

**Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний аграрний університет**

Інженерно-технологічний факультет

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНИЙ
Завідувача кафедри
електроенергетики, електротехніки
та електромеханіки, к.т.н., доцент
_____ В.Ф. Граняк
« ____ » _____ 2024 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Модернізація засобів діагностики для оцінки ефективності та покращення заземлювальних пристроїв»

Виконав студент групи 41-ЕІ. 3.
_____ В.О. Малюта

Керівник д.т.н., професор
_____ В.М. Булгаков

Вінниця – 2024

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний аграрний університет

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. зав. кафедри ЕЕЕ, к.т.н., доцент

_____ В. Ф. Граняк
« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на бакалаврську кваліфікаційну роботу

студенту Малюті Владиславу Олександровичу

на тему «Модернізація засобів діагностики для оцінки ефективності та покращення заземлювальних пристроїв»

затверджену наказом _____ 11. 09. 2023 року № 212з

Термін подання дипломного проєкту

на кафедру для попереднього захисту _____

Вихідні дані для виконання роботи: нормативно-технічна документація, профільна науково-технічна література.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Вибір і затвердження теми.

2. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Вступ.

2. Загальні відомості про заземлювальні пристрої.

3. Розрахунок параметрів заземлювальних пристроїв.

4. Методики вимірювань параметрів ґрунту та заземлювальних пристроїв.

5. Діагностування заземлювальних пристроїв.

6. Висновки.

Перелік графічного матеріалу:

1. Титульна сторінка.

2. Підбір і ознайомлення з літературою.

3. Складання плану, розробка індивідуального завдання та календарного плану .

4. Актуальність роботи.

5. Мета, предмет, об'єкт і задачі дослідження.

6. Список використаної літератури.

7. Додатки.

Презентація в MicrosoftPoint

Завдання видано _____

Завдання прийняв до виконання _____ В.О. Малюта
(підпис)

Керівник _____ д.т.н., професор В.М. Булгаков
(підпис)

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| АНОТАЦІЯ | 6 |
| ABSTRACT | 7 |
| СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ | 8 |
| ВСТУП | 9 |
| 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ | 11 |
| 1.1 Основні визначення..... | 11 |
| 1.2 Призначення та класифікація захисних заходів | 13 |
| 1.3 Параметри, які характеризують стан заземлювальних пристроїв | 17 |
| 1.4 Вимоги до заземлювальних пристроїв | 17 |
| 1.5 Види та характеристики ґрунтів | 21 |
| 1.6 Кліматичні зони розташування заземлювальних пристроїв | 22 |
| 2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ | 25 |
| 2.1 Розрахунок заземлювальних пристроїв в установках з незаземленою або резонансно-заземленою нейтраллю | 25 |
| 2.2 Розрахунок заземлювальних пристроїв в установках 110 кВ і вище з ефективно заземленою нейтраллю..... | 31 |
| 3 МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТУ ТА ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ | 43 |
| 3.1 Вимоги до періодичності перевірок стану заземлювальних пристроїв | 43 |
| 3.2 Методика вимірювань питомого опору ґрунту | 44 |
| 3.3 Загальна методика вимірювань опору заземлювального пристрою | 45 |
| 3.4 Вимірювання опору заземлення заземлювальних пристроїв із застосуванням вимірювальних електродів | 49 |

| | |
|---|-----------|
| 3.5 Особливості методики вимірювань опору заземлювального пристрою ВРП підстанції | 59 |
| 3.6 Вимірювання опору контактів в з'єднаннях заземлювального пристрою з заземленою установкою | 60 |
| 3.7 Вимірювання опору між заземленою установкою та елементами заземленої установки | 61 |
| 3.8 Вимірювання напруги дотику | 62 |
| 3.9 Вимірювання напруги кроку | 67 |
| 3.10 Перевірка розташування горизонтальних, вертикальних заземлювачів та якості їх з'єднань | 69 |
| 4. ДІАГНОСТУВАННЯ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ | 70 |
| 4.1 Вимірювання, що виконуються при діагностиці заземлювальних пристроїв електричних станцій і підстанцій | 70 |
| 4.2 Прилади для вимірювання, контролю та діагностування заземлювальних пристроїв | 72 |
| 4.2.1 Прилад для вимірювань заземлювальних пристроїв | 72 |
| ВИСНОВКИ..... | 74 |
| ЛІТЕРАТУРА..... | 75 |
| Додатки | 77 |

АНОТАЦІЯ

Дана бакалаврська робота присвячена модернізації засобів діагностики для оцінки ефективності та покращення заземлювальних пристроїв. Заземлення є важливою складовою електробезпеки, особливо у системах змінного струму, де недостатня ефективність заземлення може призвести до аварійних ситуацій та травмування персоналу.

Основна мета роботи полягає в аналізі існуючих методів діагностики заземлювальних пристроїв, розробці та впровадженні покращених методів оцінки їх ефективності.

Для досягнення цієї мети проводиться огляд літературних джерел, аналіз практичних аспектів заземлення та розробка нових методів діагностики. Особлива увага приділяється вдосконаленню технічних засобів для вимірювання та контролю параметрів заземлення.

Результати дослідження можуть бути корисними для підвищення ефективності електробезпеки та забезпечення надійності роботи електричних мереж та обладнання.

Бакалаврська робота складається з розрахунково-пояснювальної записки, яка виконана на 77 друкованому аркуші та складається зі вступу, 4 розділів, списку використаних літературних джерел та додатків.

В бакалаврській роботі надано загальні теоретичні відомості про заземлювальні пристрої, про їх діагностику та випробовування. А також вимірювання питомого опору ґрунту та опору заземлювального пристрою. В залежності від отриманих результатів пропонуються відповідні дії, направлені на нормування цих опорів.

Бакалаврська робота містить 16 таблиць, 25 рисунків та 22 літературних джерел.

ABSTRACT

This bachelor's thesis is devoted to the modernization of diagnostic tools for evaluating the efficiency and improvement of grounding devices. Grounding is an important component of electrical safety, especially in AC systems where insufficient grounding can lead to accidents and personal injury.

The main goal of the work is to analyze the existing methods of diagnosing grounding devices, develop and implement improved methods for evaluating their effectiveness.

To achieve this goal, a review of literary sources, an analysis of practical aspects of grounding, and the development of new diagnostic methods are carried out. Special attention is paid to the improvement of technical means for measuring and controlling grounding parameters.

The results of the research can be useful for improving the efficiency of electrical safety and ensuring the reliability of electrical networks and equipment.

The bachelor thesis consists of a calculation and explanatory note, which is made on 77 printed sheets and consists of an introduction, 4 chapters, a list of used literary sources and appendices.

The bachelor thesis provides general theoretical information about grounding devices, their diagnostics and testing. As well as measuring the specific resistance of the soil and the resistance of the grounding device. Depending on the obtained results, appropriate actions aimed at normalizing these resistances are proposed.

The bachelor thesis contains 16 tables, 25 figures and 22 literary sources.

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ЗП – заземлювальний пристрій;

РУ – розподільча установка;

РП – розподільчий пристрій;

Т – заземлена нейтраль;

І – ізольована нейтраль;

РЕ – захисний провідник;

N – нейтральний провідник;

M – провідник середньої точки;

КЗ – коротке замикання.

ВСТУП

Актуальність теми: Заземлення є важливим елементом електробезпеки електроустановок, інженерно-технічних систем та пристроїв, які працюють у системах електропостачання. Недостатня ефективність заземлення може призвести до появи небезпечних електричних потенціалів на металевих корпусах обладнання, що загрожує безпеці праці персоналу та нормальному функціонуванню обладнання. Однак існуючі методи діагностики заземлювальних пристроїв не завжди забезпечують достатню інформацію про їх ефективність та можливість надійної роботи. Тому актуальним є пошук нових, більш ефективних засобів діагностики для оцінки стану заземлювальних пристроїв.

Земля - це провідник електричного струму величезних розмірів. Все електроустаткування (ЕОУ) встановлене на землі і це дозволяє широко використовувати її в роботі електроустановок (ЕУ). Між частками ЕУ і землею за допомогою заземлювальних пристроїв (ЗП) здійснюється електричний зв'язок, що виконує захисну, грозозахисну і робочу функції. Тому безперебійність і ефективність величезного комплексу передачі електроенергії в розподільних мережах в значній мірі залежать від якості ЗП, що є шунтуванням перенапружень (ПН) в мережі, що захищається, на землю, а різні ґрунти із ЗП при цьому грають роль перехідних опорів, які необхідно оптимально знижувати.

Під терміном заземлення мається на увазі електричне підключення якогось кола або устаткування до землі. Заземлення використовується для установки і підтримки потенціалу підключеного кола або устаткування максимально близьким до потенціалу землі. Коло заземлення утворене провідником, затискачем, за допомогою якого провідник підключений до електрода, електродом і ґрунтом навколо електрода.

Заземлення широко використовується з метою електричного захисту. Наприклад, в освітлювальних установках заземлення використовується для замикання на землю струму пробною, щоб захистити персонал і компоненти

устаткування від впливу високої напруги.

Низький опір кола заземлення забезпечує стікання струму пробою на землю і швидке спрацьовування захисних реле. У результаті стороння напруга якнайшвидше усувається, щоб не піддавати її впливу на персонал і устаткування.

Щоб щонайкраще фіксувати опорний потенціал установок з метою їх захисту від статичної електрики і обмежити напруги на корпусі устаткування для захисту персоналу, ідеальний опір кола заземлення повинен дорівнювати нулю. З подальшого опису стане ясно, що на практиці цього досягти неможливо.

Об'єкт дослідження: Об'єктом дослідження є заземлювальні пристрої, які використовуються для забезпечення електробезпеки електричних установок.

Предмет дослідження: Предметом дослідження є методи та засоби діагностики заземлювальних пристроїв для оцінки їх ефективності та можливості покращення.

Мета роботи: Метою роботи є аналіз існуючих методів діагностики заземлювальних пристроїв, розробка нових методів та засобів для їх оцінки та покращення. Робота спрямована на підвищення ефективності захисту від ураження електричним струмом та покращення надійності роботи електричних установок.

Практичне значення: Результати дослідження можуть бути використані для покращення електробезпеки та надійності роботи електричних установок у промислових та побутових умовах. Отримані нові методи та засоби діагностики заземлювальних пристроїв можуть бути використані у практиці для оперативного контролю та покращення їх робочих характеристик.

1.2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ

1.1 Основні визначення

Захисний (PE) провідник – провідник, призначений для цілей електробезпеки.

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

Захисний провідник зрівнювання потенціалів – захисний провідник, призначений для захисного зрівнювання потенціалів.

Нульовий захисний провідник – захисний провідник в електроустановках до 1 кВ, призначений для приєднання відкритих провідних частин до глухозаземленої нейтралі джерела живлення.

Нульовий робочий (нейтральний) провідник (N) – провідник в електроустановках до 1 кВ, призначений для живлення електроприймачів і сполучений з глухозаземленою нейтраллю генератора або трансформатора в мережах трифазного струму, з глухозаземленим виведенням джерела однофазного струму, з глухозаземленою точкою джерела в мережах постійного струму.

Суміщений нульовий захисний і нульовий робочий (PEN) провідник – провідник в електроустановках напругою до 1 кВ, що суміщає функції нульового захисного і нульового робочого провідників.

Заземлення – навмисне електричне з'єднання якої-небудь точки мережі, електроустановки або устаткування із заземлювальним пристроєм.

Захисне заземлення – заземлення, що виконується в цілях електробезпеки.

Робоче (функціональне) заземлення – заземлення точки або точок струмоведучих частин електроустановки, виконане для забезпечення роботи електроустановки (не в цілях електробезпеки).

Захисне занулення в електроустановках напругою до 1 кВ – навмисне з'єднання відкритих провідних частин з глухозаземленою нейтраллю

генератора або трансформатора в мережах трифазного струму, з глухозаземленим виведенням джерела однофазного струму, із заземленою точкою джерела в мережах постійного струму, виконуване в цілях електробезпеки.

Заземлювач – провідна частина або сукупність сполучених між собою провідних частин, що знаходяться в електричному контакті із землею безпосередньо або через проміжне провідне середовище.

Штучний заземлювач – заземлювач, спеціально виконаний для цілей заземлення.

Природний заземлювач – стороння провідна частина, що знаходиться в електричному контакті із землею безпосередньо або через проміжне провідне середовище, використана для цілей заземлення.

Заземлювальний провідник – провідник, що сполучає частину (точку), що заземляється, із заземлювачем.

Заземлювальний пристрій – сукупність заземлювача і заземлюючих провідників.

Електроустановки відносно мір електробезпеки розділяються на:

- електроустановки напругою вище 1 кВ в мережах з глухозаземленою або ефективно заземленою нейтраллю;
- електроустановки напругою вище 1 кВ в мережах з ізольованою або заземленою через дугогасильний реактор або резистор нейтраллю;
- електроустановки напругою до 1 кВ в мережах з глухозаземленою нейтраллю;
- електроустановки напругою до 1 кВ в мережах з ізольованою нейтраллю.

Глухозаземлена нейтраль – нейтраль трансформатора або генератора, приєднана безпосередньо до заземлювального пристрою. Глухозаземленим може бути також виведення джерела однофазного змінного струму або полюс джерела постійного струму в двопровідних мережах, а також середня точка в трипровідних мережах постійного струму.

Ізольована нейтраль – нейтраль трансформатора або генератора, не приєднана до заземлювального пристрою або приєднана до нього через великий опір приладів сигналізації, вимірювання, захисту і інших аналогічних їм пристроїв.

Струмоведача частина – провідна частина електроустановки, що знаходиться в процесі її роботи під робочою напругою, зокрема нульовий робочий провідник (але не PEN-провідник).

Електромагнітна діагностика – метод діагностики стану заземлювальних пристроїв з використанням властивостей електромагнітного поля, яке створюється природно або штучно в заземлювальних пристроях.

1.3. Призначення та класифікація захисних заходів

Всі металеві частини електроустановок, що нормально не знаходяться під напругою, але ті що можуть опинитися під напругою через пошкодження ізоляції, повинні надійно з'єднуватися з «землею». Таке заземлення називається захисним, оскільки його метою є захист обслуговуючого персоналу від небезпечної напруги дотику.

Заземлення обов'язкове у всіх електроустановках при напрузі 380 В і вище на змінному струмі, 440 В і вище на постійному струмі, а в приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних і в зовнішніх установках, – при напрузі 42 В і вище на змінному струмі, 110 В і вище на постійному струмі.

У електричних установках заземляються корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів, вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів, приводи електричних апаратів, каркаси розподільчих щитів, пультів, шаф, металеві конструкції розподільчих пристроїв (РУ), металеві корпуси кабельних муфт, металеві оболонки і броня кабелів, дротів, металеві конструкції будівель і споруд та інші металеві конструкції, зв'язані з установкою електроустановки.

Заземлення, призначене для створення нормальних умов роботи апаратів або електроустановок, називається робочим заземленням. До робочого

заземлення відноситься до заземлення нейтралей трансформаторів, генераторів, дугогасильних котушок. Без робочого заземлення установка не може виконати своїх функцій, або порушується режим роботи електроустановки.

Для захисту устаткування від пошкодження ударом блискавки застосовується грозозахист за допомогою розрядників, іскрових проміжків, стержневих і тросових громовідводів, які приєднуються до заземлювача. Таке заземлення називається грозозахисним.

Зазвичай для виконання всіх трьох типів заземлення використовують один заземлювальний пристрій.

Для виконання заземлення використовують природні і штучні заземлювачі.

Як природний заземлювач застосовують водопровідні труби, металічні трубопроводи, прокладені в землі, за винятком трубопроводів горючих рідин і газів; обсадні труби скважин, металеві і залізобетонні конструкції будівель, що знаходяться в контакті із землею; металеві шпунти гідротехнічних споруд; свинцеві оболонки кабелів; заземлювачі опор повітряних ліній, з'єднані із заземлювальним пристроєм грозозахисним тросом; рейкові під'їзні шляхи за наявності перемичок між рейками.

Природні заземлювачі мають бути пов'язані з магістралями заземлень не менше чим двома провідниками в різних точках.

Як штучних заземлювач застосовують круглу сталь лозини діаметром не менше 10 мм (неоцинковану) і 6 мм (оцинковану), смугову сталь товщиною не менше 4 мм і перетином не менше 48 мм.

Перетин горизонтальних заземлювачів для електроустановок напругою вище 1 кВ вибирається по термічній стійкості ($g_{\text{к.лот}} = 4000C, Z = 70$).

