короткого замикання:

$$I_{z, \text{max}} = \frac{U_{\text{дот, доп}}}{k_p R_z} = \frac{400}{0,057 \cdot 2,044} = 3433 \text{ (А)};$$

При значних струмах необхідно зменшувати опір заземлення R_z шляхом розширення сітки смуг або додавання вертикальних заземлювачів.

ДОДАТОК В

Вимірювання, що виконуються при діагностиці заземлювальних пристроїв електричних станцій та підстанцій

Під час діагностики заземлювальних пристроїв (ЗП) на електростанціях та підстанціях необхідно здійснювати такі вимірювання:

- напругу дотику на обладнанні при моделюванні короткого замикання (КЗ) на землю;
- опір ЗП для струмів промислової частоти (напруга на заземлювальному пристрої);
- імпульсний опір ЗП обладнання (перешкод від імпульсів у вторинних колах комутації при імітації височастотної складової струму КЗ) та громовідводів;
- опір з'єднань між заземлювачем і елементами, що підлягають заземленню;
- розподіл струмів і потенціалів у ЗП при імітації удару блискавки в громовідводи або КЗ на землю.

Відповідно до нормативних вимог, проводяться вимірювання для складання виконавчої схеми ЗП: визначаються траси прокладання заземлювальних провідників і заземлювачів (природних та штучних), глибина їх залягання, тип і переріз.

Додатково вимірюють питомий опір ґрунту, зокрема його залежність від глибини залягання.

Також оцінюють рівень корозії заземлювачів і провідників заземлення шляхом вибіркового розкриття ґрунту.

За результатами вимірювань визначають максимальні значення контрольованих параметрів для порівняння з допустимими нормами. Усі отримані дані перераховують з урахуванням реальних струмів короткого замикання, височастотних імпульсних струмів, нормованих струмів блискавки та найгірших кліматичних умов.

На основі досвіду діагностики заземлювальних пристроїв (ЗП) електростанцій і підстанцій (понад 500 об'єктів із класом напруги від 6 до 750 кВ) можна констатувати, що вимірювання на об'єкті дають змогу лише якісно оцінити стан ЗП для більшості контрольованих параметрів. Точні числові результати досягаються завдяки розрахунково-експериментальному підходу, де вимірювання здебільшого слугують для перевірки розрахунків.

При аналізі параметрів ЗП слід брати до уваги:

- дані вимірювань на об'єкті та розрахункові струми короткого замикання (з урахуванням перспектив розвитку енергосистеми);
- час спрацювання захисту при КЗ (основного, резервного, а також час дії ПРВВ);
- інформацію про кліматичні умови та геологічний розріз ґрунту;
- схему первинних кіл у робочому режимі;
- технічні характеристики силового обладнання.

За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення виконують моделювання перехідних процесів у тривимірній розгалуженій схемі ЗП електромережевих об'єктів, яка охоплює провідники в ґрунті та повітрі, при КЗ на землю або ударах блискавки.

Під час розрахунків необхідно враховувати:

- питомий опір ґрунту;
- переріз і матеріал заземлювачів та провідників;
- складові струму КЗ на землю;
- кабелі з бронею, екраном або оболонкою;
- трубопроводи різного діаметра.

У результаті розрахунків отримують розподіл струмів і потенціалів по елементах ЗП, а також визначають:

- опір заземлювального пристрою (напругу на ЗП);
- напругу дотику та крокову напругу;
- напругу, що впливає на вторинні кабелі й обладнання;
- струми в оболонках, екранах і броні кабелів.

Для обчислення напруг і струмів, що впливають на вторинне обладнання, можна використовувати, наприклад, програмне забезпечення OPY-M, Parsiz, KWIK GRID, Контур, а також «Розрахунок заземлювальних систем» від Safe Engineering Services Technologies Ltd.

Для аналізу імпульсних перешкод застосовують програми, такі як Interferences, PisPice, EMTP-RV, MICROCAP. Ці програми дозволяють моделювати перехідні процеси під час коротких замикань і комутацій у первинних колах. За результатами обчислень визначають імпульсні струми в первинних колах та напругу (струми) імпульсного характеру у вторинних колах.

Прилади для вимірювання, контролю і діагностування заземлювальних пристроїв

Прилад для вимірювань заземлювальних пристроїв

MRU-101 Вимірювальний прилад для перевірки опору заземлювальних систем, захисту від блискавок, провідників з'єднання із землею та вирівнювання потенціалів.

