

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторної роботи

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ОПОРУ ЗАЗЕМЛЮВАЧА РОЗТІКАННЮ
ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ»**

з дисципліни «Охорона праці»

для студентів денної і заочної форми навчання
усіх спеціальностей

Харків
НТУ «ХП»
2025

Методичні вказівки до лабораторної роботи «Дослідження опору заземлювача розтіканню електричного струму» з дисципліни «Основи професійної безпеки та здоров'я людини» для студентів денної і заочної форми навчання усіх спеціальностей / уклад. І. О. Мезенцева, В. В. Макаренко. – Харків : НТУ «ХП», 2025. – 16 с.

Укладачі: І. О. Мезенцева
 В. В. Макаренко

Рецензент О. О. Кузьменко

Кафедра безпеки праці та навколишнього середовища

Мета роботи – дослідження опору заземлювача розтіканню електричного струму в залежності від параметрів і конструкції заземлювача; визначення коефіцієнта використання групового заземлювача.

1. Загальні положення

1.1. Терміни, визначення та принцип дії захисного заземлення

Заземлювальним пристроєм називається сукупність електрично-з'єднаних між собою заземлювача і заземлювальних провідників, включаючи елементи їх з'єднання.

Заземлення – виконання електричного з'єднання між визначеною точкою системи, установки або обладнання і заземлювальним пристроєм.

Захисним заземленням називається навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин електрообладнання, які можуть опинитися під напругою при замиканні на корпус і з інших причин (рис. 1.1).

Завдання захисного заземлення – усунення небезпеки ураження струмом у випадку дотику до корпусу та інших струмоведучих металевих частин електроустановки, що опинилися під напругою.

Захисне заземлення застосовують:

- в мережах напругою до 1000В з ізольованою нейтраллю;
- в мережах напругою понад 1000 В як з ізольованою, так і з заземленою нейтраллю.

Принцип дії захисного заземлення – зниження напруги між корпусом, який виявився під напругою, і землею до безпечного значення.