Кількість заземлювачів (кутників, стержнів) визначається розрахунком залежно від необхідного опору заземлювального пристрою або допустимої напруги дотику. Розміщення штучних заземлювачів проводиться так, щоб досягти рівномірного розподілу електричного потенціалу на площі, зайнятій електроустановкою. Для цього на території прокладають заземлювальні

смуги на глибині 0,5 – 0,7 м вздовж рядів устаткування і в поперечному напрямку, тобто утворюється заземлююча сітка, до якої приєднується устаткування, що заземлюється.

На рисунку 1.1 показані план розташування контура заземлення на відкритому розподільному пристрої, а також криві зміни потенціалів на території.

При пробі ізоляції в якому-небудь апараті його корпус і заземлювальний контур опиняться під деяким потенціалом $U_3 = I_3 r_3$. Розтікання струму I_3 з електродів заземлення приводить до поступового зменшення потенціалу ґрунту навколо них. Всередині контура заземлення потенціали вирівнюються, тому, торкаючись до пошкодженого устаткування, людина потрапляє під невелику різницю потенціалів $U_{i\delta}$ (напруга дотику), яка складає деяку частку потенціалу на заземлювачі:

$$U_{np} = k_n U_3, \quad (1.1)$$

де k_n - коефіцієнт напруги дотику, значення якого залежить від умов розтікання струму із заземлювача і людини. Напруга кроку, тобто різниця потенціалів між двома точками поверхні, розташованими на відстаней 0,8 м, всередині контура невелика (U_{kp1}). За межами контура крива розподілу потенціалів крутіша, тому напруга кроку збільшується (U_{kp2}). При великих струмах замикання на землю для зменшення U_{kp} по краях контура біля входів і виходів укладають додаткові сталеві смуги. Завданням захисного заземлення є зниження до безпечної величини напруги U_2, U_{np}, U_{kp} .

В установках з незаземленими і ефективно заземленими нейтраліми вимоги до розрахунку захисного заземлення принципово відрізняються. У установках з незаземленими або резонансно-заземленими нейтраліми (мережі 6; 10; 35 кВ) обмежується потенціал (U_3), на заземлювачі тобто нормується опір заземлювального пристрою R_3 .

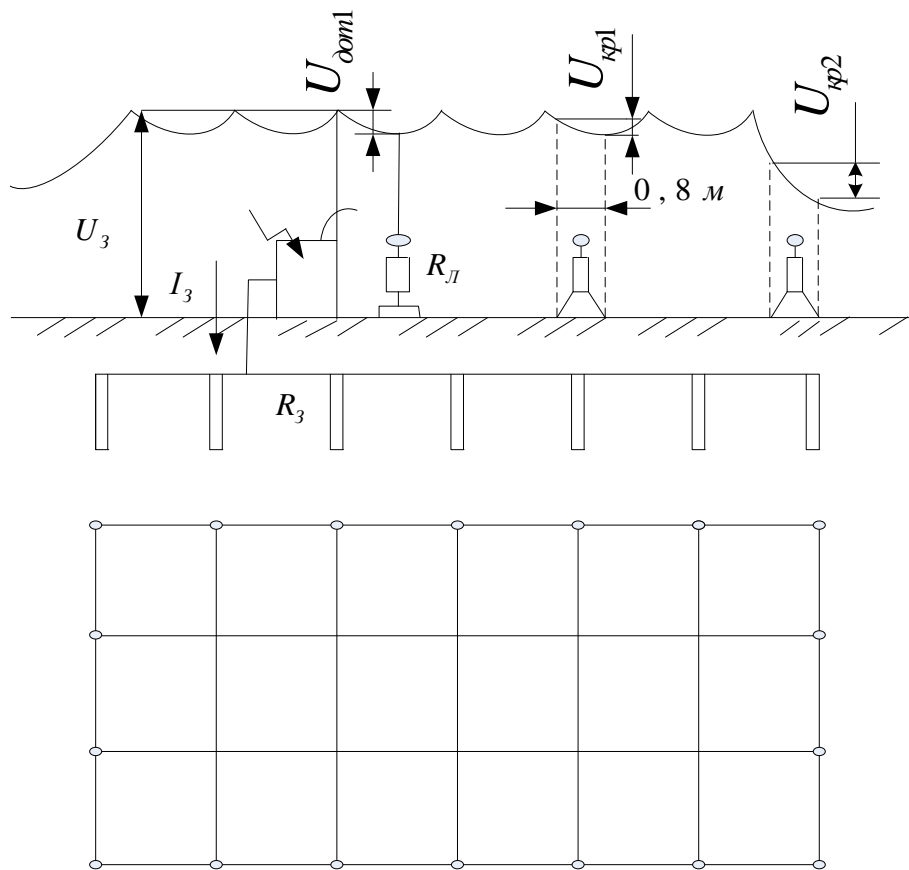


Рисунок 1.1 – Розподіл потенціалу по поверхні землі в полі заземлювача

Це пояснюється тим, що замикання фази на землю викликає протікання порівняно невеликого ємнісного струму, і цей режим може бути тривалим. Вірогідність попадання під напругу в момент дотику до заземлювальних частин збільшується .

У установках з ефективно заземленою нейтраллю (мережі 110 кВ і вище) замикання фази на землю є коротким замиканням і швидко відключається релейним захистом, внаслідок чого зменшується вірогідність попадання під напругу $U_{\text{дот}}$, $U_{\text{кр}}$.

Струми однофазного короткого замикання є значними, тому різко зростають потенціали на заземлювачі. У цих установках нормується величина $U_{\text{кр}}$, яка визначається залежно від тривалості протікання струму через тіло людини, і величина R_3 .

Напруга $U_{кр}$ не нормується, оскільки шлях струму нога – нога для людини менш небезпечний, чим шлях рука – ноги.

1.3 Параметри, які характеризують стан заземлювальних пристроїв

Основними параметрами, які характеризують стан заземлювальних пристроїв, є:

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

1.4 Вимоги до заземлювальних пристроїв

ЗП повинні задовольняти вимоги забезпечення експлуатаційних режимів роботи електроустановок, а також вимоги забезпечення електробезпечності обслуговуючого персоналу і захисту електроустановок.

ЗП електростанцій і підстанцій у загальному випадку складаються з горизонтальних заземлювачів (подовжніх і поперечних), які утворюють заземлюючу сітку або замкнутий контур. За необхідності, для підтримки необхідного опору ЗП у районах із засушливим кліматом, а також з підвищеною величиною питомого опору землі застосовують вертикальні заземлювачі.

Тип ЗП, а також розміри комірок заземлюючої сітки визначаються конкретними вимогами до ЗП.

До ЗП повинні бути приєднані всі металеві частини електрообладнання та електроустановок об'єкта:

- корпуси електричних машин, трансформаторів, вимірювальних трансформаторів струму і напруги, високочастотних конденсаторів зв'язку і фільтрів приєднання високочастотних каналів релейного захисту, протиаварійної автоматики, засобів диспетчерського технологічного керування,

апаратів та їхні приводи;

- каркаси і металеві корпуси щитів, шаф РУ, панелей з апаратурою пристроїв релейного захисту, протиаварійної автоматики, електроавтоматики, дистанційного керування, метрологічного забезпечення і оперативно-інформаційного комплексу, засобів диспетчерського технологічного керування;

- металеві конструкції РУ, конструкції для встановлення електрообладнання, металеві кабельні конструкції (на яких прокладаються кабелі), сполучні муфти, оболонки та броня кабелів;

- металеві корпуси пересувних і переносних електроприймачів.

Кожен елемент установки, яка підлягає заземленню, потрібно приєднувати до ЗП за допомогою окремого заземлювального провідника. Послідовне включення в заземлювальний провідник декількох частин установки забороняється.

Найбільш надійне приєднання до ЗП забезпечується зварюванням (внапуск).

Заземлення електроустановок (приєднання до ЗП) з метою забезпечення безпеки персоналу не є основним при використанні інших заходів, які гарантують безпеку: занулення, подвійна ізоляція, розділові трансформатори, вирівнювання потенціалів, захисне вимикання і т.ін.

Переріз заземлювальних провідників від нейтралей трансформаторів, короткозамикачів і дугогасильних реакторів повинен відповідати максимальному перерізу заземлювальних елементів ЗП для даної підстанції (які вибираються за максимальними рівнями струмів замикання і КЗ на землю, які протікають через обладнання).

Виконання ЗП у конкретних умовах електроустановки повинне відповідати проектів, а також вимогам ПУЕ та спеціальних нормативних документів (НД).

Конструктивне виконання також має відповідати чітким вимогам. Перевірка відповідності проектів конструктивного виконання ЗП проводиться візуально або методом електромагнітної діагностики.

Візуально перевірка відповідності проектів конструктивного виконання ЗП

проводиться після монтажу до приєднання природних заземлювачів та заземлювальних елементів і до засипання ґрунтом.

Перевірку слід виконувати візуальним оглядом елементів ЗП. Перерізи і провідності елементів ЗП повинні відповідати проектним даним і вимогам ПУЕ.

Перевірку відповідності конструктивного виконання ЗП виконують методом електромагнітної діагностики, використовуючи вимірювальний комплекс серії КДЗ-1У на працюючій підстанції без розкриття ґрунту, а саме:

- визначають реальне розташування штучних і природних заземлювачів, ЗП;
- визначають наявність або відсутність з'єднань у місцях перетину подовжніх і поперечних горизонтальних заземлювачів ЗП;
- визначають глибину залягання горизонтальних заземлювачів ЗП;
- визначають наявність зв'язків обладнання із ЗП і шляхів розтікання струмів з обладнання під час ударів блискавки та КЗ;
- знаходять обриви;
- проводиться перевірка з'єднань заземлювачів із заземлювальними елементами, з'єднань природних заземлювачів із заземлювальними пристроями.

Заземлювальні елементи, які з'єднують електрообладнання із ЗП (заземлювачами), не повинні мати обривів, незадовільних з'єднань (контактів). Надійність контакту перевіряється ударом молотка.

Значення опору (наявність кола) таких заземлювальних елементів не нормується і звичайно становить 0,05 – 0,1 Ом. Наявність кола перевіряють вимірюванням опору вимірювачем опору заземлення типу Ф 4103-М1 або приладами інших типів аналогічного призначення (МС-08, М-416 та т.ін.) або методом амперметра-вольтметра.

Один провід від приладу приєднують за допомогою самоочисної струбцини безпосередньо до заземлення, а другий – за допомогою самоочисної струбцини з ізолюючою ручкою до корпусу обладнання, який випробується.

На ВРУ електростанцій та підстанцій корозійний стан ЗП перевіряється вибірково з розкриттям ґрунту в місцях, де заземлювачі найбільше підлягають

корозії, а також поблизу нейтралей силових трансформаторів, автотрансформаторів, реакторів, короткозамикачів, розрядників, обмежувачів перенапруг.

У ЗРУ огляд елементів заземлювачів з розкриттям ґрунту проводиться за рішенням технічного керівника електростанції або підприємства електромереж.

Кількісне оцінення ступеня корозійного зносу проводиться на ділянках контрольованого елемента ЗП вимірюванням характерних розмірів (діаметр, товщина, ширина, глибина та площа окремих щербинок), які залежать від виду корозії. Ці розміри вимірюються штангенциркулем.

Для виявлення тенденції до кородування і прогнозування терміну служби заземлювачів рекомендується виміряти електрохімічний окислювально-відновний потенціал, питомий опір землі і визначити наявність блукаючих струмів у землі існуючими методами.

Елемент ЗП потрібно замінити, якщо зруйновано більше ніж 50 % його перерізу.

Заземлювальні провідники повинні бути захищені від корозії відповідно до ГНД 34.20.507– 2003 та ПУЕ. Відкриті прокладені заземлювальні провідники повинні мати захисне (відмітне) пофарбування чорного кольору. На заземлюючих спусках на границі земля-повітря в екологічно несприятливих районах потрібно встановлювати термоусадочну трубку (не менше ніж 150 мм над землею і не менше ніж 150 мм під землею). В інших районах як захисний захід на границі земля-повітря допускається застосовувати і інші способи захисту (захисні оболонки, пофарбування на довжину 70 см).

1.5 Види та характеристики ґрунтів

Властивості ґрунту визначаються його питомим опором (питомий опір прийнято позначати грецькою буквою ρ). Ця величина визначає електричні властивості ґрунту. Чим вона менша, тим кращі умови для заземлювального пристрою.

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

Щоб чітко знати, що являє собою цей опір, нагадаємо, що куб із міді з ребрами 1 см має опір $0,0175 \cdot 10^{-4}$ Ом при 20°C ; таким чином, наприклад, при значенні $\rho = 1 \cdot 10^4$ Ом•см ґрунт має опір в 5,7 млрд. разів більше, ніж опір міді.

Застосовується також вимір питомого опору ґрунту в ом-метрах (Ом•м). Значення питомого опору в Ом•м в 100 разів менше, ніж в Ом•см. Так, наприклад, $1 \cdot 10^4$ Ом•см = $1 \cdot 10^2$ Ом•м (тобто 100 Ом•м).

Таблиця 1.2 – Наближені значення питомих опорів ґрунтів і води ρ , Ом•см

| Найменування ґрунту | Межі величини $\times 10^4$ |
|---------------------|--|
| 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 |
| Моськая вода | 0,002 – 0,01 |
| Скеля, валуни | 20 - 40 |
| Вічна мерзлота | 10 – 100 і більше |

У таблиці 1.2 приведені наближені значення питомих опорів різних ґрунтів, а також річкової і морської води. Точні значення питомих опорів ґрунту повинні визначатися на місцях вимірювань.

Знаючи величину питомого опору ґрунту, можна визначити опір розтікання різних електродів. Наближені їх значення приведені в таблиці 1.3 і 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 50×50 мм, дожиною 2,5 м | 0,00318 |
| Стержень сталевий, 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), заложена вертикально | $0,25 \frac{\rho}{\sqrt{ab}}$, де a і b – розміри сторін пластини, см |

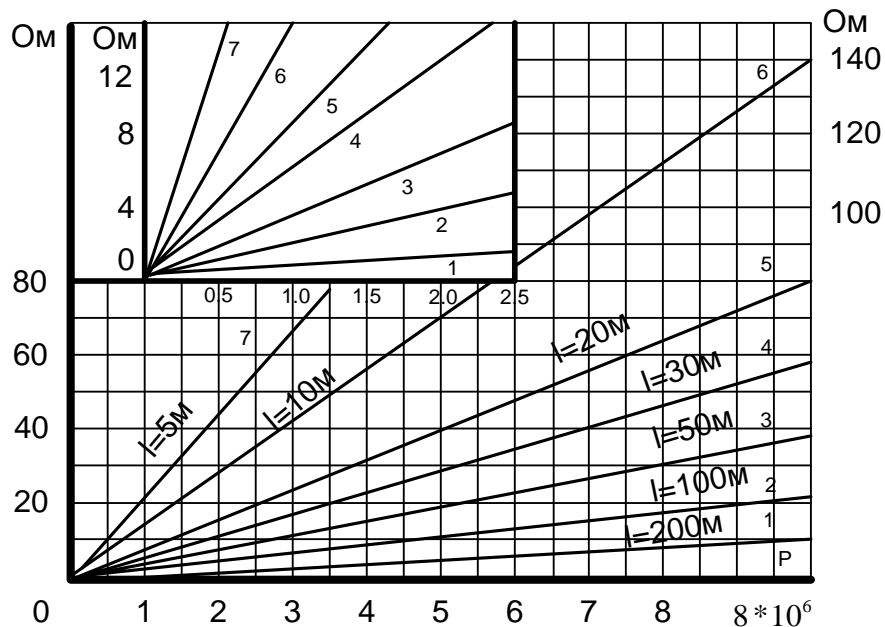


Рисунок 1.2 Опір розтікання смугової сталі шириною 4 см або круглої діаметром 2 см на глибині 70 см

1.6 Кліматичні зони розташування заземлювальних пристроїв

В таблиці 1.3 приведені дані, які відносяться до значень при вологості 10 – 20% до маси ґрунту. Проте ґрунт в літній час може просихати, а в зимовий – промерзати. І в тому і в інших випадках опір розтікання заземлювачів зростає, часто досить суттєво.

Щоб досягти вологіших і непромерзаючих шарів ґрунту, куточки, стержні і труби занурюються в землю так, щоб їх верх знаходився на відстані 0,7 – 0,8 м від рівня землі, а горизонтальні заземлювачі - повністю (вони прокладаються на глибині 0,7 – 0,8 м) потрапляють в зону можливого промерзання і висихання ґрунту. Тому, щоб отримати необхідний опір заземлювальних пристроїв у будь – який час року, питомий опір ґрунту при розрахунках слід приймати більшим, ніж це вказано, наприклад, в таблиці 1.4. Для цього значення питомого опору потрібно помножити на підвищувачі коефіцієнти, різні для різних кліматичних зон.