Основні параметри:

- визначення опору заземлювальних пристроїв за три- та чотириполюсними схемами;
- вимірювання питомого опору ґрунту методом Веннера з опцією вибору відстані між електродами для вимірювань;
- можливість оцінки опору багатократних заземлювачів без розриву їхнього кола (з використанням кліщів для вимірювання струму);
- вимірювання опору за дво- та чотириполюсними методами;
- стійкість до електромагнітних перешкод;
- висока точність результатів;
- збереження до 300 вимірювань у пам'яті приладу;
- передача отриманих даних на комп'ютер.

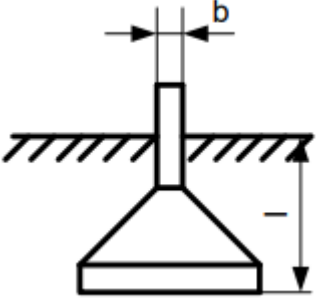
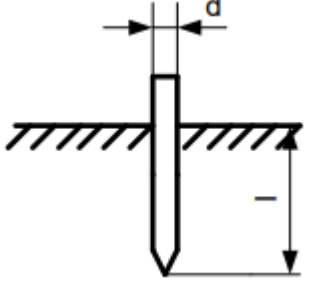
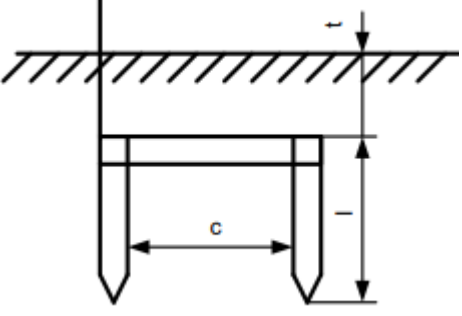
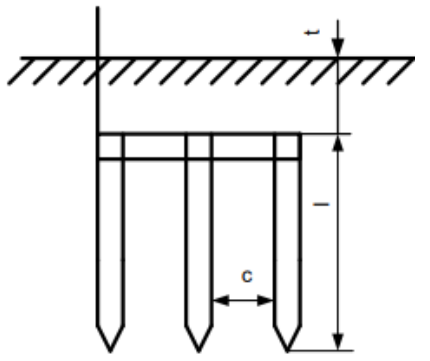


Рисунок В.1 – MRU-101 вимірювальний приклад опору заземлювальних пристроїв

Призначений для оцінки опору заземлювальних систем і питомого опору ґрунту. Завдяки інноваційній конструкції прилад вирізняється зручною ергономікою та розширеними можливостями вимірювань (зокрема аналізом факторів, що можуть знижувати точність отриманих даних). MRU-101 оснащений струмовимірювальними кліщами, які дозволяють проводити вимірювання заземлювачів без їхнього роз'єднання. Особлива конструкція котушок із проводами для вимірювань забезпечує розмотування дроту з надійним контактом до зонда.

ДОДАТОК Г

Характеристика сталевих елементів

Заземлювач	Рисунок	Розміри, м
Залізобетонний підніжник		$a^3 = 1,8$ $b^3 = 0,4$ $l^3 = 2,2$
Залізобетонна свая		$d = 0,25-0,4$ $l^3 = 5$
Сталевий двострижневий: полоса розміром 40х4 мм стрижні діаметром d=10-20 мм		$t^3 = 0,5$ $l = 3-5$ $c = 3-5$
Сталевий трьохстрижневий: полоса розміром 40х4 мм, стрижні діаметром d= 10-20 мм		$t^3 = 0,5$ $l = 3-5$ $c = 5-6$

ДОДАТОК Д
ІЛЮСТРАЦІЙНА ЧАСТИНА

«Аналіз конструктивних особливостей та умов застосування заземлювальних
пристроїв розподільних установок»



ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ І СИСТЕМ

1

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:
«Аналіз конструктивних особливостей та умов застосування
заземлювальних пристроїв розподільних установок»

Керівник роботи: к.т.н., доц. каф. ЕСС

Остра Н. В.

Виконав: студент групи ЕС-216

Ульянов . С.

ВСТУП

2

Мета роботи проаналізувати конструктивні особливості заземлювальних пристроїв розподільних установок.

У відповідності із поставленою метою в роботі розв'язуються наступні **основні задачі**:

- Провести огляд та систематизувати відомості про конструктивні особливості заземлювальних пристроїв, їх класифікацію та призначення.
- Виконати розрахунок основних параметрів заземлювальних пристроїв для різних типів електроустановок.
- Дослідити методики вимірювання параметрів ґрунту та заземлювальних пристроїв, оцінити їх точність і доцільність застосування.
- Дослідити умови експлуатації та застосування заземлювальних пристроїв.
- Проаналізувати вимоги до охорони праці та електробезпеки при експлуатації заземлювальних пристроїв, запропонувати заходи для їх забезпечення.