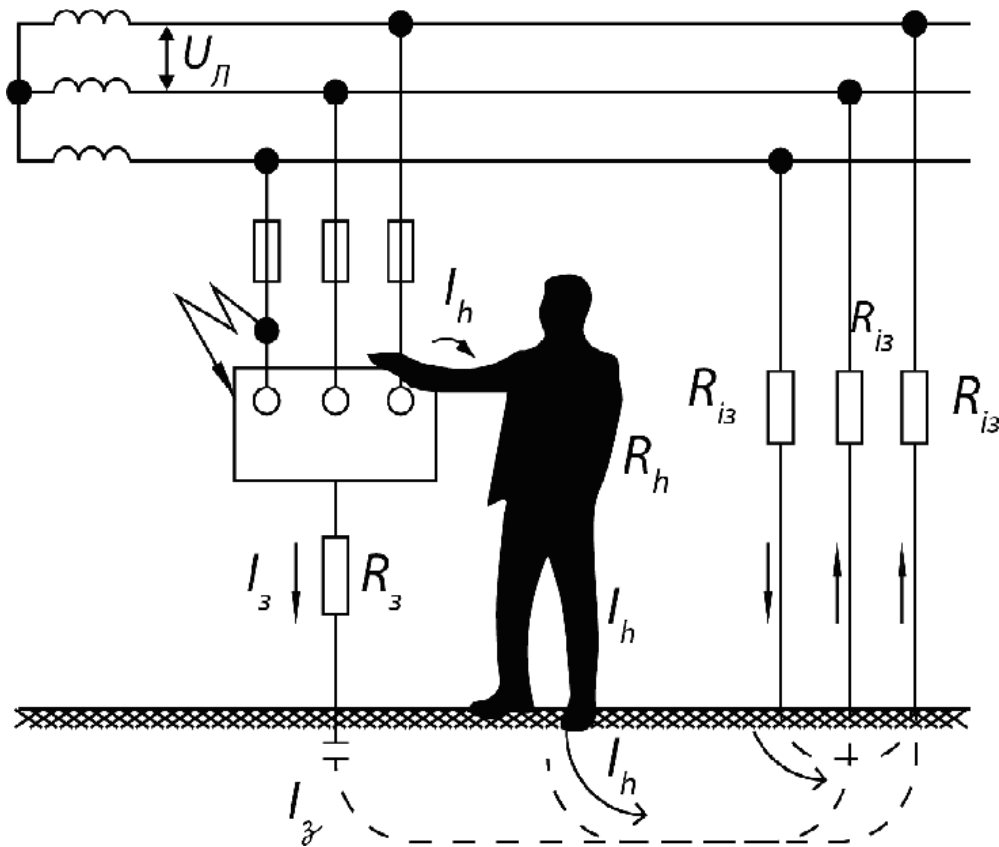


Рисунок 1.1 – Схема захисного заземлення: R_3 – опір заземлення;
 U_L – лінійна напруга, В; I_3 – сила струму заземлення, мА;
 I_h – сила струму дотику людини, мА; R_{iz} – опір ізоляції, Ом

Електричні характеристики заземлювачів залежать від наступних факторів:

- структури землі, в якій знаходиться заземлювач, її властивостей і стану;
- виду елементів, з яких складається заземлювач (стержень, кутова сталь, труби, штаба), їх геометричних розмірів та кількості;
- схеми взаємного розташування електродів в ґрунті.

В якості заземлюючих провідників допускається використовувати різні металеві конструкції: ферми, шахти ліфтів, підйомників, сталеві труби електропроводок, відкрито прокладені стаціонарні трубопроводи різного призначення (крім трубопроводів горючих і вибухонебезпечних газів, каналізації і центрального опалення).

1.2. Штучні заземлювачі

Під штучними заземлювачами розуміють металеві електроди, які закладаються в землю для здійснення електричного зв'язку з нею.

Площа поверхні електрода обумовлює площу доторкання його до землі, через яку струм стікає в землю.

Збільшення довжини електрода істотніше впливає на зростання площі стикання з землею, ніж збільшення діаметра електрода. А відтак довжина електрода значно ефективніше знижує опір одиночного заземлювача розтіканню струму.

Найпоширенішими є розповсюджені вертикальні заземлюючі електроди з кутової сталі, стержнів і труб, що пояснюється такими їх перевагами:

а) можливістю проникнути в заглиблені шари землі, що забезпечує сприятливі умови для роботи заземлювача з урахуванням зміни температури і вологості;

б) достатньою механічною міцністю і можливістю механізувати їх заглиблення в ґрунт.

1.3. Коефіцієнт використання заземлювачів

Звичайно заземлювачі складаються з декількох, а іноді з дуже великої кількості електродів (труб, кутів, стержнів, штабів). Для того, щоб усі електроди заземлювача були використані такою ж мірою, як і одиночний електрод, необхідно, аби відстань між ними була достатньо велика. Тільки за цієї умови їх опір мало залежатиме від впливу сусідніх електродів. У дійсності відстань між електродами залежно від місця, де вони розташовані, роблять значно меншою з метою вирівнювання потенціалів на площадці, і, як наслідок, виникає взаємний вплив їх електричних полів, тобто накладання електричних полів окремих електродів при розтіканні струму замикання в землю.

Внаслідок накладання полів відбувається ніби зменшення діючого перерізу землі біля електрода і збільшення його опору розтіканню.

Чим більша кількість електродів у заземлювачі і чим менша відстань між ними, тим сильнішим буде їх взаємний вплив на збільшення опору (або зменшення провідності) заземлювача.

Відношення провідності Y заземлювача в цілому до суми провідностей окремих (однакових) електродів називається коефіцієнтом використання заземлювача і позначається η :

$$\eta = \frac{Y}{g_0 n} = \frac{R_{03}}{R_{\text{гp}} n}$$

де Y – провідність електрода, Ом^{-1} ; $R_{\text{гp}}$ – опір електрода, Ом ; g_0 – провідність одиночного електрода, Ом^{-1} ; R_{03} – опір одиночного електрода, Ом ; n – кількість електродів (штабів, стержнів тощо).