Наближені значення цих коефіцієнтів для кліматичних зон України приведені в таблиці 1.4 та в таблиці 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), °С | Від – 20 До – 15 | Від – 14 До - 10 | Від – 10 До 0 | Від 0 До +5 |
| Середня багаторічна температура (липень), °С | 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:

1. Земля - це провідник електричного струму величезних розмірів. Все електроустаткування (ЕОУ) встановлене на землі і це дозволяє широко використовувати її в роботі електроустановок (ЕУ).

2. Заземлення - навмисне електричне з'єднання якої-небудь точки мережі, електроустановки або устаткування із заземлювальним пристроєм.

3. В залежності від призначення заземлення поділяється на грозозахисне, робоче і захисне.

4. ЗП повинні задовольняти вимоги забезпечення експлуатаційних режимів роботи електроустановок, а також вимоги забезпечення електробезпечності обслуговуючого персоналу і захисту електроустановок.

2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

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

В установках 6 - 35 кВ з незаземленою або резонансно-заземленою нейтраллю опір заземлювального пристрою у будь-який час року повинен бути:

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

де I_3 - розрахунковий струм замикання на землю, А.

Якщо в нейтраль увімкнений заземлювальний реактор, то за розрахунковий струм для заземлювальних пристроїв, до яких він приєднаний, приймають струм, рівний 125% його номінального струму. Для заземлювальних пристроїв, до яких реактор не приєднаний, за розрахунковий струм приймають некомпесований ємнісний струм, що виникає при відключенні найпотужнішого заземленого реактора.

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

У електроустановках до 1 кВ з ізольованою нейтраллю опір заземлювального пристрою у будь-який час року має бути:

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

де I_3 - розрахунковий струм замикання на землю, А.

Значення R_3 не повинне перевищувати 10 Ом при потужності джерела до 100 КВА і 4 Ом при більшій потужності.

У (2.1) і (2.2) в чисельнику допустима напруга на заземлювачі 250 і 125 В. Слід ще раз нагадати, що людина, торкаючись до заземленого електроустаткування, потрапляє не під напругу, а під деяку меншу напругу $U_{\text{аі} \delta}$.

При використанні заземлювального пристрою одночасно для електроустановок 6-35 кВ і до 1 кВ опір заземлювального пристрою визначається по (2.2).

До заземлювальних пристроїв електроустановок до 1 кВ з глухозаземленою нейтраллю пред'являють ряд особливих вимог, які тут не розглядаються.

Заземлювальні пристрої електроустановок з незаземленою або резонансно-заземленою нейтраллю виконують у вигляді прямокутника з горизонтальних і вертикальних заземлювачів, інколи у вигляді одного-двох рядів горизонтальних і вертикальних заземлювачів. Розрахунок таких пристроїв з достатньою для практичних цілей точністю можна вести методом коефіцієнтів використання, приймаючи ґрунт однорідним по глибині.

Розрахунок проводиться в наступному порядку:

1. Визначають розрахунковий струм I_z і по (2.1) або (2.2) R_z (при сукупності заземлювальних пристроїв різної напруги приймається менше за необхідні значення).

2. Визначають опори природних заземлювачів R_T . Використання природних заземлювачів дозволяє спростити конструкцію заземлювального пристрою, зменшити кількість штучних заземлювачів, а інколи зовсім не застосовувати їх.

Опір природних заземлювачів визначають шляхом вимірювання в конкретній установці. Значення їх приблизно можуть бути такими: сталева водопровідна труба 2-4 Ом; свинцева оболонка кабелю 2-3 Ом; система трос – опора 2,5-3 Ом. Опір фундаментів опор відкритого РП також визначається розрахунком.

Якщо $R_c \langle R_3$, то вертикальний заземлювач не потрібний, на території прокладається горизонтальний заземлювач (зазвичай смуга), який не менше чим в двох точках зв'язується з природним заземлювачем.

Якщо $R_3 \langle R_c$, необхідна споруда штучних заземлювачів, опір яких має бути рівним:

$$R_{ум} = \frac{R_c R_3}{R_c - R_3} \quad (2.3)$$

Як штучний заземлювач застосовують вертикальні заземлювачі – стержні довжиною 3 – 5 м, діаметром 12 – 20 мм і горизонтальні заземлювачі – сталеві смуги 40 x 4 мм.

3. Визначають розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_{розр} = k_c \rho_3 \quad (2.4)$$

де ρ – питомий опір ґрунту, виміряний при нормальній вологості; k_c – коефіцієнт сезонності, що враховує промерзання і просихання ґрунту (2.1). У середніх кліматичних зонах (друга, третя) для вертикальних електродів завдовжки 3–5 м $k_c = 1,45 \div 1,15$, для горизонтальних електродів завдовжки 10 – 15 м $k_c = 3,5 \div 2,0$.

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 |
| Ґлина | 8-70 | Скелястий ґрунт | 2000-4000 |
| Садова земля | 40 | | |

4. Визначають заздалегідь конфігурацію заземлювача з урахуванням його розміщення на відведеній території, причому відстань між вертикальними заземлювачами приймається не менше їх довжини. За планом заземлювального пристрою визначається заздалегідь довжина горизонтальних заземлювачів.

5. Визначають опір горизонтальних заземлювачів (сполучної смуги контура) Ом:

$$r_2 = \frac{0,366\rho_{розр}}{I} \lg \frac{2l^2}{bt}, \quad (2.5)$$

де l - довжина смуги, м; b - ширина смуги, м; t - глибина заложення, м; $\rho_{розр}$ - розрахунковий опір землі для горизонтальних заземлювачів.

З урахуванням коефіцієнта використання опору смуги

$$R_2 = \frac{r_2}{\eta_2}, \quad (2.6)$$

де η_2 – коефіцієнт використання по таблиці. 2.1.

6. Якщо $R_2 < R_{ум}$ то вертикальні заземлювачі не потрібні.

Якщо $R_2 > R_{ум}$, то необхідні вертикальні заземлювачі загальним опором

$$R_B \leq \frac{R_2 R_{ум}}{R_2 - R_{ум}}. \quad (2.7)$$

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

$$r_B = \frac{0,366\rho_{розр}}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (2.8)$$

де $\rho_{розр}$ - розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом•м; l - довжина стрижня, м;
 d - діаметр стержня, м; t - глибина заглиблення, рівна відстані від поверхні
землі до середини заземлювача, м.

Таблиця 2.2 – Коефіцієнт використання сполучної смуги в контурі з 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. Визначають кількість вертикальних заземлювачів:

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

де - n_B коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів, який залежить від відстані між ними a , їх довжини і кількості (таблиця 3.3). На основі результатів розрахунку уточнюють конфігурацію заземлювального пристрою.

Розрахуємо заземлювальний пристрій підстанції 35/6 кВ, який знаходиться в іншій кліматичній зоні. Мережі 35 і 6 кВ працюють з незаземленими нейтраліями. На стороні 35 кВ $I_s = 8$ А, на стороні 6 кВ $I_s = 25$ А. Власні потреби підстанції отримують живлення від трансформатора 6/0,4 кВ із заземленою нейтраллю на стороні 0.4 кВ. Природних заземлювачів немає. Питомий опір землі при нормальній вологості $\rho = 86$ Ом•м. Устаткування підстації займає площу 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):

$$R_{\zeta} = \frac{125}{2_{\zeta}} = \frac{125}{8} = 15,6 \text{ Ом};$$

$$R_{\zeta} \leq \frac{125}{25} = 5 \text{ Ом.}$$

Опір заземлювального пристрою нейтралі трансформатора на стороні 0,4кВ повинен бути не більше 4 Ом.

Таким чином, остання вимога є визначальною для розрахунку: $R_{\zeta} \leq 4 \text{ Ом}$.

Заземлювальний пристрій виконуємо у вигляді контура із смуги 40 x 4 мм, прокладеною на глибині 0,7 м навколо устаткування підстанції на відстані 2 м від внутрішньої сторони огорожі. Загальна довжина смуги 60 м. Опір заземлюючої смуги по (2.5).

$$r_2 = \frac{0,3666\rho_{\text{розр}}}{l} \lg \frac{2l^2}{bt} = \frac{0,3666 \cdot 3 \cdot 86}{60} \lg \frac{2 \cdot 60^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 8,7 \text{ Ом}$$

де $\rho_{\text{розр}} = k_c \rho = 3 \cdot 86$; k_c - визначений по таблиці (2.2).

Заздалегідь приймаючи в контурі 10 вертикальних заземлювачів, по таблиці 2.2 для $a/l = 1$ знаходимо коефіцієнт використання смуги $\eta_2 = 0,34$, тоді опір смуги в контурі з 10 вертикальних заземлювачів

$$R_2 = \frac{r_2}{\eta_u} = \frac{8,7}{0,34} = 25,6 \text{ Ом}$$

Необхідний опір вертикальних заземлювачів по (2.7)

$$R_B = \frac{R_2 R_3}{R_2 - R_3} = \frac{25,6 \cdot 4}{25,6 - 4} = 4,7 \text{ Ом}$$

де $R_{um} = R_3$ оскільки природні заземлювачі відсутні.

Таблиця 2.3 – Коефіцієнти використання вертикальних заземлювачів, розміщених по контуру без врахування впливу смуги зв'язку

| 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 | 3 | | |
| | 40 | 0,38 - 0,44 | | 4 | 0,84-0,86 |
| | 60 | 0,36 - 0,42 | | 6 | 0,78-0,82 |
| 2 | | | | 10 | 0,74-0,78 |
| | 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 опір одного вертикального заземлювача (стержня завдовжки 5 м, діаметром 12 мм при $\rho_{розр} = k_c \rho = 1,25 \cdot 86 = 108$ (Ом-м)

$$r_B = \frac{0,3666 \cdot 108}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{12 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2 - 5} \right) = 24,4.$$

Приймаємо в контурі 10 вертикальних заземлювачів.

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

Згідно ПУЕ заземлювальні пристрої електроустановок вище 1 кВ мережі з ефективно заземленою нейтраллю виконуються з урахуванням опору $R_3 \leq 0,5$ Ом або допустимої напруги дотику.

Розрахунок по допустимому опору $R_C \leq 0,5$ Ом приводить до неоправданної перевитрати провідникового матеріалу і трудовитрат при монтажі заземлювальних пристроїв для підстанцій невеликої площі, що не мають природних заземлювачів. Досвід експлуатації розподільчих пристроїв 110 кВ і вище дозволяє перейти до нормування напруги дотику, а не величини R_C . Обґрунтуванням цього служать наступні міркування. У момент дотику людини до заземленого устаткування, що знаходиться під потенціалом, частина опору заземлювача шунтується опором тіла людини R_E і опором розтікання струму від ступенів в землю R_C . На тіло людини фактично діятиме напруга

$$U_{Л} = U_{np} - U_c, \quad (2.10)$$

де $U_c = I_{Л} R_c$ – падіння напруги в опорі розтікання з двох ступнів людини в землю.

Якщо прийняти ступню за диск радіусом 8 см, то

$$R_c = \frac{\rho_{B,C}}{2 \cdot 4r} = \frac{\rho_{B,C}}{8 \cdot 0,08} = 15 \rho_{B,C},$$

де $\rho_{B,C}$ - питомий опір шару землі ; Ом·м; r - радіус ступні, м

Струм, що протікає через людину

$$I_{Л} = \frac{U_{np} - U_C}{R_c}. \quad (2.11)$$

Небезпека ураження залежить від струму і його тривалості протікання через тіло людини. Згідно прийнятим нормам допустимий струм визначається так:

Таблиця 3.4 – 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 (2.10) знайти допустиму напругу дотику:

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

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

$$U_{\text{дом}} \leq I_{\text{Л}} R_{\text{Л}} + 1,5 I_{\text{Л}} \rho_{\text{В,С}}, \quad (2.13)$$

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

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

З (2.13) видно, що чим більше $\rho_{\text{В,С}}$ тим більшу напругу дотику можна допустити. Приймавши деяку середню величину, можна рекомендувати для розрахунків приведені нижче допустимі значення напруги дотику:

Таблиця 3.5 – 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 $\tau_{\text{В}}^{\partial}$ прийнято

$$\tau_{\text{В}} = t_{\text{р,з}} + t_{\text{відкл.В}} \quad (2.14)$$

де $t_{\text{р,з}}$ – 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; $t_{\text{відкл.В}}$ - повний час відключення вимикача.

Заземлювальний пристрій, виконаний по нормах напруги дотику, повинен забезпечити у будь-який час року обмеження $U_{\text{дот}}$ до нормованого значення в межах всієї території підстанції, а напруга на заземлювальному пристрої U_z , повинна бути не вище 10 кВ. Якщо $U_z > 5 \div 10$ 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.

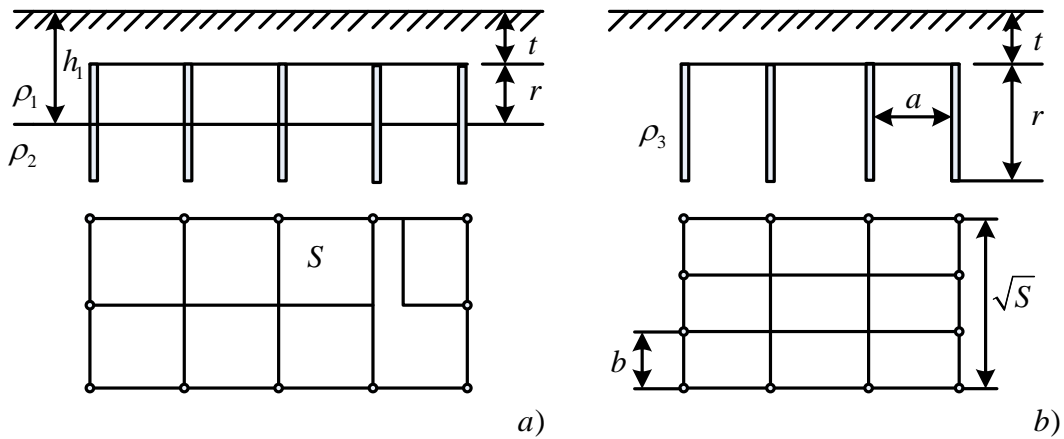


Рисунок 2.1 – До розрахунку складних заземлювачів:

В реальних умовах питомий опір ґрунту неоднаковий по глибині. Як правило верхні шари мають більший питомий опір, а нижні, зволожені шари – менший опір. У розрахунках багат шаровий ґрунт представляється двошаровим: верхній товщиною h_1 з питомим опором ρ_1 , нижній з питомим опором ρ_2 . Величини ρ_1, ρ_2, h_1 приймаються на основі вимірювань з урахуванням сезонного коефіцієнта k_c . Розрахунок проводиться в наступному порядку:

1. Знаючи найбільшу допустиму напругу дотику, визначаємо напругу на заземлювачі:

$$U_3 = \frac{U_{\text{дом.дон}}}{k_{\Pi}}, \quad (2.15)$$

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

$$k_{\Pi} = \frac{M\beta}{\left(\frac{l_B L_r}{a\sqrt{S}}\right)^{0,45}}, \quad (2.16)$$

де l_B – довжина вертикального заземлювача, м; L_r – довжина горизонтальних заземлювачів, м; a – відстань між вертикальними заземлювачами, м; S – площа заземлюючого пристрою, м^2 ; M – параметр, залежний від ρ_1 / ρ_2 таким чином:

Таблиця 3.6 – 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 опорі тіла людини R_q і опорі розтікання струму від ступень R_c :

$$\beta = \frac{R_q}{R_q + R_c}, \quad (2.17)$$

У розрахунках приймають $R_q = 1000$ Ом; $R_c = 1,5$.

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

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

де I_3 - струм, що стікає із заземлювача проектованого заземлювального пристрою при однофазному КЗ.

Якщо однофазне КЗ сталося в межах електроустановки, то:

$$I_3 = I_{3, \text{П}}^{(1)} \left(1 - \frac{x_0}{x_{r1}} \right), \quad (2.19)$$

де $I_{3, \text{П}}^{(1)}$ – струм однофазного КЗ в місці пошкодження; x_0 – результуючий індуктивний опір нульової послідовності до місця КЗ;

x_{T1} – опір нульової послідовності трансформаторів даної електроустановки.

Якщо однофазне КЗ сталося за межами електроустановки, то

$$I_3 = I_{\text{П},0}^{(t)} \frac{x_0}{x_{T1}}. \quad (2.20)$$

З (3.19) і (3.20) видно, що струм, який стікає в землю через заземлювач, складає деяку частку від струму однофазного КЗ, яка залежить від потужності

встановлених трансформаторів і кількості заземлених нейтралей в системі. Наприклад, для прикладу $I_3 = (0,4 \div 0,6)I_{II,0}^{(t)}$. Для підстанцій, на яких заземлена нейтраль одного трансформатора, ця частка може бути ще менше.

