

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Кафедра «Охорони праці і навколишнього середовища»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторної роботи № 4

за темою: **«ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА СТАНУ
ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ»**

з дисципліни «Основи охорони праці»

(для студентів усіх напрямків підготовки
усіх форм навчання)

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри
«Охорони праці і
навколишнього середовища»
Протокол № 1 від 27.08.2019 р.

Київ 2019

Лабораторна робота № 4 з дисципліни «Основи охорони праці»

Тема: «Дослідження та оцінка стану електробезпеки на робочих місцях»

Мета роботи: вивчення засобів захисту від небезпеки поразки електричним струмом при однофазному замиканні на корпус устаткування, а також придбання практичних навиків по вимірюванню і оцінці опору захисного заземлення електричних машин і механізмів.

І. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1. Загальні положення

На промислових підприємствах використовується велика кількість різного електроустаткування, яке створює небезпеку поразки електричним струмом обслуговуючого персоналу, оскільки у багатьох випадках його дія є несподіваною.

Для захисту від поразки електричним струмом всі робочі місця, зв'язані з використанням електроенергії, повинні відповідати вимогам електробезпеки за ГОСТ 12.1.030-82.

У даній лабораторній роботі розглядається методика аналізу електробезпеки на робочих місцях, де використовують електроустановку, яка живиться від трифазної, трипровідної електричної мережі з незаземленою нейтраллю.

До чинників електробезпеки в цих мережах відносяться: хороша електрична ізоляція електричної мережі від «землі» і навколишніх предметів, а також вживання захисного заземлення корпусів устаткування.

За встановленими нормами необхідна величина опору ізоляції фаз повинна бути не менше 500 кОм. Вона досягається за рахунок вживання ізолюючих матеріалів (гума, пластмаси, фарфор, скло та ін.).

Під впливом вологи, агресивної пари, пилу, вібрації та інших чинників, опір ізоляції може знижуватися аж до нуля (коротке замикання на корпус), що призводить до витоків струму на корпуси устаткування і появи на їх поверхнях небезпечної напруги (потенціалу).

Для зниження цього потенціалу, корпуси устаткування та інших струмопровідних предметів навмисно електрично сполучають із землею, тобто заземлюють.

Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання з землею чи її еквівалентом металевих частин обладнання, що не проводять стру-

му, але можуть опинитися під напругою.

Призначення захисного заземлення – захист від небезпеки ураження електричним струмом при дотику до металевих корпусів електрообладнання, яке внаслідок порушення електричної ізоляції опинилося під напругою. Принцип дії захисного заземлення полягає в зниженні до безпечних значень напруги дотику, яка обумовлена замиканням на корпус.

Заземлюючий пристрій – сукупність заземлювачів (електродів, які з'єднані між собою і знаходяться в безпосередньому контакті з землею) і заземлюючих дротів (провідників, які з'єднують заземлені частини електроустановки із заземлювачем). У якості заземлювачів використовують зариті до ґрунту металеві предмети (труби, рейки, арматуру залізобетонних конструкцій та інші об'єкти).

Згідно з ПУЕ (правила улаштування електроустановок) опір захисного заземлення у будь-який час року не повинен перевищувати:

0,5 Ом – в установках напругою більше 1000 В;

4 Ом – в установках напругою до 1000 В;

10 Ом – в установках потужністю 100 кВт і менше і в установках до 1000 В з ізольованою нейтраллю.

Ефективність захисного заземлення тим вище, чим нижче його опір.

За наявності напруги (потенціалу) на корпусі устаткування виникає небезпека поразки електричним струмом.

Поразка електричним струмом відбувається в результаті дотику людини до токоведучих частин, що знаходилися під напругою. Величина струму, що проходить через тіло людини, залежить від режиму нейтралі мережі, активного і ємкісного опору між фазними дротами та землею, а також схеми включення людини в ланцюг струму.

Встановлено, що шлях проходження струму тілом людини грає істотну роль в результаті поразки. Існує 15 характерних шляхів струму в тілі людини (петлі струму). Найпоширеніші 3 петлі струму: рука-рука; рука-нога; нога-нога, голова-нога, голова-рука.