Коефіцієнт використання заземлювача, який містить групу електродів, завжди менше одиниці.

2. Лабораторна установка, прилади і методика вимірювань

Перш ніж почати виконання лабораторної роботи, необхідно ознайомитись з лабораторною установкою (рис. 2.1), що являє собою обладнання, яке моделює опір заземлювачів різних розмірів: одиночних заземлювачів (1–13) і різних конструкцій групових заземлювачів (14–20).

Одиночні заземлювачі 1–8 дозволяють дослідити зміну опору заземлювача залежно від довжини: $R_x = f(l)$; одиночні заземлювачі 9–13 – дослідити зміну опору заземлювача залежно від діаметра: $R_x = f(d)$. Заземлювачі 1–13 на практиці мають вигляд металевих стержнів (електроди), що заглиблені вертикально в землю (грунт).

За допомогою групових заземлювачів 14–20 вивчають як опір заземлювача змінюється залежно від відстані між електродами, їх кількості та взаємного розташування (в лінію, по контуру).

На практиці груповий заземлювач складається з кількох одиночних електродів, заглиблених в землю на визначеній відстані один від одного в лінію або по контуру і електрично-з'єднаних між собою паралельно металевим штабом шляхом зварювання.

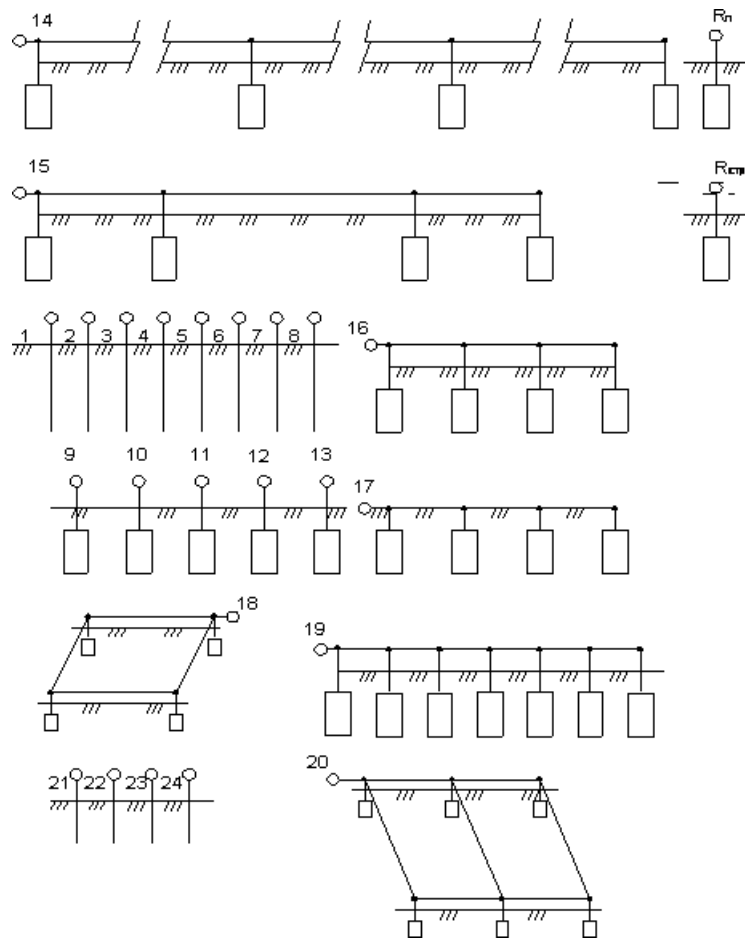


Рисунок 2.1 – Лабораторна установка (лицьова панель):

1–20 – заземлювачі, що випробуються; 21–24 – група заземлювачів для вимірювання питомого опору ґрунту; $R_{п}$ – допоміжний потенціальний заземлювач; $R_{стр}$ – допоміжний струмовий заземлювач

На практиці до зазначених вище заземлювачів навмисно електрично за допомогою заземлюючих пристроїв приєднуються будь-які частини електрообладнання (металеві корпуси електроустановок, нейтралі джерел електроенергії, блискавковідводи) з метою захисту людей та тварин від ураження електричним струмом, зниження напруги дотику при замиканні на корпус (захисне заземлення), забезпечення нормальної роботи електроустановок в різних режимах (робоче заземлення), відведення в землю зарядів статичної електрики і струму блискавки з пристроїв блискавкозахисту. Значення опору заземлювачів залежно від їх призначення нормується згідно з ПУЕ.