3. Визначають загальний опір природних заземлювачів, Ом:

$$R_C = \frac{1}{\frac{1}{R_{каб}} + \frac{1}{R_\phi} + \frac{1}{R_{C.T.O}}}, \quad (2.21)$$

де $R_{каб}$ - опір розтікання струму кабелів; R_ϕ - опір розтікання струму фундаментів; $R_{C.T.O}$ - опір розтікання струму системи трос - опори.

Якщо $R_C < R_{з.дон}$, то споруджується тільки сітка з горизонтальних смуг, якщо $R_C > R_{з.дон}$, то необхідна споруда штучного заземлювача, опір якого визначається по (2.3).

4. Визначають загальний опір складного заземлювача, перетвореного в розрахункову модель Ом:

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

де

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

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

ρ_e - еквівалентний питомий опір землі Ом·м (таблиця 3.7); l_B - загальна довжина вертикальних заземлювачів; $l_B = I_B n_B$.

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

Якщо опір заземлювача перевищує необхідні значення, то необхідне збільшення площі S довжини L_Γ числа вертикальних заземлювачів n_B і їх довжини. Все це приводить до додаткових витрат і на підстанціях важко здійснювати. Ефективною мірою зменшення небезпеки дотику є підсипка гравію або щебеня шаром 0,1 - 0,2 м біля робочих місць. Питомий опір

верхнього шару при цьому різко зростає (5000-10000 Ом•м), що знижує струм, що проходить через людину, оскільки зростає опір розтікання струму із ступнею R_c .

У розрахунку відповідно зменшується коефіцієнт β і збільшується допустимий опір заземлювального пристрою.

Таблиця 3.7 – Відносний еквівалентний питомий опір для сіток з вертикальним заземлювачем 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 пристрій може виконуватися з дотриманням вимог до його опору. В цьому випадку у будь-який час року з урахуванням природних заземлювачів опір повинен бути $R_s \leq 0,5 \text{ Ом}$.

У таких заземлювальних пристроях для вирівнювання потенціалу прокладаються повздовжні і поперечні смуги на глибині 0,5 – 0,7 м і на відстані від фундаментів або опор устаткування 0,8 – 1 м. Відстань між поперечними смугами рекомендується приймати збільшеною від периферії до центру заземлюючої сітки, але не більше 20м.

Розрахуємо заземлювальний пристрій для КТП 110/6 кВ площею 12 x 20 м²; $\rho_1 = 500$ Ом•м (з урахуванням промерзання); $h_1 = 2$ м; $\rho_2 = 60$ Ом•м; $t = 0,7$ м; $l_B = 5$ м; $t_{p,z} = 0,12$ с; $t_{огг.B} = 0,08$ з; струм, який стікає із заземлювачів підстанції при однофазному КЗ на даній підстанції $I_3 = 1,9$ кА. Природних заземлювачів немає.

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

$$k_{II} = \frac{M\beta}{\left(\frac{l_B L_G}{a\sqrt{S}}\right)^{0,45}} = \frac{0,806 \cdot 0,57}{\left(\frac{5 \cdot 125}{5\sqrt{12 \cdot 20}}\right)^{0,45}} = 0,18,$$

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

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1,5\rho_{a,c}} = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 500} = 0,57;$$

$L_G = 125$ м за планом (Рисунок 2.1, а).

Потенціал на заземлювачі по (2.15)

$$U_3 \frac{U_{\text{дом.дон}}}{k_{II}} = \frac{400}{0,18} = 2222 \text{ В},$$

що в межах допустимого (менше 10 кВ).

Опір заземлювального пристрою по (2.18)

$$R_{3,\text{дон}} = \frac{U_3}{I_3} = \frac{2222}{1900} = 1,23 \text{ Ом}$$

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

$$m = \frac{L_G}{2\sqrt{S}} - 1 = \frac{125}{2 \cdot 15,5} - 1 = 3,03;$$

приймаємо $m = 3$.

Довжина смуг в розрахунковій моделі

$$L'_G = 2\sqrt{S}(m+1) = 2 \cdot 15,5 \cdot 4 = 124 \text{ м.}$$

Довжина сторін комірки

$$b = \frac{15,5}{3} = 5,17 \text{ м.}$$

Число вертикальних заземлювачів по периметру контура при $a/l_B = 1$

$$n_B = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{1 \cdot l_B} = \frac{15,5 \cdot 4}{5} = 12,4;$$

приймаємо $n_B = 12$. Загальна довжина вертикальних заземлювачів

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

Відносна глибина

$$\frac{l_B + t}{\sqrt{S}} = \frac{5 + 0,7}{15,5} = 0,368 > 0,1,$$

тоді по (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 $\rho_1 / \rho_2 = 8,3$; $a/l_B = 1$

$$\frac{h_1 - t}{l_B} = \frac{2 - 0,7}{5} = 0,26.$$

Визначаємо $\rho_e / \rho_2 = 1,4$; тоді $\rho_e = 1,4$; $\rho_2 = 1,4 \cdot 60 = 84 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Загальний опір складного заземлювача по (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 $R_{3, \text{дон}} = 1,23 \text{ Ом}$

Знайдемо напругу дотику;

$$U_{\text{дон}} = k_{II} I_3 R_3 = 0,18 \cdot 1900 \cdot 2,044 = 699 \text{ В,}$$

що більше допустимого значення 400 В.

Необхідно прийняти заходи для зниження $U_{\text{дон}}$ шляхом розширення заземлювального пристрою за межі підстанції або шляхом використання природних заземлювачів.

Допустимо, що на підстанції можуть бути використані природні заземлювачі системи трос - опори лінії 110 кВ загальним опором 2 Ом, тоді загальний опір заземлювального пристрою підстанції

$$R'_3 = \frac{R_e R_3}{R_e + R_3} = \frac{2,044 \cdot 2}{2,044 + 2} = 1,01 \text{ Ом}$$

що менше $R_{3,\text{дон}} = 1,23 \text{ Ом}$

Напруга дотику

$$U_{\text{дон}} = k_{II} I_3 R_{3,\text{дон}} = 0,18 \cdot 1900 \cdot 1,01 = 345 \text{ В,}$$

що менше допустимого значення 400 В.

Можливий інший шлях зменшення $U_{\text{дон}}$. Застосуємо підсіпку гравієм товщиною 0,2 м біля робочих місць. Питомий опір верхнього шару (гравію) в цьому випадку буде $\rho_{B,C} = 3000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, тоді

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

$$k_{II} = \frac{M\beta}{\left(\frac{l_B L_\Gamma}{a\sqrt{S}}\right)^{0,45}} \frac{0,806 \cdot 0,18}{\left(\frac{5 \cdot 125}{5\sqrt{12 \cdot 20}}\right)^{0,45}} = 0,057.$$

Підсіпка гравієм не впливає на розтікання струму із заземлювального пристрою, оскільки глибина зануркня заземлювачів 0,7 м більше товщини шару гравію, тому співвідношення ρ_1 / ρ_2 і значення M залишаються незмінними.

По (3.15)

$$U_3 = \frac{400}{0,057} = 7017 \text{ В,}$$

що менше допустимого (10 кВ).

По (3.18)

$$R'_{3,\text{дон}} = \frac{7017}{1900} = 3,69 \text{ Ом,}$$

таким чином, $R_3 = 2,044 \text{ Ом} < R'_{3,\text{дон}} = 3,69 \text{ Ом}$.

Напруга дотику

$$U_{\text{дом}} = k_{\Pi}' I_3 R'_{3.\text{дон}} = 0,057 \cdot 1900 / 2,044 = 221 \text{ В,}$$

що менше допустимого 400 В.

З розрахунку видно, як ефективна підсіпка гравієм на території підстанції.

Визначимо найбільший допустимий струм, що стікає із заземлювачів підстанції при однофазному КЗ:

$$I_{3.\text{max}} = \frac{U_{\text{дом.дон}}}{k_{\Pi} R_3} = \frac{400}{0,057 \cdot 2,044} = 3433 \text{ А.}$$

При великих струмах необхідне зниження R_3 за рахунок збільшення сітки смуг або додаткових вертикальних заземлювачів.

Висновки:

1. Заземлювальні пристрої електроустановок з незаземленою або резонансно-заземленою нейтраллю виконують у вигляді прямокутника з горизонтальних і вертикальних заземлювачів, інколи у вигляді одного-двох рядів горизонтальних і вертикальних заземлювачів. Розрахунок таких пристроїв з достатньою для практичних цілей точністю можна вести методом коефіцієнтів використання, приймаючи ґрунт однорідним по глибині.

2. 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.

3. МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТУ ТА ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

3.1 Вимоги до періодичності перевірок стану заземлювальних пристроїв

Відповідно до вимог ГНД 34.20.507 – 2003 і ГНД 34.20.302 – 2002 періодичність випробувань і контролю стану ЗП така:

- перевірка в повному обсязі – для нововведених ЗП та після капітального ремонту і реконструкції (переобладнання);

- вимірювання опору ЗП – після монтажу, реконструкції, але не рідше одного разу на 12 років:

- перевірка корозійного стану елементів заземлювача (вибіркова з розкриттям ґрунту) – не рідше одного разу на 12 років. У разі потреби, за рішенням технічного керівника енергооб'єкта (електричні станції, підстанції і мережі) вибіркочу перевірку можна провадити частіше;

- перевірка наявності і стану кіл (зв'язків) між заземлювачем та елементами, які заземлюються, з'єднань природних заземлювачів із ЗП, відповідності проектів і вимогам ПУЕ конструктивного виконання ЗП (особливо за відсутності схеми заземлення) – після кожного ремонту, але не рідше одного разу на 12 років, а для тих, які експлуатуються понад 25 років, – не рідше одного разу на 6 років;

- перевірка наявності і стану з'єднань нульових виводів первинних обмоток однофазних вимірювальних трансформаторів напруги 35 кВ і вище за схемою «зірка» і зв'язків нуля «зірки» із ЗП – не рідше одного разу на 6 років;

- перевірка наявності і стану з'єднань із ЗП вузлів високочастотних конденсаторів зв'язку – фільтр приєднання, високочастотних каналів релейного захисту, протиаварійної автоматики, засобів диспетчерського технологічного керування – по проводах ПЛ, враховуючи можливість виконання робіт з технічного обслуговування фільтрів приєднання в комплексі з ВЧ-кабелями і апаратурою без зняття напруги з ПЛ, за умови виконання заходів безпеки згідно

з ДНАОП 1.1.10.-1.01 – 98 – не рідше одного разу на 6 років;

- вимірювання напруги дотику (якщо ЗП виконано за нормами на напругу дотику) у розрахункових точках – не рідше одного разу на 6 років;

- перевірка (розрахункова) відповідності напруги на ЗП вимогам ПУЕ - після монтажу, переобладнання і капітального ремонту, але не рідше одного разу на 12 років;

- перевірка параметрів ЗП у тому місці, де можливі зміни в результаті проведених робіт.

Після впливу КЗ або грозових розрядів (перенапруг) необхідно провести огляд ЗП у зоні впливу і на прилягаючих до неї ділянках ЗП.

3.2 Методика вимірювань питомого опору ґрунту

При розробці систем заземлення великого розміру, необхідно визначити області найменшого опору ґрунту, щоб сконструювати найбільш економічну установку.

Вимірювати опір можна декількома методами: двоточковим або 3-х точковим. В більшості випадків найбільш точним є 4-точковий метод, який застосований, наприклад, в тестері заземлення моделі 4500. На вимірюваній ділянці потрібно встановити в лінію чотири рівновіддалені електроди. Між крайніми електродами протікає струм відомої величини, створений генератором струму. Між внутрішніми електродами вимірюється падіння напруги.

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

A - відстань між електродами в см; B - глибина заземлення електродів в см. R – опір ґрунту (Ом•см)

Якщо $A > 20 B$, і задається в сантиметрах, то формула набуває наступного вигляду:

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

3.3 Загальна методика вимірювань опору заземлювального пристрою

Під час вимірювань опору ЗП (особливо методом амперметра-вольтметра) виходячи з умов безпеки необхідно застосовувати якомога меншу вимірювальну напругу. Необхідно також вжити заходів, які виключали б появу людей і тварин у районі проведення робіт і встановлених допоміжних електродів (заземлювачів).

Опір ЗП вимірюється при приєднаних природних заземлювачах. Для правильного оцінення якості виконання (стану) заземлювачів вимірювання потрібно виконувати в періоди найменшої провідності землі – взимку або влітку. Інакше виміряне значення опору ЗП потрібно буде впливати на сезонний підвищувальний коефіцієнт, який зазначається в проектній документації.

Виміряне значення опору ЗП (заземлювача) не повинне перевищувати нормованого значення (таблиця 3.1) в будь-яку пору року і повинне відповідати вимогам ГНД 34.20.302–2002.

Перед проведенням вимірювань опору ЗП необхідно вивчити проектну документацію та акти на виконання прихованих робіт.

В обсяг вимірювань опору ЗП після монтажу, переобладнання і капітального ремонту повинна входити також і перевірка цілості заземлювальних провідників, прокладених приховано, які знаходились у зоні робіт або самі були об'єктом проведення цих робіт, тому що в процесі виконання перебудови, капітального ремонту і монтажу може бути порушено цілість самого ЗП і з'єднань його елементів, можуть виявитись від'єднаними (приєднаними) природні заземлювачі або приєднані додаткові елементи заземлювачів.

Періодичні вимірювання опору ЗП потрібно проводити в електроустановках вище ніж 1 кВ відповідно до вимог ГНД 34.20.302 – 2002 і ГНД 34.20.507 – 2003.

За неможливості проведення вимірювання опору ЗП необхідно виконати його розрахунок і зазначити про це в документації до ЗП.

Опір ЗП вимірюється за допомогою приладів типу МС-08, М-416, Ф 4103-М1 (або інших приладів, які мають дозвіл на застосування) методом амперметра-вольтметра за методикою, зазначеною в експлуатаційній документації на дані прилади, або за допомогою вимірювального комплексу серії КДЗ-1У.

Для вимірювання опору ЗП (заземлювачів) відповідними приладами створюється коло струму через ЗП, який випробується. Для цього на відстані від 30 до 120 м розташовуються (забиваються) струмові допоміжні електроди і потенційний допоміжний електрод для вимірювання падіння напруги в опорі ЗП, який випробується (під час проходження через нього струму).

Як допоміжні електроди застосовуються сталеві стрижні або труби діаметром до 50 мм. Стрижні в місці приєднання провідників потрібно очистити від іржі. Стрижні забивають або вгвинчують у землю на глибину від 0,8 до 1,0 м.

Точність вимірювання опору ЗП залежить від взаємного розташування виробуваного ЗП та допоміжних електродів і відстаней між ними. Відстань від ЗП до струмового допоміжного електрода і потенційного допоміжного електрода залежить від розмірів ЗП і характерних особливостей території навколо електроустановки.

Допоміжні електроди необхідно розташовувати біля об'єкта на території, вільній від ліній електропередачі та підземних металевих комунікацій: потенційний допоміжний електрод – не ближче 50 м, а струмовий допоміжний електрод – не ближче 100 м від металевих комунікацій, пов'язаних із ЗП об'єкта (трубопроводів, кабелів з металевими оболонками та ін.).

Таблиця 3.1 – Найбільші допустимі значення опору ЗП

| Найменування електроустановок | 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 проекті 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 вимірювань опору складних ЗП достатніми є відстані між струмовим і потенційним допоміжними електродами і від обох допоміжних електродів до виробуваного ЗП, які дорівнюють $3D$ (D – найбільша діагональ ЗП або довжина променя, або довжина вертикального електрода ЗП).

Можна виконати декілька вимірювань опору при різних напрямках променів (напрямок розміщення допоміжних електродів), як зазначено на рисунку 3.1, при різних відстанях D і A зазначених у таблиці 3.2, і за фактичний прийняти варіант із найбільшим значенням опору.