Ступінь ураження людини електричним струмом визначається силою струму, що пройшов через тіло людини і є визначальним чинником при дії на організм людини (табл. 1).

Дія струму залежить також від опору тіла людини та коливається від 500 до 100000 Ом, визначається станом шкіри, розміром поверхні зіткнення, густиною контакту, тривалістю дії та величиною прикладеної напруги.

Характер дії струму на організм людини

Величина струму, мА	Змінного (50 Гц)	Постійного
0,5-1,5	Початок відчуттів: слабе свербіння, пощипу-	Не відчувається
2 – 4	Відчуття розповсюджується на зап'ястку; злегка зводить м'язи	Не відчувається
5 – 7	Больові відчуття посилюються у всій кисті; судоми; слабкі болі у всій руці до передпліччя	Початок відчуття; слабкий нагрів шкіри під електродами
8 – 10	Сильні болі і судоми у всій руці, включаючи передпліччя. Руки важко відірвати від електродів.	Посилення нагріву
10–15	Болі у всій руці, які ледве витримуються. Руки неможливо відірвати від електродів. Із збільшенням тривалості протікання струму болі посилюються.	Більше посилення нагріву під електродами і в прилеглий області шкіри.
20–25	Сильні болі. Руки паралізуються миттєво, відірвати їх від електродів неможливо. Дихання затруднено.	Ще більше посилення нагріву шкіри, відчуття внутрішнього нагріву. Незначні скорочення м'язів рук.
25 – 50	Дуже сильний біль в руках і грудях. Дихання дуже затруднено. При тривалій дії може наступити параліч дихання або ослаблення серцевої діяльності з втратою свідомості.	Сильний нагрів, болі і судоми в руках. При відриві рук від електродів виникають сильні болі.
50 – 80	Дихання паралізується, через декілька секунд порушується робота серця. При тривалій дії може наступити фібриляція серця.	Дуже сильний поверхневий і внутрішній нагрів. Сильні болі в руці і в області грудей. Руки неможливо відірвати від електродів через сильні болі при відриві.
90 – 100	Фібриляція серця через 2-3 с, ще через декілька секунд – параліч дихання.	Та ж дія, виражена сильніше. При тривалій дії – параліч дихання.
300	Та ж дія за менший час	Фібриляція серця через 2-3с; ще через декілька секунд – параліч дихання.

Залежно від класу приміщень по небезпеці поразки електричним струмом встановлюються величини безпечної напруги, що не вимагають спеціальних заходів захисту.

Для звичайних приміщень $U_{без.} = 36В$, для особливо небезпечних приміщень (вологість яких перевищує 75% та температура перевищує

25°C) $U_{без.} = 12В.$

Для запобігання поразок від електричного струму при випадковому дотику людини до нетоковедучих частин застосовують різні заходи захисту: заземлення, занулення, захисне відключення, вирівнювання потенціалів.

Найпоширенішим видом захисту є захисне заземлення.

2. Аналіз небезпеки ураження струмом в різних електричних мережах

2.1. Попадання людини в електричну мережу по схемі рука-рука

При дотику до двох фаз трифазної мережі (рис. 1) струм через людину по схемі рука-рука визначається лінійною напругою:

$$I_{л} = \frac{U_{л}}{R_{м}} = \frac{\sqrt{3}U_{\phi}}{R_{м}}, \quad (1)$$

де $U_{л} = \sqrt{3U_{\phi}}$ – лінійна напруга, В;

U_{ϕ} – фазна напруга, В;

$R_{м}$ – опір тіла людини, Ом (в розрахунках приймаємо 1000 Ом).