Опір заземлювача в даній лабораторній роботі досліджують за допомогою приладу М416. Для вимірювання опору заземлювача приладом М416 необхідно мати два допоміжні електроди (рис. 2.2, 2.3): потенціальний

R_{Π} (зонд) і струмовий $R_{\text{стр}}$, які під час підготовки схеми вимірювання на місцевості заглиблюють у землю на 0,5–0,7 м на тих відстанях, що показані на рисунках. Прилад установлюють якомога ближче до заземлювача, який випробовується.

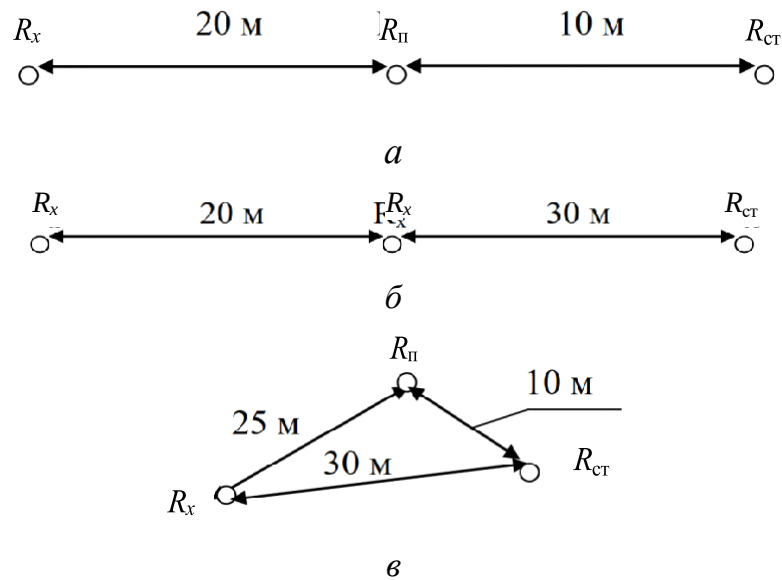


Рисунок 2.2 – Мінімальні відстані між одиночними заземлювачами і допоміжними електродами: *a*, *б* – променеві схеми; *в* – радіальна схема

Як допоміжні електроди використовують сталеві стержні (труби) діаметром не менше 0,5 см і довжиною 0,75–1 м.

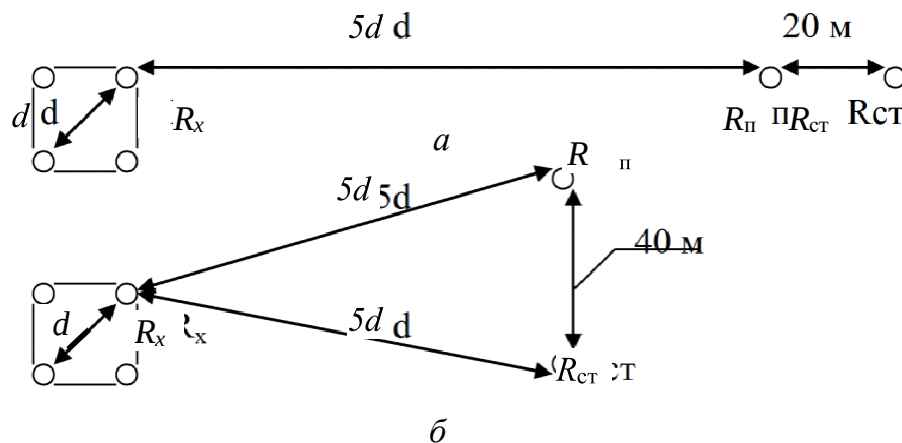


Рисунок 2.3 – Мінімальні відстані між контурним заземлювачем, який випробовується, і допоміжними заземлювачами:
a – променева схема; *б* – радіальна схема

У лабораторній установці відстані між заземлювачем R_x , який випробується, і допоміжними заземлювачами R_{Π} і $R_{ст}$ (див. рис. 2.1) прийняті умовно, з урахуванням виключення похибки при вимірюваннях.