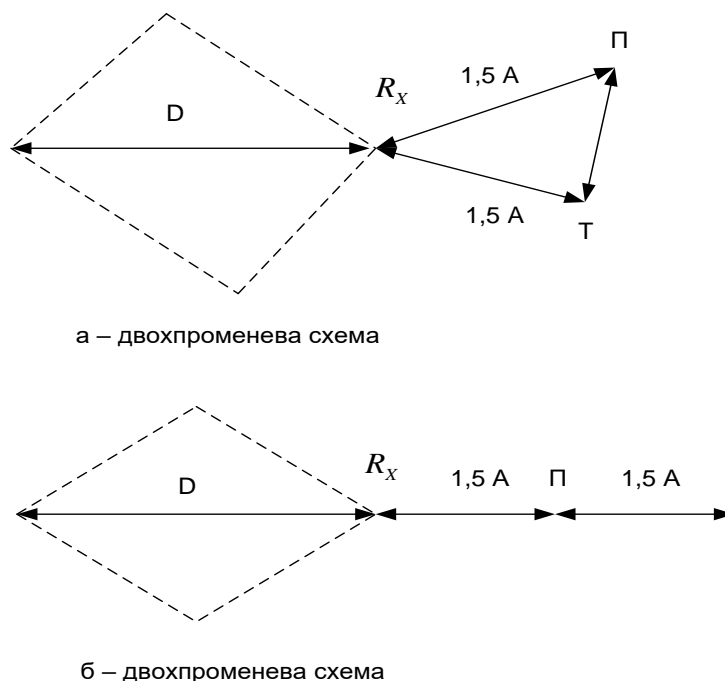


Рисунок 3.1 – Розміщення допоміжних електродів під час вимірювання опору ЗП

де П – потенційний допоміжний електрод; Т – токовий допоміжний електрод; R_x – опір ЗП; 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 ЗП прилад типу МС-08 (М-416) вмикають за трипровідною схемою з замкнутими між собою клемми $I_1(1)$ і $E_1(2)$ (рисунок 3.2). У цьому випадку опір провідника, який з'єднує прилад з випробуваним ЗП (заземлювачем), є частиною вимірюваного опору, тому провід повинен мати переріз не менше 4 – 6 мм².

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



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

Під час вимірювання опору не допускається перевищення опорів струмового допоміжного електрода гранично допустимих значень 1000; 500; 250 Ом на границях вимірів приладів відповідно 1000; 100; 10 Ом. Для вимірювання фактичного опору струмового допоміжного електрода досить поміняти місцями проводи, приєднані до затискачів I_1 (1) і I_2 (4) приладу типу МС-08 (М-416). Опір може бути знижено зволоженням ґрунту водою, розчином солі або кислоти в місцях розміщення допоміжних електродів.

Більш детально порядок вимірювань і випробувань описано у відповідній технічній літературі та в інструкціях до приладів.

У разі розміщення ЗП на території великого промислового підприємства, на підстанції з великою кількістю ПЛ або за інших обставин, які не дають змоги розміщувати струмовий і потенційний допоміжні електроди поблизу території об'єкта в зоні, вільній від підземних металевих комунікацій, що мають електричний зв'язок із ЗП, опір ЗП допускається визначати за допомогою розрахунку.

Для проведення розрахунку опору ЗП необхідно знати:

- реальне розташування штучних і природних заземлювачів ЗП;
- характеристики ґрунту, в якому розташовано об'єкт, визначені за методом вертикального електричного зондування.

3.4 Вимірювання опору заземлення заземлювальних пристроїв із застосуванням вимірювальних електродів

Двоточковий (спрощений) метод. Цей альтернативний спосіб застосовується, коли доступно інше заземлення, крім вимірюваного.

У густонаселених районах, де важко знайти місця для установки двох допоміжних електродів, можна застосувати двохточковий метод. Виміри показують опір двох пристроїв заземлення, включених послідовно. Тому друге заземлення повинне бути надійним, настільки, щоб його опором можна було

знехтувати. Необхідно, також, виміряти опір провідника і відняти його з отриманого вимірювання.

Двохточковий метод не такий точний, як 3 - точковий метод (метод 62%), оскільки залежить від відстані між вимірюваним електродом і допоміжним заземленням (невикористовуване заземлення або водопровідна труба). Цей метод не можна використати як стандартний. Скоріше – це вихід з положення в густонаселених районах (рисунок 3.3).

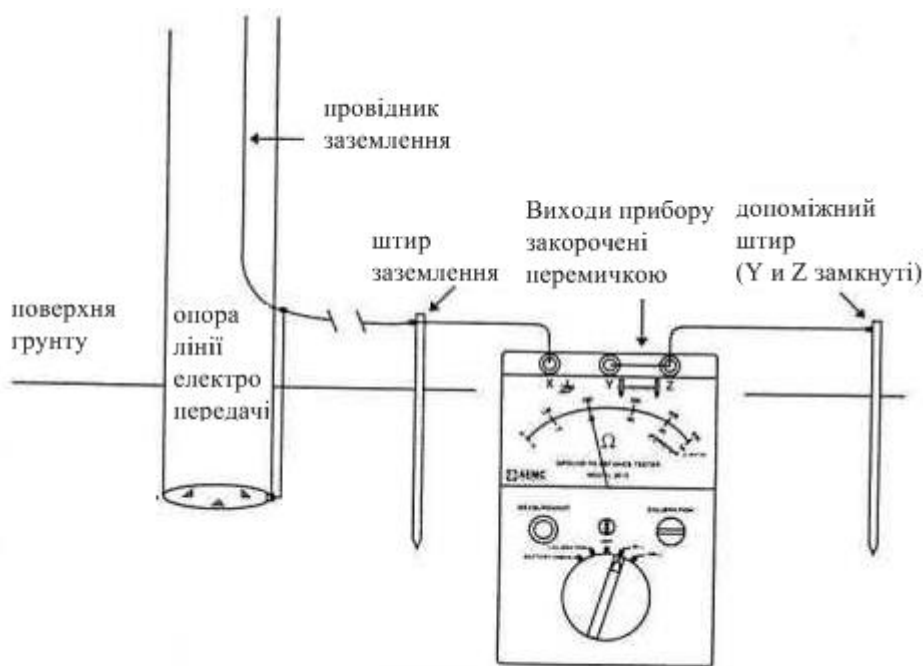


Рисунок 3.3 – Стандартний метод вимірювання опору ЗП

Метод падіння потенціалу, 3-х точкова схема. Вольтметром вимірюється напруга між штирями X , Y і амперметром - струм, що протікає між штирями X і Z (рисунок 3.4).

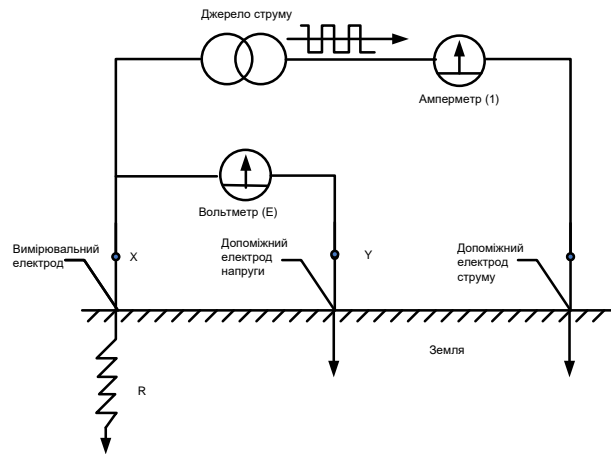


Рисунок 3.4 – Метод падіння потенціалу, 3 – точкова схема.

Точки X, Y і Z відповідають точкам X, P і C приладу, що працює за 3 - точковою схемою або точками Z₁, P₂ і Z₂ приладу, що працює за 4 - точковою схемою.)

Користуючись формулами закону Ома $E = R I$ або $R = E / I$, можна визначити опір заземлення електрода R. Наприклад, якщо $E = 20$ У и $I = 1$ А, то:

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

При використанні вимірювача заземлення не буде потрібно робити ці обчислення. Прилад сам згенерує необхідний для виміру струм і прямо покаже значення опору заземлення.

Положення допоміжного електрода при вимірюванні. Для точного виміру опору заземлення допоміжний електрод струму Z необхідно розмістити досить далеко від вимірюваного електрода для того, щоб потенціал на допоміжному електроді напруги Y вимірювався за межами зон ефективного опору електрода, що перевіряє як, X, так і допоміжного електрода струму Z.

Найкращим способом перевірити, чи перебуває електрод за межами зон ефективного опору інших електродів – це провести вимірювання, міняючи його місце розташування. Якщо допоміжний електрод напруги Y перебуває в зоні ефективного опору одного з інших електродів (або одночасно в обох зонах, якщо зони перекриваються), то при зміні його місця розташування покази приладу будуть значно мінятися і у цьому випадку не можна точно визначити опір заземлення (рисунок 3.5).

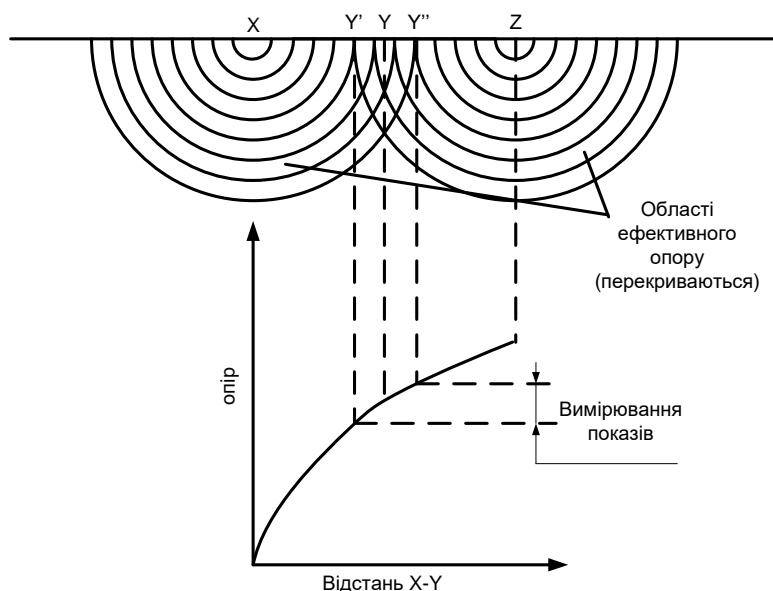


Рисунок 3.5 – Положення допоміжного електрода струму Z при вимірюванні

З іншого боку, якщо допоміжний електрод напруги Y розташований за межами зон ефективного опору (рисунок 4.6), то при його переміщенні покази значно змінюватись не будуть.

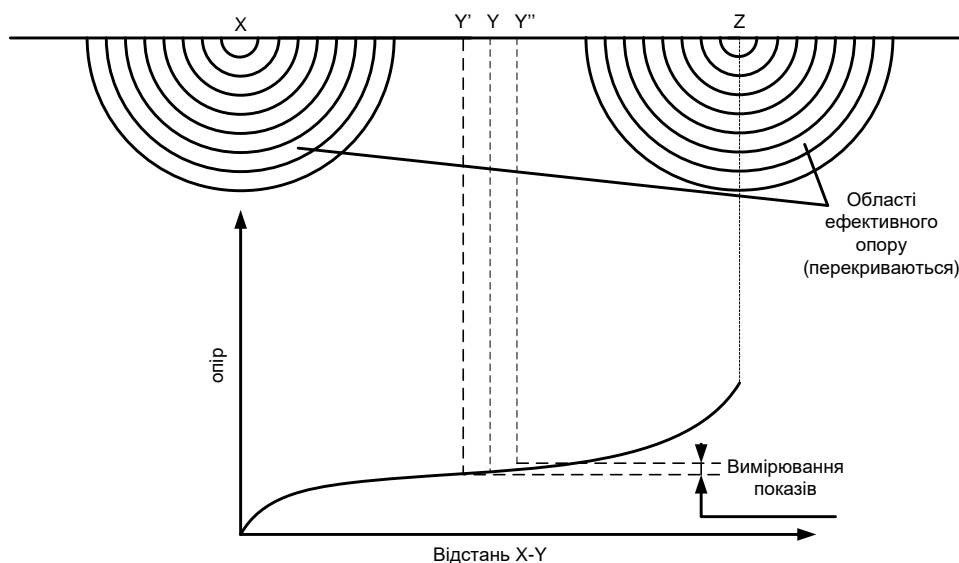


Рисунок 3.6 – Положення допоміжного електрода напруги Y при вимірюванні

Це і є найкраща оцінка опору заземлення електрода X. Часто відстань від цієї ділянки до електрода, що перевіряється, дорівнює приблизно 62% відстані від допоміжного електрода струму до перевірного електрода.

Вимірювання опору заземленого електрода (метод 62-х відсотків). Метод 62% був прийнятий після вивчення графіків і практичних перевірок. Цей метод забезпечує найбільшу точність за умови однорідності ґрунту.

Цей метод застосовується, якщо перевіряється пристрій, який заземляється, і два допоміжних електроди можна розташувати в лінію. Заземлення складається з одного штиря, однієї труби, однієї пластини і т.п., як показано на рисунку 3.7.

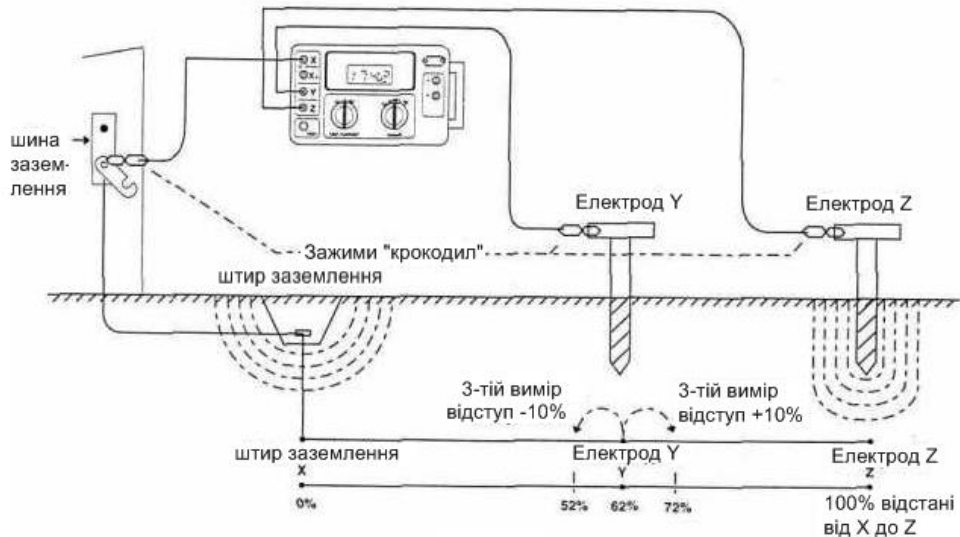


Рисунок 3.7 – Застосування методу 62 – х відсотків

На рисунку 4.8 показано, що зони ефективного опору (група концентричних поверхонь навколо штирів) перевірконого електрода, X і допоміжного електрода струму Z перекриваються.

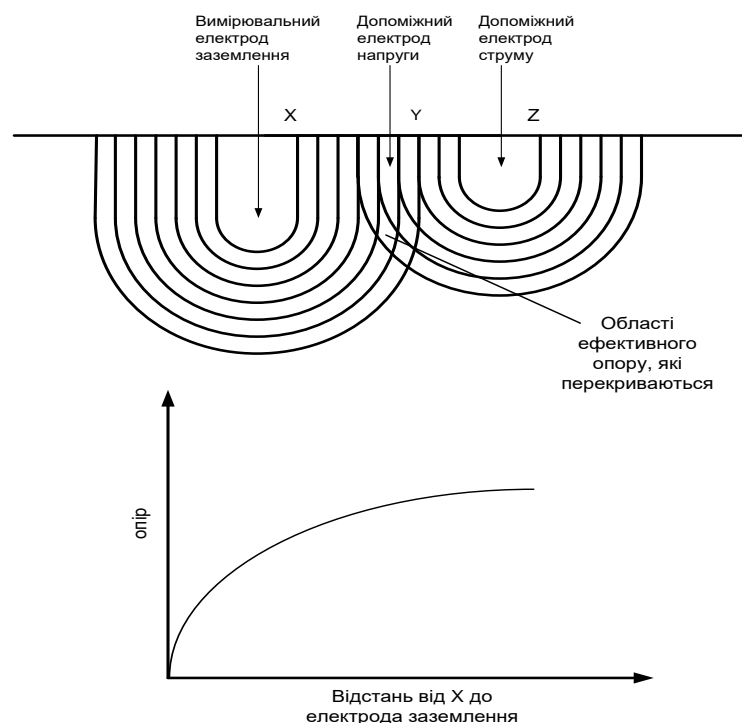


Рисунок 3.8 – Зони ефективного опору перекриваються

Якщо перемістити електрод потенціалу Y у напрямку до електроду X або Z і повторити вимірювання, то покази будуть сильно розрізнятися і вимірне значення буде неприйнятно далеким від істинного опору заземлення. Области ефективного опору перетинаються і це призводить до того, що вимірне значення опору зростає в міру віддалення електроду X від перевірного електроду Y .