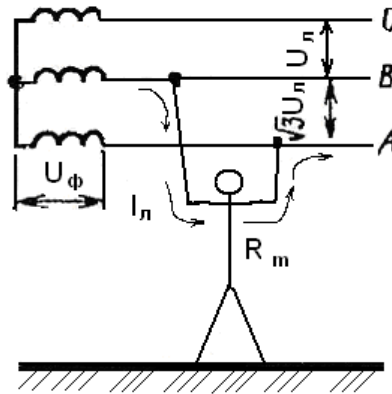


Рис. 1. Схема двофазного дотику до токоведучих частин

2.2. Дія струму на людину по схемі рука-нога

Якщо людина, стоячи на землі, торкається однією рукою фази (рис. 1), через тіло людини відбувається замикання на землю, оскільки людина, торкаючись дроту, сполучає його із землею. Тому струм, що проходить через людину, можна представити як струм замикання на землю $I_{з}$, тобто:

$$I_3 = I_{\text{люд.}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{люд.}}} \quad (2)$$

Цей випадок рівноцінний однофазному дотику до токоведучих частин.

2.3. Дотик до заземлених нетоковедучих частин, що виявилися під напругою

Нетоковедучі частини електроустановки, які при нормальному режимі роботи не знаходяться під напругою (трансформатори, випрямлячі, корпуси електроустановки та т. ін.), можуть виявитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції дротів, що підводять напругу.

Дотик до заземленого корпусу, що має контакт із однією з фаз, показаний на рис. 2а. Частина струму замикання на землю, що проходить через тіло людини, залежить від струму замикання на землю, будучи функцією опору заземлення, опору тіла людини, опору ґрунту на якому стоїть людина. В цьому випадку, струм, що проходить через тіло людини, можна оцінити по наступній спрощеній залежності:

$$I_{\text{люд.}} = \frac{U_{\phi}}{R_3 + R_{\text{люд.}} + R_p} \quad (3)$$

де R_p – опір розтіканню струму, що стоїть на підлозі (ґрунті).

$$R_p = \frac{3}{2} \cdot \rho, \quad (4)$$

де ρ – питомий опір ґрунту, на якому стоїть людина $\rho = 0$ – для металевієї підлоги та $\rho = 10^4$ Ом·м – для земляної підлоги.

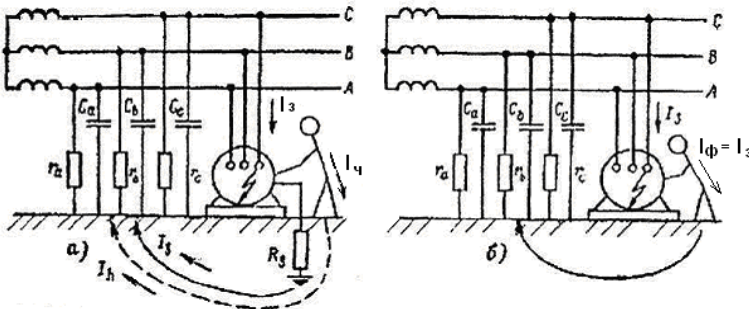


Рис. 2. Схема дотику до корпусу, що виявився під напругою: а – при справному заземленні; б – за відсутності заземлення.

Якщо людина торкається незаземленого корпусу, що виявився під напругою, то, як видно з рис. 2б, через людину проходить весь струм замикання на землю, визначається по формулі 2.

При оцінці небезпеки контакту людини з токоведучими частинами введено поняття *напруги дотику*, ця напруга виникає на всьому ланцюзі, куди входять опори частин тіла людини, взуття, підлоги або ґрунту, на якому стоїть людина.

Напруга дотику – напруга між двома точками ланцюга струму, яких одночасно торкається людина:

$$U_{\text{дот.}} = I_{\text{люд.}} \cdot R_{\text{люд.}} \quad (5)$$

Напруга дотику визначається як падіння напруги в опорі тіла людини.

3. Аналіз небезпеки електричних мереж

Аналіз небезпеки в електричних мережах зводиться до визначення сили струму, що проходить через тіло людини, величина якого залежить від:

- схеми дотику людини в ланцюг струму;
- напруги мережі;
- схеми самої мережі та режиму її нейтралі;
- величини опору ізоляції токоведучих частин відносно землі;
- величини ємкості токоведучих частин відносно землі.