Технічні параметри

3

Основними параметрами, які характеризують стан заземлювальних пристроїв, є:

- напрута кроку в зоні розтікання;
- напрута дотику;
- напрута на ЗП при стіканні з нього струму замикання на землю;
- опір розтікання заземлювача.

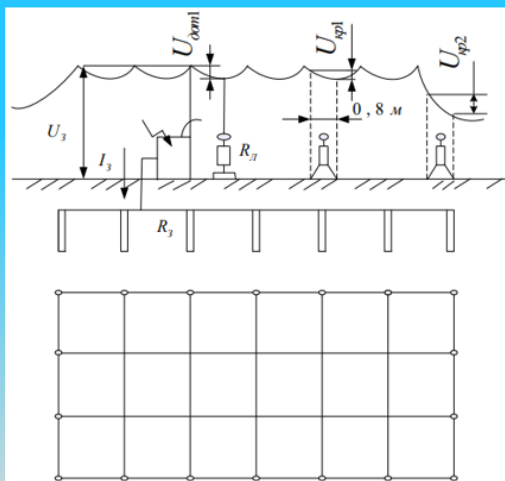
Заземлювальні пристрої (ЗП) мають відповідати умовам забезпечення робочих режимів електроустановок, а також гарантувати електробезпеку для персоналу й захист обладнання.

ЗП для електростанцій та підстанцій зазвичай включають горизонтальні елементи заземлення (поздовжні й поперечні), що формують сітку або замкнений контур. У регіонах із сухим кліматом або підвищеним питомим опором ґрунту, за потреби, застосовують вертикальні заземлювачі для досягнення необхідного опору ЗП.

Тип ЗП та розміри комірок сітки заземлення визначаються відповідно до конкретних вимог до пристрою.

Зображення розподілу потенціалу по поверхні землі в полі заземлювача

4

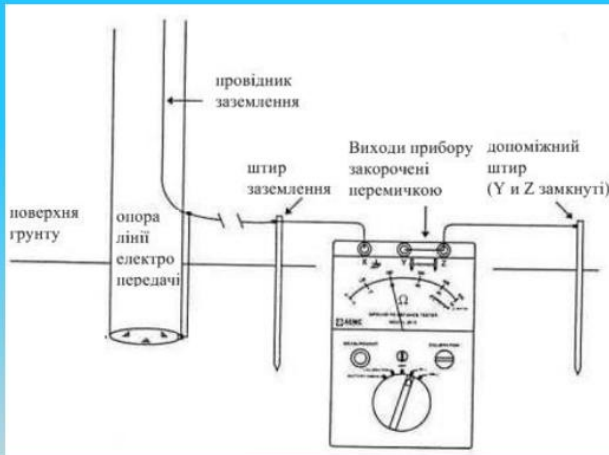


Орієнтовні значення питомих опорів ґрунтів і води

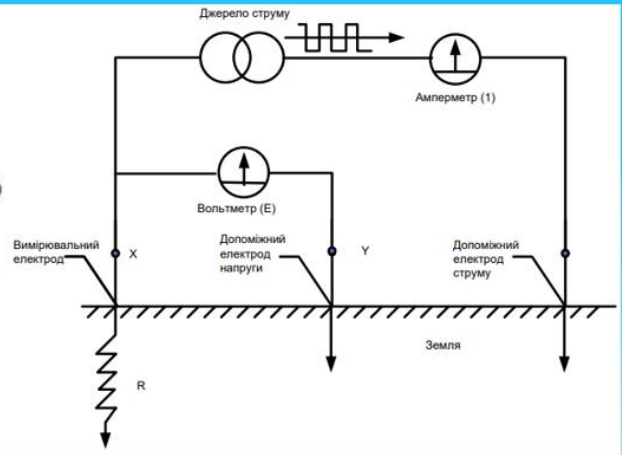
Найменування ґрунту	Межі величини 10^4
Пісок	4 – 10 і більше
Супісок	1,5 – 4 і більше
Суглинок	0,4 – 1,5 і більше
Глина	0,08 – 0,7 і більше (середнє значення 0,4)
Садова земля	0,4
Торф	0,2
Чернозем	0,1 – 5,3 і більше (середнє значення 2)
Річкова вода	0,1 – 0,8
Москья вода	0,002 – 0,01
Скеля, валуни	20 – 40
Вічна мерзлота	10 – 100 і більше