Тепер розглянемо рисунок 3.9, на якому електроди X і Z віддалені на достатню відстань для того, щоб зони ефективного опору електродів не перетиналися. Якщо тепер побудувати графік опору залежно від відстані між електродами X і Y , можна побачити, що різниця між опором ліворуч і праворуч від точки 62% (відносна відстань від Y до X) прийнятно мала. Звичайно ця різниця вимірюється у відсотках від вимірюваної величини: $\pm 2\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ і т.д.

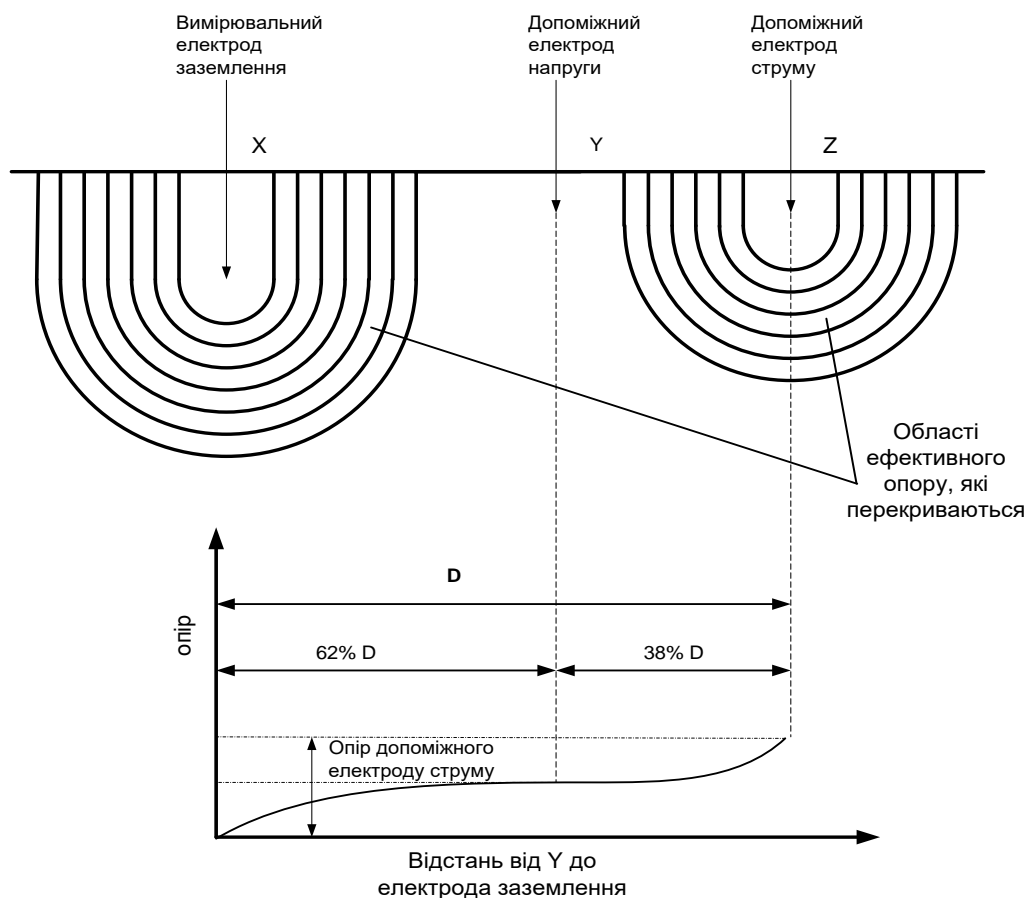


Рисунок 3.9 – Зони ефективного опору не перекриваються

Не можна назвати одне на всі випадки значення відстані від допоміжного електрода струму Z до перевірного електрода X, оскільки значення залежить від довжини і діаметра перевірного електрода, однорідності ґрунту і, особливо, від розмірів ефективних областей опору електродів. Однак, нижче дано приблизне значення цієї відстані для електрода діаметром 1 дюйм при однорідному ґрунті (для діаметра 0,5 дюйма потрібно зменшити відстань на 10%, для діаметра 2 дюйми – збільшити відстань на 10%).

Таблиця 5.3 – Відстань до допоміжних електродів для методу 62%

| Відстань до допоміжних електродів для методу 62% | | |
|--|-------------------------------|-------------------------------|
| Глибина заземлення перевірного 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 із застосуванням струмових кліщів (наприклад, приладом СА6415).

Це новий унікальний метод виміру опору заземлення. Він дозволяє проводити вимір без відключення кола заземлення. Крім того, перевага методу в тому, що він дозволяє вимірювати загальний опір пристрою заземлення, включаючи опір з'єднань у колі заземлення.

Теоретичні основи методу. Звичайно, провідник заземлення електромережі загального призначення можна представити схемою, показаною на рисунку 3.10 або еквівалентною схемою, показаною на рисунку 3.11.

Будь-який заземлювальний пристрій в електричній системі, що має безліч точок з'єднання із землею, може бути схематично представлений у вигляді електричного кола, що складає з ряду простих контурів (рисунок 3.10).

Коли іспитова напруга E за допомогою спеціального трансформатора, розміщеного в головці приладу, прикладається до заземлювального стрижня (провідник з опором R_x), то по ланцюзі починає протікати результуючий струм I .

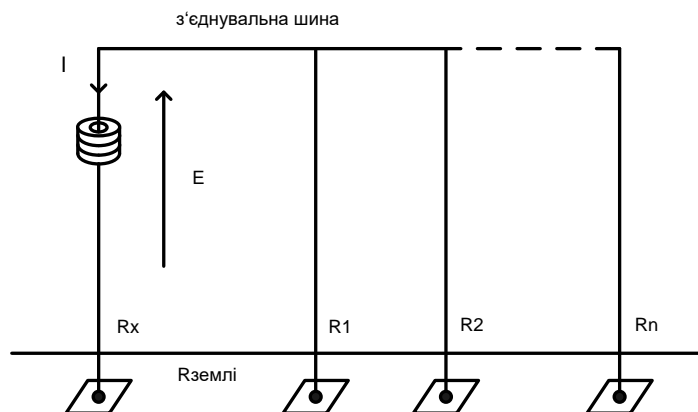


Рисунок 3.10 – Схема для вимірювання опору заземлювальних пристроїв із застосуванням струмових кліщів

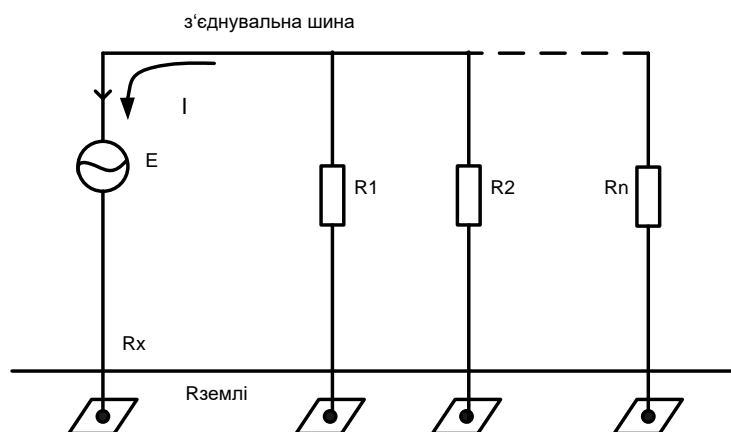


Рисунок 3.11 – Еквівалентна схема для вимірювання опору заземлювальних пристроїв із застосуванням струмових кліщів

Струм створюється спеціальним трансформатором, підключеним через підсилювач потужності до джерела напруги з постійною амплітудою й частотою.

У моделях приладів СА 6410/12/15 генератор напруги з постійною частотою 2,4 кГц генерує напруга E , а результуючий струм I уловлюється прийомною котушкою, розташованої також у вимірювальній головці приладу.

Вимірюваний сигнал реєструється синхронним детектором, підсилюється селективним підсилювачем і фільтрується, коли рівняється в компараторі з опорним сигналом, перетвориться аналогово-цифровим перетворювачем і відображається на Жк-моніторі.

Селективний підсилювач застосовується для очищення (фільтрації) корисного сигналу від сигналів із частотою мережі й від високочастотних шумів і перешкод.

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

Знаючи величину E (задається генератором) і I (вимірюється) можна обчислити R_x контуру (ця величина й відображається на екрані приладу). Фактично, опір контуру R_x контуру складається з наступних величин:

- R_x - шукане значення опору;
- $R_{\text{землі}}$ - величина, значення якої звичайно набагато менше 1 Ома;
- R_1, R_2, \dots, R_n - пренебрежимо малий опір паралельно з'єднаних провідників, що поєднують окремі заземлителі в заземлювальний контур;
- $R_{\text{з'єднувальної шини}}$ - (величина, значення якої, звичайно набагато менша 1 Ом)

Таким чином, шуканий опір заземлювального контуру дорівнює сумі 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 наведені приклади вимірювання опору заземлення реальних об'єктів у типових ситуаціях.

Вимірювання опору заземлення трансформатора, змонтованого на опорі лінії електропередачі (стовпова трансформаторна підстанція). Вимір виконують у наступній послідовності (рисунок 3.12):

захопіть кліщами провідник заземлення й виміряйте струм у провіднику.

Примітка: кліщі повинні перебувати на електричному шляху від нейтралі системи або провідника заземлення до штиря або штирів (залежно від виконання).

Максимальное значення струму дорівнює 30 А. Якщо значення струму перевищує 30 А, вимір опору заземлення неможливо. Припиніть вимір у цьому випадку, зніміть прилад СА 6415 з даної точки і продовжуйте вимір в інших точках.

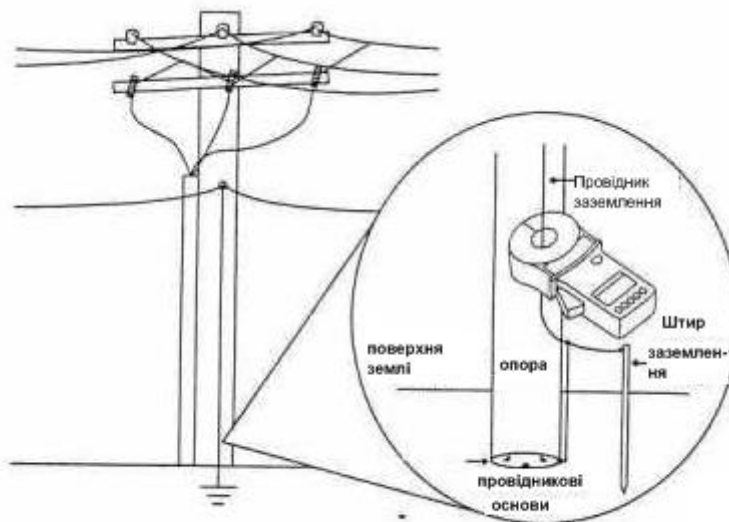


Рисунок 3.12 – Вимірювання опору заземлення трансформатора

Якщо виміряний у колі заземлення струм не перевищує допустимого, виберіть режим “?” приладу і прочитайте результат виміру в омах. Вимірюване значення включає не тільки опору системи заземлення, але і включає опір контакту нейтралі зі штирем і всіма з’єднаннями між нейтраллю і штирем.

Зверніть увагу, що на рисунку 3.12 заземлення забезпечується торцем стовпа і заземленим штирем. Кліщі необхідно підключати вище точки з’єднання провідників від торця стовпа і від штиря, щоб виміряти загальний опір заземлення обох заземлювачів.

Велике значення опору може бути викликано: поганим заземленням штиря; відключеним провідником заземлення; більшим опором контактів або місць зрощування провідника.

Несучі стійки фундаментів електроустановки і опор ліній електропередачі. Знайдіть провідник заземлення біля фундаменту стійки. Помітьте, що існує багато конфігурацій. Будьте обережні при визначенні

провідників заземлення. На рисунку 3.13 показана одна стінка на бетонному фундаменті із зовнішнім провідником заземлення. Точка підключення кліщів повинна перебувати вище місця електричного з'єднання частин системи заземлення, що може бути виконано у вигляді групи штирів, пластин, витків або елементів фундаменту.

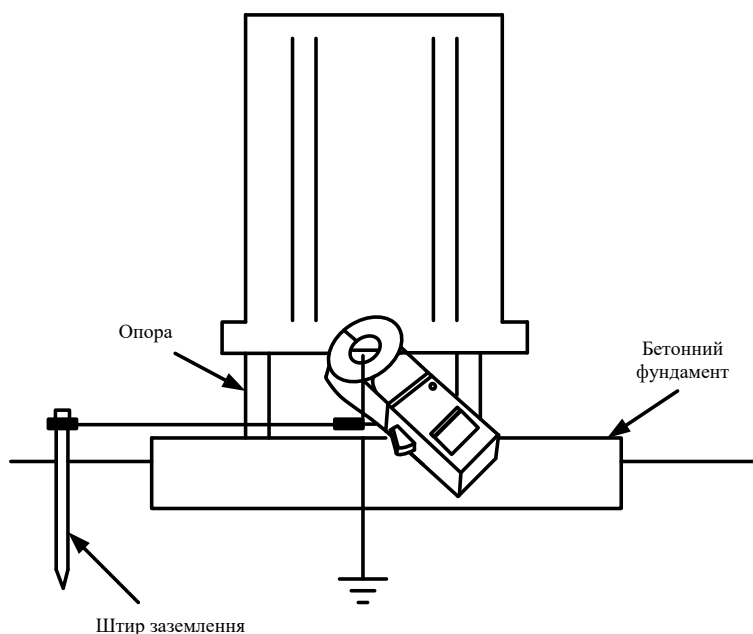


Рисунок 3.13 – Стінка на бетонному фундаменті із зовнішнім провідником заземлення

3.5 Особливості методики вимірювань опору заземлювального пристрою ВРП підстанції

Вимірювання опору заземлення трансформатора, встановленого на майданчику. Слід визначити і порахувати всі штирі заземлення (зазвичай є один штир). Якщо штир знаходиться усередині огорожі (рисунок 4.14).

Якщо є єдиний штир заземлення й він перебуває усередині огороження, то для виміру варто підключитися до провідника відразу після контакту провідника зі штирем. Часто, від затискача на штирі повертається до нейтралі або усередину огороження кілька провідників.

У багатьох випадках, найкращий вимір можна одержати за допомогою кліщів 3710 або 3730, підключених безпосередньо до заземленого штиря.

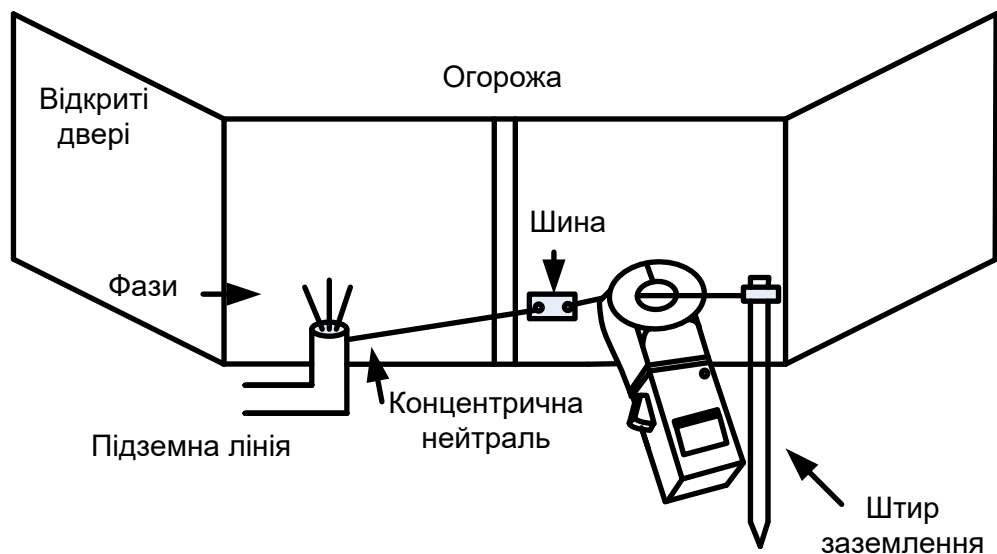


Рисунок 3.14 – Штир знаходиться усередині огорожі

Штир також може розташовуватися за межами огорожі (рисунок 3.15):

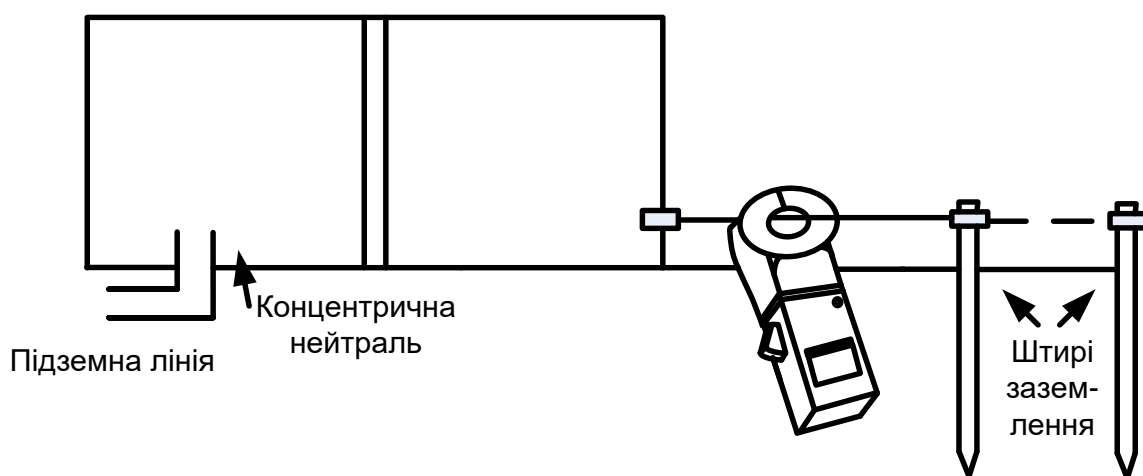


Рисунок 3.15 – Штир знаходиться за межами огорожі

При цьому вимірюється винятково опір пристрою заземлення. Підключайте кліщі тільки в тій точці, де є єдиний шлях для струму, що тече в нейтраль.