Залежно від режиму нейтралі мережі та наявності нульового провідника розрізняються наступні трифазні мережі:

- чотирипровідні з ізолюваною нейтраллю;
- трипровідні з ізолюваною нейтраллю;
- чотирипровідні з заземленою нейтраллю;
- трипровідні з заземленою нейтраллю.

Ізолюваною нейтраллю називається нейтраль трансформатора або генератора, не приєднана до заземлюючого пристрою.

Глухозаземленою нейтраллю називається нейтраль трансформатора або генератора, приєднана до заземлюючого пристрою через малий опір.

«Правила устроювання електроустановок» передбачають вживання при напрузі до 1000 В лише двох з мереж: трипровідної з ізолюваною нейтраллю (рис. 3а) та чотирипровідної з глухозаземленою нейтраллю (рис. 3б).

Кожна з вказаних мереж характеризується своїми техніко-економічними, експлуатаційними показниками та різним ступенем електробезпеки, яка оцінюється величиною струму, що проходить через людину при дотику до однієї з фаз.

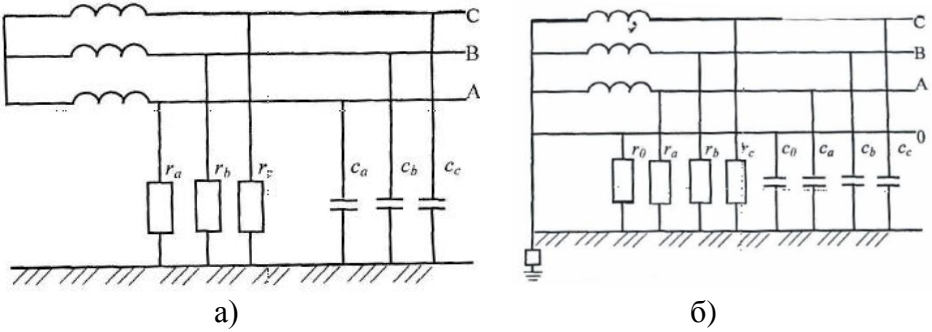


Рис. 3. Схеми трифазних електричних мереж напругою до 1000 В

4. Захисні заходи в електроустановках

4.1. Захисне заземлення

Металеві частини електроустановки можуть виявитися під напругою при пробі ізоляції та замиканні фази живлення на корпус. Якщо корпус не має контакту із землею, то дотик до нього рівносильний дотику до фази. Якщо корпус заземлений, то на корпусі виявиться напруга, залежна від опору заземлювача:

$$U_3 = I_3 \cdot R_3 \quad (6)$$

де I_3 – струм замикання на корпус;
 R_3 – опір заземлювача.

Людина, що торкається цього корпусу, потрапляє під напругу дотику.

$$U_{\text{дот.}} = U_3 \cdot \alpha, \quad (7)$$

де α – коефіцієнт напруги дотику.

Струм крізь людину при дотику до заземлених токоведучих частин, що виявилися під напругою, визначається виразом:

$$I_{\text{люд.}} = \frac{U_{\text{дот.}}}{R_{\text{люд.}}}; \quad (8)$$

з урахуванням виразу (8) одержимо:

$$I_{\text{люд.}} = I_3 \cdot \frac{R_3}{R_{\text{люд.}}} \cdot \alpha. \quad (9)$$

Коефіцієнт α залежить від відстані між місцем, на якому стоїть людина, та заземлювачем. Якщо людина стоїть над землею вище заземлювачей, $\alpha = 0$, то напруга дотику і струм, що проходить через людину, дорівнюють нулю. Якщо людина стоїть зовні поля розтікання (більше 20 м від заземлювача), $\alpha = 1$ і людина потрапляє під напругу дотику, рівну напрузі U_3 відносно землі.

З виразу (9): чим менше R_3 , тим менше величина струму, що пройшов крізь тіло людини.

Значення опору заземлювача R_3 , відповідно до «Правил улаштування електроустановок» (ПУЕ), для установок з напругою живлення до 1000 В повинно бути не більше 4 Ом, понад 1000 Вт – 10 Ом і так само залежать від потужності установок та виду нейтралі.