Методи вимірювання опору ЗП

5



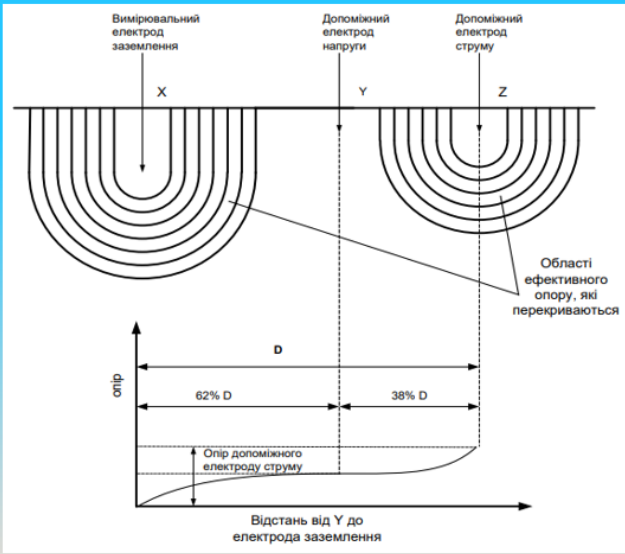
Стандартний метод вимірювання опору ЗП



Метод падіння потенціалу

Застосування методу 62 – х відсотків

6

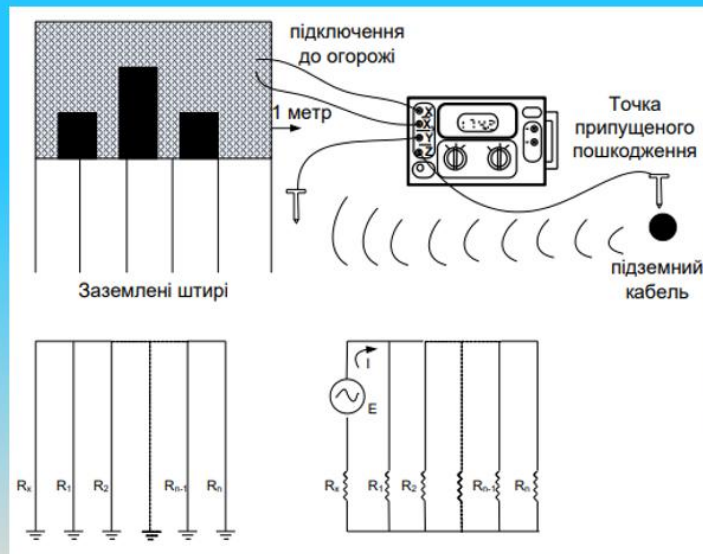


Відстані до допоміжних електродів для методу 62%

Відстані до допоміжних електродів для методу 62%		
Глибина заземлення перевірного електроду, футт	Відстань до електроду Y, футт	Відстань до електроду Z, футт
6	45	72
8	50	80
10	55	88
12	60	96
18	71	115
20	74	120
30	86	140

Вимірювання напруги дотику

7



Висновки

8

В першому розділі проаналізовані основні відомості про заземлювальні пристрої, крім того проаналізовано призначення та класифікацію захисних заходів, а також технічні параметри, які відповідають за станом заземлювальних пристроїв. Також в роботі розглянуті необхідні умови щодо експлуатації заземлювальних пристроїв та кліматичні зони розташування заземлювальних пристроїв.

В другому розділі виконано розрахунок параметрів заземлювальних пристроїв. Зокрема, проведено розрахунок заземлювальних пристроїв в установках, а також в установках напругою 110 кВ і вище з ефективно заземленою нейтраллю, що дозволило визначити оптимальні параметри для забезпечення їх ефективної роботи.

У третьому розділі досліджено методики вимірювань параметрів ґрунту та заземлювальних пристроїв. Розглянуто методику вимірювань питомого опору ґрунту, загальну методику вимірювань опору заземлювального пристрою, а також специфіку вимірювань опору заземлення на підстанціях ВРП із застосуванням вимірювальних електродів. Окремо проаналізовано методи визначення опору контактів у місцях з'єднання заземлювального пристрою з електроустановкою, опору між заземленою електроустановкою та її елементами, а також вимірювання напруги дотику та кроку, що дало змогу оцінити безпеку експлуатації систем заземлення.

У четвертому розділі досліджено умови експлуатації та застосування заземлювальних пристроїв. Визначено вимоги до періодичності перевірок стану заземлювальних пристроїв, а також проведено аналіз контролю розміщення горизонтальних і вертикальних заземлювачів та перевірки надійності їхніх з'єднань, що дозволило сформулювати рекомендації для підвищення ефективності та безпеки роботи заземлювальних систем.

В п'ятому розділі проаналізовані вимоги до охорони праці та електробезпеки при експлуатації заземлювальних пристроїв. Запропоновано технічні заходи, такі як використання ізолювальних електрозахисних засобів, огороження струмопровідних частин, а також забезпечення нормативних параметрів мікроклімату, освітлення та шуму на робочих місцях. Розроблено рекомендації щодо зниження корозії заземлювачів шляхом застосування захисних покриттів і термоусадочних трубок у зоні земля-повітря.