Звичайно, якщо ви одержали дуже низьке значення опору, те це означає, що ви підключилися до петлі й вам належить перемістити крапку виміру ближче до штиря. На рисунку 3.15 штир заземлення поза огородженням. Щоб одержати правильний результат, виберіть точку підключення кліщів, як показано на цьому

малюнку. Якщо усередині огороження є кілька штирів у різних кутах, треба визначити, як вони підключені, щоб правильно вибрати крапку виміру.

3.6 Вимірювання опору контактів в з'єднаннях заземлювального пристрою з заземленою установкою

Провідність провідника заземлення можна виміряти, включивши його між двома входами вимірювального приладу (рисунок 3.16)

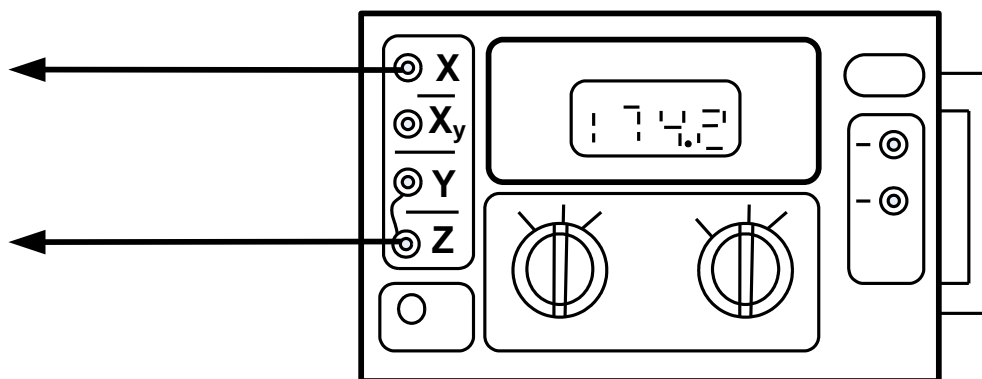


Рисунок 3.16 – Прилад для вимірювання опору контактів в з'єднаннях заземлювального пристрою з заземленою установкою

3.7 Вимірювання опору між заземленою установкою та елементами заземленої установки

Захопіть кліщами провідник заземлення і змійте струм в провіднику.

Кліщі повинні знаходитися на електричному шляху від нейтралі системи або провідника заземлення до штиря або штирів (залежно від виконання).

Максимальне значення струму рівне 30 А. Якщо значення струму перевищує 30 А, вимірювання опору заземлення неможливе. Припиніть вимірювання в цьому випадку, зніміть прилад СА 6415 з даної крапки і продовжте вимірювання в інших точках.

Якщо виміряний в колі заземлення струм не перевищує допустимого, виберіть режим “?” приладу і прочитайте результат вимірювання в омах. Зміряне значення відповідає не тільки опору системи заземлення, але і включає

опір контакту нейтралі з штирем і всіх з'єднань між нейтраллю і штирем.

3.8 Вимірювання напруги дотику

Вимірювання напруги дотику в електроустановках, виконаних згідно з нормами на напругу дотику.

Першою причиною для вимірювання напруги дотику є необхідність оцінити безпеку персоналу й захист устаткування від високої напруги. Однак, у деяких випадках ступінь електричної безпеки можна оцінювати з різних точок зору.

Періодичні виміри опору пристрою заземлення у вигляді електрода або грати електродів рекомендуються в наступних випадках:

- коли пристрій заземлення у вигляді електрода або грати відносно малий і його зручно відключати;
- коли є підозра, що йде корозія електрода, викликана низьким опором ґрунту і гальванічних процесів;
- коли пробій на землю поблизу від пристрою заземлення, що перевіряє, малоймовірний.

Вимірювання напруги дотику є альтернативним способом визначення безпеки й рекомендується в наступних випадках:

- коли неможливо фізично або по економічних міркуваннях відключати заземлення для того, щоб зробити вимір.
- коли можна чекати пробоїв на землю поруч із перевіряє заземленням, що, або поруч із устаткуванням, що підключено до перевіряє заземленням, що.
- коли “слід” устаткування зрівняємо з розміром заземлення, що підлягає перевірці. (“слід” - це контур тієї частини устаткування, що стикається із землею.)

Ні вимірювання опору заземлення методом падіння потенціалу, ні вимірювання напруги дотику не говорять про здатності провідника заземлення витримати більші струми витоку із провідника фази на провідник заземлення.

Потрібно інший тест із використанням великого струму для того, щоб це перевірити.

Для вимірювання напруги дотику застосовується 4-нагострений тестер заземлення. У процесі вимірювання прилад генерує в землі невелику напругу, що імітує напругу несправності неподалік від перевіряємої точки на землі. Прилад показує значення струму у вольтах на ампер, що протікає при цьому в ланцюзі заземлення. Відображене на екрані значення потім множиться на максимальну величину струму, очікуваного в землі, щоб обчислити напругу дотику даної установки для гіршого випадку.

Наприклад, якщо при перевірці системи з максимальним очікуваним струмом несправності 5000 А, прилад показав значення 0,100, то напруга дотику буде дорівнює 500 У.

Вимір напруги дотику схоже на метод падіння потенціалу тим, що так само вимагає установки допоміжних електродів у землю або на її поверхню. Але відстань між допоміжними електродами буде інша.

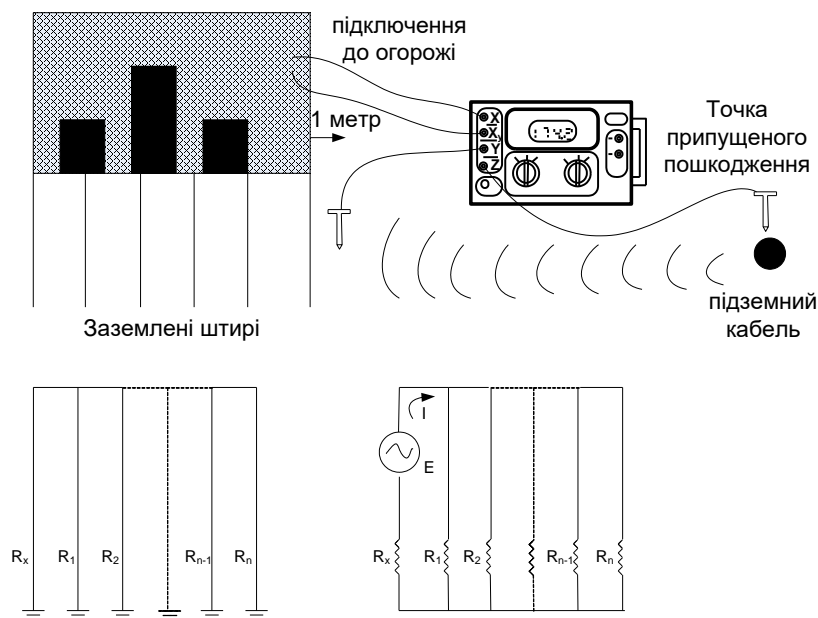


Рисунок 3.17 – Вимірювання напруги дотику

Розглянемо наступний приклад. Нехай ізоляція зображеного на рисунку підземного кабелю була пробита недалеко від зображеної підстанції. У землі з'являться струми, викликані аварією, які потечуть до пристрою заземлення

підстанції, створюючи різницю потенціалів. Ця напруга може бути небезпечною для здоров'я, і навіть життя, персоналу, що перебуває на даній ділянці землі.

Щоб приблизно виміряти напругу дотику для даної ситуації, виконаєте наступні дії. Включите кабелі між огороженням підстанції й крапками Z_1 і P_1 4-крапкового тестера заземлення. Установите електрод у землі в крапці, де можна чекати пробій кабелю й підключите електрод до виводу Z_2 прилади. Установите в землю ще один електрод на лінії між першим електродом і точкою підключення до огороження на відстані одного метра (або витягнутої руки) від місця підключення до огороження й підключите цей електрод до крапки P_2 прилади. Включите прилад, виберіть діапазон 10 ма й зніміть вимір. Помножьте його на максимально можливий у випадку аварії струм.

Установлюючи електрод, підключений до виводу P_2 прилади, у різні місця навколо огороження, що примикають до несправної лінії, можна одержати карту зміни потенціалу.

Напруга дотику в електроустановках, в яких ЗП виконано за нормами на напругу дотику (у мережах з великими струмами КЗ), вимірюється при приєднаних природних заземлювачах. Напругу дотику необхідно вимірювати в контрольних точках, для яких ці значення визначено за допомогою розрахунку під час проектування. З метою накопичення інформації в базі даних для діагностики стану ЗП рекомендується провадити вимірювання напруги дотику також на робочих місцях (у цих місцях в момент дотику персоналу до обладнання та конструкцій можуть відбутись КЗ) та на інших потенційно небезпечних місцях.

Для вимірювання напруги дотику використовуються прилади типу ПИНП або ЗКО-200 або інші прилади, які мають дозвіл на застосування, або вимірювальний комплекс серії КДЗ-1У.

Під час вимірювання напруги дотику імітується протікання струму замикання через заземлене обладнання та токовий допоміжний електрод, а напруга дотику вимірюється між місцем розміщення ніг людини і точкою його можливого дотику до обладнання (рисунок 3.18), яке має ушкодження,

порушення ізоляції і т.ін.

Вимірювана напруга коригується з урахуванням опору тіла людини ($R_{\text{п}}$ 1кОм для установок вище 1 кВ з глухозаземленою нейт-раллю, у приладах типу ЗКО-200 і ПИНП такий резистор вбудовано) і опору основи (місце під пластиною, яка імітує стопи ніг людини).

Опір основи рекомендується визначати для кожної точки вимірювання. Опір основи вимірюється мегаомметром.

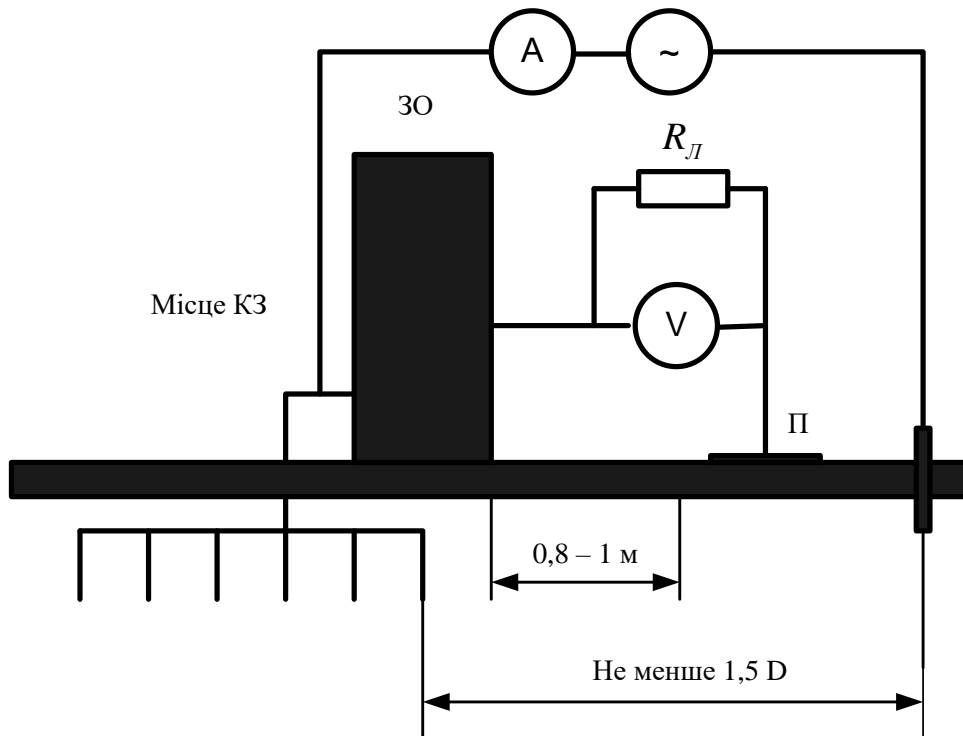


Рисунок 3.18 – Схема вимірювальних кіл під час визначення напруги дотику на робочому місці

Пластина (потенційний допоміжний електрод), яка імітує стопи ніг людини, має розмір 25 см х 25 см, навантажується і розміщується приблизно на відстані 1 м від обладнання (рисунок 3.19). Основу під пластиною потрібно вирівняти і зволожити.

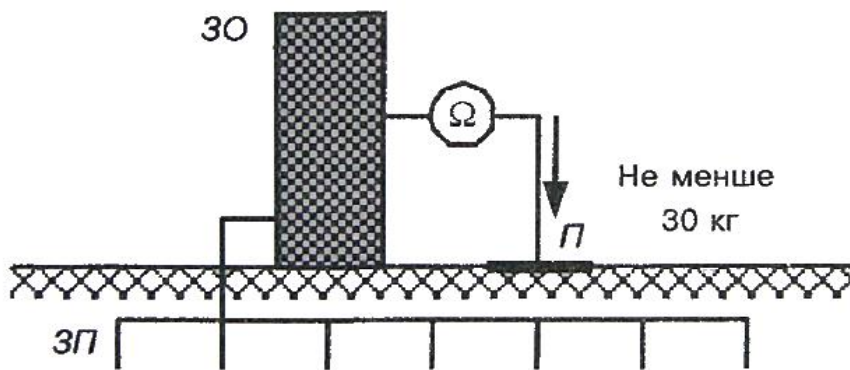


Рисунок 3.19 – Схема вимірювання опору основи

Напруга дотику обчислюється 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 дорівнює $I_{\text{вим}}$, В;

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

На точність вимірювань можуть значно впливати сторонні струми в землі (блукаючі струми, а також зумовлені робочим режимом електроустановки струми, які стікають із заземлювача в землю). Тому під час вимірювання необхідно з'ясувати наявність сторонніх струмів у землі, вжити, за можливістю, заходів до їх зменшення (наприклад, вимкнути електрозварювання) або забезпечити напругу на заземлювачі від вимірювального струму, принаймні, у 10 разів більшу, ніж напругу, зумовлену сторонніми струмами.

Напругу завад слід визначати за показаннями вольтметра V при вимкненому джерелі живлення вимірювального кола.

Провідники струмового і потенційного кола, виводи $^2_1(1)$ і $\text{А}_1(2)$ приладів до заземленого обладнання потрібно підключати окремими струбцинами. Провідник токового кола приєднується до заземлювального спуску обладнання або його корпусу. Провідник потенційного кола приєднується до місця можливого дотику.

Потенційне коло від виводу \dot{A}_2 (3) приладу приєднується до пластини П. Вивід I_2 (4) приладу приєднується провідником до токового електроду і імітує токове коло, яке виникає під час замикання на землю.

Під час вимірювання на підстанціях 110 кВ і вище виводи \dot{A}_1 і \dot{A}_2 вимірювального приладу повинні бути зашунтовані резистором R_n 1 кОм (крім типів ЗКО-200 і ПНП).

Напругу дотику можна вимірювати і на неробочому місці (рисунок 5). При цьому провідник токового кола приєднується до заземлювального провідника найближчого обладнання, по якому може протікати струм КЗ.