4.2. Захисне занулення

Занулення – навмисне електричне з'єднання металевих частин електричних установок, що не проводять струм, але можуть опинитися під напругою, з нульовим захисним провідником. Занулення застосовується в трифазних чотиридротових електричних мережах до 1000 В із глухозаземленою нейтраллю.

При зануленні корпус електроустановки сполучають з нульовим дротом (рис. 4).

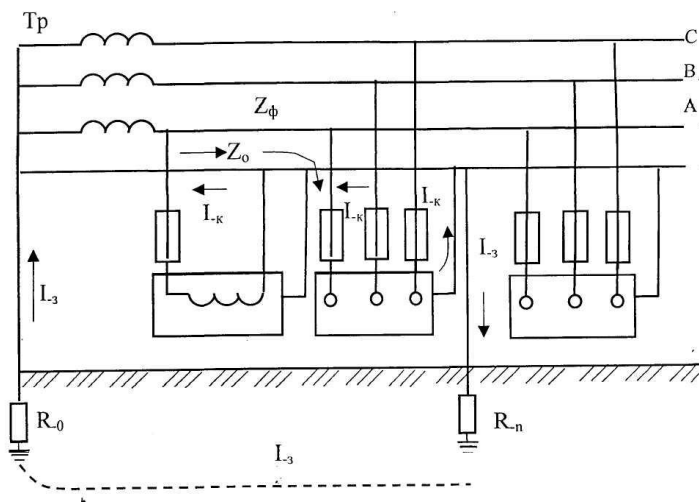


Рис. 4. Принципова схема занулення

Занулення використовується також при захисному відключенні, перетворюючи замикання на корпус в однофазне коротке замикання,

внаслідок чого спрацьовує автоматичний захист і відключається пошкоджена ділянка мережі. Крім того, занулення знижує потенціали корпусів, що з'являються у момент замикання на землю.

При замиканні на корпус при зануленні струм короткого замикання проходить через наступні ділянки ланцюга: обмотки трансформатора, фазний дріт, нульовий дріт та пристрій струмового захисту.

Величина струму короткого замикання визначається фазною напругою ланцюга короткого замикання:

$$I_{\kappa} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_m}{3} + Z_n}, \quad (10)$$

де U_{ϕ} – фазна напруга, В;

Z_m – опір обмоток трансформатора, Ом;

Z_n – опір петлі фаза – нуль, Ом.

Опір обмоток трансформатора залежить від потужності трансформатора, напруги та схеми з'єднання його обмоток.

Напруга на корпус відносно землі за наявності занулення визначається по формулі:

$$U_{\kappa} = I_3 R_n, \quad (11)$$

де R_n – опір заземлення нульового дроту при зануленні, Ом.

Струм замикання на землю визначається з виразу:

$$I_3 = \frac{U_{\kappa}}{R_o + R_n}, \quad (12)$$

де U_{κ} – падіння напруги на корпусі токоприймача, рівне падінню напруги на ділянці послідовно сполучених двох опорів;

R_o, R_n – опір заземлення нейтралі трансформатора (рис. 4).

Таким чином, повторне заземлення нульового дроту в період замикання фази на корпус знижує напругу щодо землі при зануленні електроустановки.

II. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

5. Порядок проведення лабораторної роботи

Лабораторна робота проводиться в два етапи. На першому проводиться оцінка величини напруги дотику, на другому – оцінка опору захисного заземлення.

5.1. Оцінка величини напруги дотику

1. Вибрати варіант завдання (додаток А) та вивести його на стенд за допомогою перемикача варіантів.

2. Зробити виміри опору ізоляції фазних дротів (по відношенню до клеми «земля»), $R_{\phi 1}$, $R_{\phi 2}$, $R_{\phi 3}$, (задано за варіантом) заповнити відповідні пункти протоколу виконання лабораторної роботи. Виміри опору ізоляції фазних дротів виконуються за допомогою мегомметра. Для вимірювання опору ізоляції одна з клем мегомметра (з поміткою «земля») приєднується за допомогою гнучкого провідника з клемою R_3 стенду, а інша клема (з поміткою $R_{\phi 1}$, або $R_{\phi 2}$, або $R_{\phi 3}$) підключається по черзі до фаз.