Опір заземлювача вимірюють приладом М416 залежно від потрібної точності вимірювань. При вимірюванні опору $R_x < 5$ Ом застосовується трипроводова схема (рис. 2.4). У цьому разі в результат вимірювання входить опір проводу, який з'єднує затискувач 1 з опором R_x .

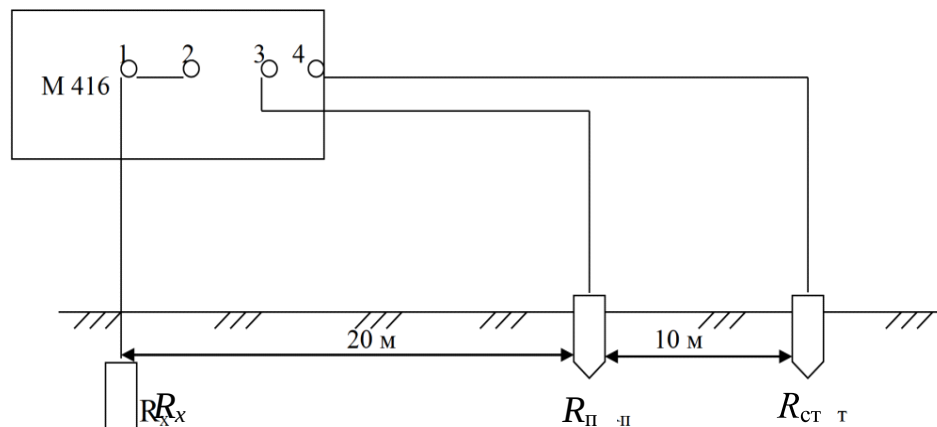


Рисунок 2.4 – Трипроводова схема вимірювання опору заземлювача

Параметри одиночних заземлювачів і відстань між електродами в групових заземлювачах наведені в табл. 2.1.

3. Вимірювання опору заземлювача за допомогою приладу М416. Компенсаційний метод

3.1. Підготовка приладу до роботи

Установити прилад на рівній поверхні якнайближче до заземлювача, який випробується. Відкрити кришку. Установити вимикач меж вимірювань 5 в положення «Контроль 5 Ω » (рис. 3.1), натиснути кнопку 7 вмикання схеми вимірювання й обертанням ручки 6 реостата «Реохорд» домогтись установлення стрілки 8 індикатора на нульову відмітку. На шкалі реохорда 9 у цей час повинно бути показання $5 + 0,3$ Ом. Затискувачі позначені на схемі (рис. 3.1) цифрами 1, 2, 3, 4.

Таблиця 2.1 – Характеристика заземлювачів лабораторної установки

Індекс (позиція) заземлювача	Тип заземлювача	Параметри заземлювачів		Відстань між елект- родами в груповому заземлювачі	Вимірюваний опір заземлю- вача R_x , Ом
		довжина, м	діаметр, $\text{м} \cdot 10^{-2}$		
1	Одиночний	10	5	—	
2	-, -	5	5	—	
3	-, -	3	5	—	
4	-, -	2,5	5	—	
5	-, -	2,0	5	—	
6	-, -	1,5	5	—	
7	-, -	1,0	5	—	
8	-, -	0,5	5	—	
9	-, -	3	1	—	
10	-, -	3	2	—	
11	-, -	3	3	—	
12	-, -	3	5	—	
13	-, -	3	10	—	
14	Груповий з 4 електродів	3	5	40	
15	-, -	3	5	9	
16	-, -	3	5	6	
17	-, -	3	5	3	
18	Груповий з 4 електродів, розташованих за контуром	3	5	3	
19	Груповий з 6 електродів, розташованих у ряд	3	5	3	
20	Груповий з 6 електродів, розташованих за контуром	3	5	3	
R_{Π}	Допоміжний потенціальний	1	1	—	—
$R_{\text{стр}}$	Допоміжний струмовий	1	1	—	—