Під час проведення вимірювань необхідно знати розподіл струмів КЗ на підстанції. Якщо більша частина струму КЗ повертається до нейтралі трансформатора підстанції, яка перевіряється, то токовим допоміжним електродом може служити нейтраль трансформатора. У протилежному випадку токовий допоміжний електрод необхідно виносити за межі підстанції не менше ніж на $1,5 - 2 D$ (D – найбільша діагональ підстанції). Опір токового допоміжного електрода, як правило, не повинен перевищувати опір випробуваного заземлювача більше ніж у 20 разів.

Для електроустановок напругою до 1 кВ із заземленою або ізольованою нейтраллю та вище ніж 1 кВ з ізольованою нейтраллю граничнодопустимі напруги дотику не повинні перевищувати напруги згідно з ГОСТ 12.1.038–82.

3.9 Вимірювання напруги кроку

Напругою кроку називається напруга між двома точками кола струму (різниця потенціалів точок дотику), розташованими одна від одної на відстані кроку, на яких водночас стоїть людина.

На рисунку 3.20 зображено визначення напруги між точками на поверхні землі (чи іншої основи, на якій стоїть людина) в зоні розтікання струму з одиничного заземлювача у вигляді півкулі. В цьому випадку напруга кроку буде

визначатися як різниця потенціалів φ_x і φ_{x+a} між двома точками на поверхні землі в зоні розтікання струму, які знаходяться на відстані x і $x+a$ від заземлювача і на відстані кроку одна від одної і на яких водночас стоїть людина. При цьому довжина кроку a приймається рівною 0,8 м. Таким чином, напруга кроку U_k , В, буде

$$U_k = \varphi_x - \varphi_{x+a} = I_h \cdot R_h = \varphi_3 \cdot \beta_1, \quad (3.6)$$

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

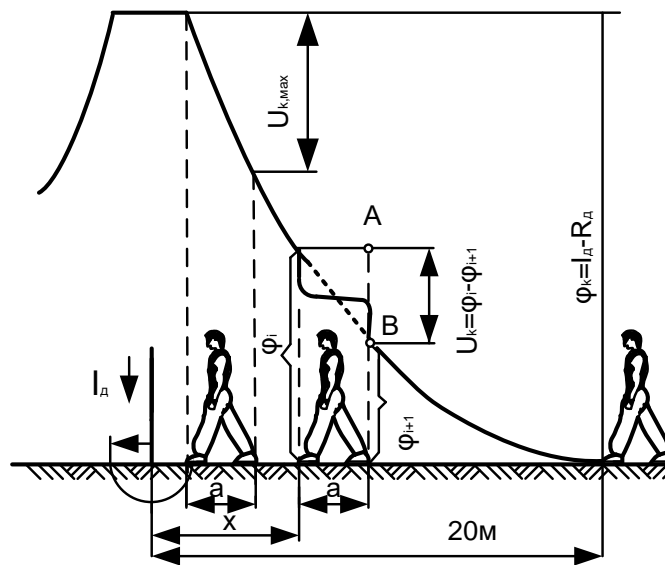


Рисунок 3.20 – Напруга кроку при одиночному заземлювачі у вигляді півкулі

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

$$\varphi_3 \cdot \beta_1 = I_h (R_h + R_{вз} + R_{осн}) = I_h \cdot R_{нов} = I_h \cdot R_h \cdot R_{нов} / R_h, \quad (3.7)$$

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

В свою чергу $I_h \cdot R_h = U_{кр}$.

Таким чином, вираз для напруги кроку з урахуванням спаду напруги на опорі взуття та опорі основи, на якій стоїть людина, згідно з (4.7) прийме вигляд

$$U_{кр} = \varphi_3 \cdot \beta_1 \beta_2, \quad (3.8)$$

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

$$\beta_2 = R_h / R_{нов} = R_h / (R_h + R_{вз} + R_{осн}). \quad (3.9)$$

3.10 Перевірка розташування горизонтальних, вертикальних заземлювачів та якості їх з'єднань

Заземлювальні елементи, які з'єднують електрообладнання із ЗП (заземлювачами), не повинні мати обривів і незадовільних з'єднань (контактів). Надійність контакту перевіряється ударом молотка.

Значення опору (наявність кола) таких заземлювальних елементів не нормується і звичайно становить 0,05 – 0,1 Ом. Наявність кола перевіряють вимірюванням опору вимірювачем опору заземлення типу Ф 4103-М1 або приладами інших типів аналогічного призначення (МС-08, М-416 і та ін.) або методом амперметра-вольтметра.

Один провід від приладу приєднують за допомогою самоочисної струбцини безпосередньо до заземлення, а другий – за допомогою самоочисної струбцини з ізолюючою ручкою до корпусу обладнання, який випробується.

Висновки:

1. Вимірювати опір ґрунту можна декількома методами: двоточковим або 3-х точковим. В більшості випадків найбільш точним є 4-точковий метод.
2. Під час вимірювань опору ЗП виходячи з умов безпеки необхідно застосовувати якомога меншу вимірювальну напругу.
3. Першою причиною для вимірювання напруги дотику є необхідність оцінити безпеку персоналу й захист устаткування від високої напруги. Однак, у деяких випадках ступінь електричної безпеки можна оцінювати з різних точок зору.

4 ДІАГНОСТУВАННЯ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

4.1 Вимірювання, що виконуються при діагностиці заземлювальних пристроїв електричних станцій і підстанцій.

При проведенні діагностики ЗП на електричних станціях і підстанціях повинно виконуватися такі вимірювання:

- напруги дотику на устаткуванні при імітації КЗ на землю;
- опору ЗП для струмів промислової частоти (напруга на ЗП);
- імпульсного опору ЗП устаткування (імпульсних перешкод в колах вторинної комутації при імітації ВЧ складовій струму короткого замикання) і громовідводів;
- опору з'єднань заземлювача з елементами, що заземляються;
- розподіли потенціалів і струмів по ЗП при імітації КЗ на землю і удару блискавки в громовідводи.

У відповідності з вимогами проводяться вимірювання для визначення виконавчої схеми ЗП: трас прокладки заземлювачів і заземлювальних провідників (штучних і природніх), глибини залягання, типу і перетину і заземлювачів.

Додатково виконується вимірювання питомого опору ґрунту: залежність питомого опору ґрунту від глибини.

Також визначається ступінь корозії заземлювачів і заземлювальних провідників методом вибіркового розтину ґрунту.

По результатам вимірювань мають бути визначені найбільші можливі значення контрольованих параметрів, щоб порівняти їх з допустимими значеннями. Всі результати вимірювань мають бути перераховані до реальних струмів короткого замикання, імпульсних високочастотних струмів і нормованих струмів блискавки, а також до найбільш несприятливих кліматичних умов.

На підставі досвіду діагностики ЗП електричних станцій і підстанцій (більше 500 об'єктів класу напруги від 6кВ до 750кВ) можна стверджувати, що вимірювання на об'єкті дозволяють лише якісно оцінити стан ЗП (відносно більшості контрольованих параметрів). Достовірні чисельні результати діагностики виходять при застосуванні розрахунково-експериментальної методики. Причому, вимірювання переважно використовуються для тестування розрахунків.

При параметрів заземлювальних пристроїв варто враховувати:

- результати вимірювань на об'єкті, розрахункові струми короткого замикання (з урахуванням розвитку енергосистеми);
- час відключення короткого замикання (основного, резервного захисту, час роботи ПРВВ);
- відомості про кліматичні умови і геологічні розрізи ґрунту;
- оперативна схема первинних кіл;
- характеристики силового устаткування.

За допомогою програм виконують розрахунок перехідних процесів в розгалуженій 3-мірній схемі заземлювального пристрою електромережевих об'єктів, що включає систему провідників в повітрі і ґрунті, при коротких замиканнях на землю і ударах блискавки.

При проведенні розрахунків повинні враховуватись:

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

В результаті розрахунків отримують розподіл потенціалів і струмів по елементах заземлювального пристрою, і визначають:

- опір заземлювального пристрою (напруга на ЗП);
- напруга дотику і кроку;

- напруга, що впливає на вторинні кабелі і устаткування;
- струми в екранах, броні і оболонках кабелів.

Для розрахунку напруги і струмів, що впливають на вторинне устаткування, можуть застосовуватися, наприклад, програми ОРУ-М, Parsiz, Контур, KWIK GRID, «Розрахунок заземлювальних пристроїв» фірми Safe Engineering Services technologies ltd.

Для розрахунку імпульсних перешкод можуть застосовуватися програми: Interferences, EMTP-RV, PisPice. MICROCAP. За допомогою програм виконують розрахунок перехідних процесів при КЗ і комутаціях в первинних колах. В результаті розрахунків визначають імпульсні струми в первинних колах і імпульсну напругу (струми) у вторинних колах.

4.2 Прилади для вимірювання, контролю та діагностування заземлювальних пристроїв

4.2.1 Прилад для вимірювань заземлювальних пристроїв

MRU-101 Вимірювач опору заземлювальних пристроїв, грозозахисту, провідників приєднання до землі і вирівнювання потенціалів.

Основні характеристики:

- вимірювання опору заземлювальних пристроїв трьох- і чотирьохполюсним методами;
- вимірювання питомого опору ґрунту методом Веннера з можливістю вибору відстані між вимірювальними електродами;
- можливість вимірювання багатократних заземлювальних пристроїв без розриву кола заземлювачів (із застосуванням струмовимірювальних кліщів);
- вимірювання опору двох- і чотирьохполюсним методами;
- висока перешкодостійкість ;
- висока точність;
- пам'ять 300 результатів вимірювань;
- передача даних в комп'ютер.



Рисунок 4.1 – MRU-101 Вимірювач опору заземлювальних пристроїв

Призначений для вимірювання опору заземлювальних пристроїв і питомого опору ґрунту. Завдяки сучасній конструкції прилад характеризується хорошими ергономічними показниками і широкими вимірювальними функціями (зокрема аналіз умов, отриманих результатів, що негативно впливають на точність). Прилад MRU-101 укомплектований струмовимірювальними кліщами для проведення вимірювань заземлювальних пристроїв без роз'єднання заземлювачів. Унікальна конструкція котушок з вимірювальними проводами дозволяє розмотувати дріт із збереженням контакту із зондом.

ВИСНОВКИ

1. Земля - це провідник електричного струму величезних розмірів. Все електроустаткування (ЕОУ) встановлене на землі і це дозволяє широко використовувати її в роботі електроустановок (ЕУ).

2. Заземлення - навмисне електричне з'єднання якої-небудь точки мережі, електроустановки або устаткування із заземлювальним пристроєм.

3. В залежності від призначення заземлення поділяється на грозозахисне, робоче і захисне.

4. ЗП повинні задовольняти вимоги забезпечення експлуатаційних режимів роботи електроустановок, а також вимоги забезпечення електробезпечності обслуговуючого персоналу і захисту електроустановок.

5. На електростанціях і підстанціях корозійний стан заземлювального пристрою перевіряється вибірково з розкриттям ґрунту в місцях, де заземлювачі найбільше схильні до корозії, а також поблизу нейтралей силових трансформаторів, автотрансформаторів, реакторів, короткозамикачів, розрядників, обмежувачів перенапружень.

6. Вимірювати опір ґрунту можна декількома методами: двоточковим або 3-х точковим. В більшості випадків найбільш точним є 4-точковий метод.

7. Під час вимірювань опору ЗП виходячи з умов безпеки необхідно застосовувати якомога меншу вимірювальну напругу.

8. Першою причиною для вимірювання напруги дотику є необхідність оцінити безпеку персоналу й захист устаткування від високої напруги. Однак, у деяких випадках ступінь електричної безпеки можна оцінювати з різних точок зору.

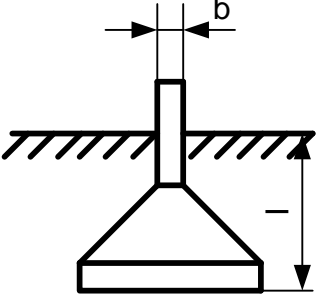
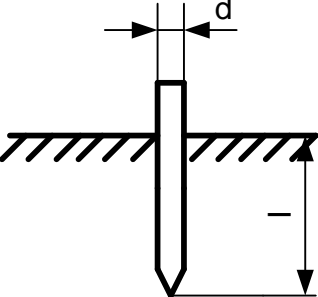
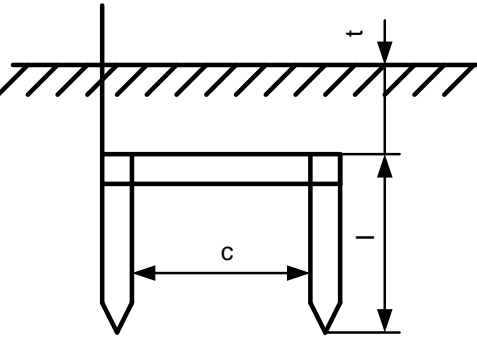
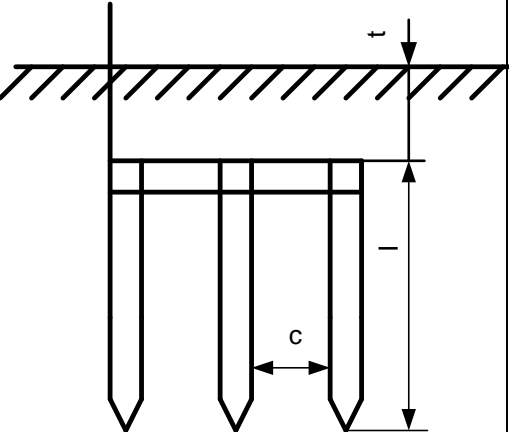
9. По результатам вимірювань ЗП мають бути визначені найбільші можливі значення контрольованих параметрів, щоб порівняти їх з допустимими значеннями. Всі результати вимірювань мають бути перераховані до реальних струмів короткого замикання, імпульсних високочастотних струмів і нормованих струмів блискавки, а також до найбільш несприятливих кліматичних умов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Матвійчук В.А., Штуць А.А. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти галузі знань 14 «Електрична інженерія» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форм навчання. Вінниця: ВНАУ, 2022. 98 с.
2. Василега П. О. Електропостачання. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. - 415 с.
3. Матвійчук В. А. Рубаненко О. Є. Гунько І.О. Діагностування електрообладнання. Вінниця: ВНАУ. 2020. 138 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: http://sop.zp.ua/norm_praop_40_1-1_07-01_03_ru.php.

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. Про охорону праці : Закон України. Київ : Юрінком Інтер, 2018. 44 с.
15. PANSINI, A. J.: "Electrical distribution engineering' (GALLET. G.: French distribution systems; basic features and practices', ZEE Proc. C.. 133, pp. 327-383
16. Hung DQ, Mithulananthan N, Bansal RC. Інтеграція PV і BES блоків в комерційні системи розподілу з урахуванням втрат енергії та стабільності напруги. Appl Energy 2014; 113: 1162–70.
17. 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.
18. Лежнюк П.Д., Матвійчук В.А., Рубаненко О.Є. Технології наукових досліджень. - Вінниця: ВНАУ, 2015. – 186 с.
19. Матвійчук В. А., Рубаненко О. Є., Стаднійчук І. П. Електротехнології в АПК : навчальний посібник. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 272 с.
20. Сіманджоранг Р., Міура Й., Ісе Т., Сугімото С., Фудзіта Х. Застосування типу серії Перетворювач ВТВ для мінімізації циркуляційного струму та балансуєної потужності трансформатори в контурних розподільних лініях. У: Конференція ІЕЕЕ з енергетики перетворення. Нагоя; 2007. стор. 997– 1004.
21. Трухільо К. Л., Веласко Д., Гуарнізо Дж. Г., Діас Н. Розробка та реалізація ВСЦ для приєднання до електричних мереж, використовуючи метод ідентифікації система через простір станів для обчислення контролерів. Appl Energy 2011; 88 (9): 3169–75.
22. Навчальний посібник Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П.Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015.

Додаток - Види конструкцій заземлювальних пристроїв

| Заземлювач | Рисунок | Розміри, м |
|---|--|---|
| <p>Залізобетонний підніжник</p> |  | <p>$a^3 = 1,8$ $b^3 = 0,4$ $l^3 = 2,2$</p> |
| <p>Залізобетонна свая</p> |  | <p>$d = 0,25-0,4$ $l^3 = 5$</p> |
| <p>Сталевий двострижневий: полоса розміром 40x4 мм стрижні діаметром $d=10-20$ мм</p> |  | <p>$t^3 = 0,5$ $l = 3-5$ $c = 3-5$</p> |
| <p>Сталевий трьохстрижневий: полоса розміром 40x4 мм, стрижні діаметром $d= 10-20$ мм</p> |  | <p>$t^3 0,5$ $l = 3-5$ $c = 5-6$</p> |