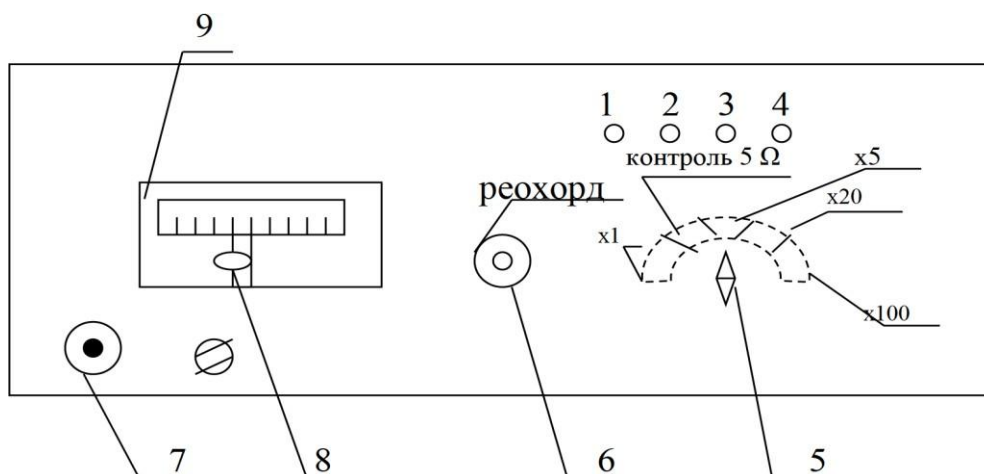


Рисунок 3.1 – Вимірювач опору заземлювання М416

3.2. Порядок роботи з приладом М416

Опір заземлювача слід вимірювати по схемі (див. рис. 2.1). У даній лабораторній роботі опір заземлювачів, що випробовуються, R_x є більшим 5 Ом, отже, вимірювання виконуються за трипроводовою схемою з похибкою в допустимих межах.

Вимірювання слід проводити в такому порядку:

- перемикач меж вимірювання 5 (див. рис. 3.1) установити в положення «x1» («x5», «x20», «x100»);
- при натиснутій кнопці 7 обертанням ручки «Реохорд» домогтись максимального наближення стрілки індикатора (гальванометра) до нуля;
- результат вимірювання повинен дорівнювати добутку показання шкали реохорда на множник «x1» («x5», «x20», «x100»).

3.3. Визначення коефіцієнта використання групового заземлювача

Лабораторна установка дозволяє досліджувати зміни опору групового заземлювача залежно від відстані між електродами, їх кількості і конструкції групового заземлювача (в лінію, по контуру).

При дуже великих відстанях між електродами групового заземлювача (заземлювач 14, див. рис. 2.1, табл. 2.1), практично більше 5 Ом, опір R_∞ всієї групи з n однакових за довжиною і діаметром електродів (див. рис. 2.1, табл. 2.1) визначають так само, як при паралельному їх з'єднанні:

$$R_{\infty} = \frac{R_o}{n}, \quad (3.1)$$

де R_o – опір розтіканню одного електрода як одиночного заземлювача, Ом;
 n – кількість електродів у груповому заземлювачі.

При відстані між електродами менше 40 м (заземлювачі 15–20, див. рис. 2.1, табл. 2.1) відбувається взаємодія полів розтікання струму, в результаті чого на ділянках землі, по яких проходять струми кількох електродів, збільшується густина струму i , таким чином, на цих ділянках посилюється падіння напруги. Це явище рівноцінне збільшенню опору розтіканню окремих електродів і групового заземлювача в цілому. Отже, дійсне значення опору групового заземлювача R_{15-18} при відстанях між електродами менше 40 м (див. табл. 2.1) можна записати так:

$$R_{гр} = \frac{R_{\infty}}{\eta}; \quad \eta \leq 1 \quad (3.2)$$

де η – коефіцієнт, що характеризує збільшення опору заземлювача, тобто коефіцієнт використання групового заземлювача.

Таким чином, коефіцієнт використання заземлювача η визначається як відношення дійсної провідності групового заземлювача $1/R_{гр}$ до найбільшої можливої його провідності $1/R_{\infty}$, коли мають місце нескінченно великі відстані (практично більше 40 м) між його електродами:

$$\eta = \frac{R_{\infty}}{R_{гр}}. \quad (3.3)$$

З урахуванням виразу (3.1)

$$\eta = \frac{R_o}{n R_{гр}}. \quad (3.4)$$

Оскільки довжина і діаметр електродів у групових заземлювачах 14–20 є однаковими за довжиною і діаметром з одиночними заземлювачами 3 та 12 і знаходяться вони в однорідному ґрунті, то їх опори як одиночних заземлювачів будуть такими:

$$R_o = R_3 = R_{12}.$$

Тоді вираз (3.4) можна записати у вигляді

$$\eta = \frac{R_o}{n R_{\text{гр}}} = \frac{R_3}{n R_{\text{гр}}} = \frac{R_{12}}{n R_{\text{гр}}},$$

де R_3, R_{12} – вимірний опір відповідно 3-го і 12-го одиночних заземлювачів;
 $R_{\text{гр}}$ – вимірний опір групового заземлювача; n – кількість електродів у груповому заземлювачі за рис. 2.1 або табл. 2.1.

4. Порядок виконання роботи

1. Вивчити устрій та принцип підключення до лабораторної установки вимірювача М416.
2. Вивчити схему вимірювань на лабораторній установці.
3. Виміряти опір заземлювачів 1–8, дані занести в табл. 2.1, побудувати графік залежності $R_x = f(l)$, d прийняти сталим.
4. Виміряти опір заземлювачів 9–13, дані занести в табл. 2.1, побудувати графік залежності $R_x = f(d)$, l прийняти сталим.
5. На підставі аналізу результату вимірювань та отриманих графіків знайти область оптимальних розмірів одиночних заземлювачів для практичного використання з урахуванням витрати металу і витрат на улаштування заземлювача.
6. Виміряти опір групових заземлювачів 14–20, дані занести в табл. 2.1 і для кожного заземлювача визначити коефіцієнт використання, за виразами 3.4 і 3.5. Проаналізувати зміну коефіцієнта залежно від відстані між електродами, їх кількості і конструкції групового заземлювача.
7. Скласти звіт та зробити висновки по виконаній роботі.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Використані прилади та обладнання.
3. Методика вимірювання опору заземлювача за допомогою приладу М416. Навести схему.
4. Заповнити табл. 2.1 даними вимірювань R_x , Ом.
5. Побудувати графік залежності $R_x = f(x)$ і $R_x = f(d)$.
6. Визначити коефіцієнт використання групових заземлювачів.
7. Висновки.

Контрольні запитання

- 1 Охарактеризуйте залежність опору одиночного заземлювача від його довжини і діаметра. Проаналізуйте збудовані графіки.
2. Назвіть область оптимальних параметрів одиночних заземлювачів, що рекомендовані до використання на практиці (за результатами лабораторної роботи).
3. Яким чином опір групового заземлювача залежить від кількості вертикальних електродів, відстані між ними і конструкції (за контуром, в лінію)?
4. Охарактеризуйте коефіцієнт використання групового заземлювача, розкрийте його фізичну суть.

Список джерел інформації

1. Основи професійної безпеки та здоров'я людини : підручник / В. В. Березуцький [та ін.] ; ред. В. В. Березуцький ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : НТУ "ХПІ", 2018. – 553 с.
2. Основи охорони праці: Навчальний посібник: / За ред. проф. В.В. Березуцького .–Харків: Факт, 2005. – 480 с.
3. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. Наказ від 21.07.2017 № 476.

Для нотаток