При вимірюванні обертають ручку (2) генератора мегомметра з швидкістю, достатньою для стабілізації положення індикаторної стрілки мегомметра в межах його шкали, по якій враховують величину вимірюваного опору в «МОм» або «кОм» залежно від положення перемикача 1.

3. Зробити вимір опору захисного заземлення R_x (задано за варіантом). Вимірювання опору захисного заземлення роблять за допомогою іншого приладу омметра.

Перед проведенням вимірювання перевіряють калібрування приладу відповідно до інструкції, приведеної на внутрішній поверхні його кришки. Після цього за допомогою гнучких дротів клеми омметра з'єднують з клемми стенду R_x , R_3 , R_b (схема з'єднання на кришці приладу). Далі перемикач (4) омметра встановлюють в робоче положення «х5», натискають пальцем кнопку (3) та, утримуючи її в цьому положенні, обертають реохорд (2), добиваючись установки індикаторної стрілки приладу напроти відмітки «0» його шкали. Відлік показників ведуть за рухомою шкалою омметра з урахуванням положення перемикача (4).

4. Розрахувати величину напруги дотику U_n , В.

За варіантом заданий режим роботи електроустановки – «нормальний» або «аварійний» тому розрахунок U_n ведемо залежно від цього чинника.

а) розрахунок напруги дотику в «нормальному» режимі роботи електроустановки, тобто за наявності захисного заземлення:

$$U_{n.\phi} = \varphi_k \cdot \alpha, \quad (13)$$

де α – коефіцієнт напруги дотику, вибирати залежно від варіанту;
 φ_k – потенціал на корпусі обладнання, В

$$\varphi_k = I_3 \cdot R_x, \quad (14)$$

де I_3 – струм замикання на землю, А

$$I_3 = \frac{U_\phi}{R_x + \frac{R_\phi}{3}} \quad (15)$$

де U_ϕ – фазна напруга в мережі, за варіантом завдання, В;

R_x – заміряний опір захисного заземлення, Ом;

R_ϕ – мінімальний заміряний опір ізоляції однієї з фаз, Ом.

б) визначити за ГОСТ 12.1.038-82 гранично допустиму величину напруги дотику в «нормальному» режимі роботи електроустановки (табл. 2), $U_{z.d.}$, В, при змінному струмі 50 Гц.

в) дати оцінку фактичної напруги дотику на робочому місці по коефіцієнту відповідності умов праці нормативним вимогам:

$$K_6 = U_{n.\phi.} / U_{z.d.}, \quad (16)$$

якщо $K_6 \leq 1$, то можна зробити висновок про відповідність стану електробезпеки на робочому місці ГОСТ 12.1.038-82.

г) розрахунок величини напруги дотику в «аварійному» режимі (обрив ланцюга R_3), В:

$$U_{n.\phi.} = I_{\text{люд.}} \cdot R_{\text{люд.}} \quad (17)$$

де $R_{\text{люд.}}$ – опір тіла людини, Ом (в інженерних розрахунках приймають $R_{\text{люд.}} = 1000$ Ом);

$I_{\text{люд.}}$ – струм, що проходить через тіло людини, А:

$$I_{\text{люд.}} = \frac{U_\phi}{R_{\text{люд.}} + \frac{R_\phi}{3}} \quad (18)$$

де U_ϕ – напруга в електромережі, за варіантом, В;

R_ϕ – мінімальний заміряний фазний опір, Ом.

д) визначити за ГОСТ 12.1.038-82 гранично допустиму величину напруги дотику в «аварійному» режимі роботи електроустановки $U_{z.d.}$ при змінному струмі 50 Гц залежно від часу аварійного відключення $t_{\text{відкл.}}$, сек. (табл. 3).

е) дати оцінку фактичної напруги дотику на робочому місці по коефіцієнту відповідності умов праці нормативним вимогам по формулі 16, якщо $K_6 \leq 1$, то можна зробити висновок по відповідності стану електробезпеки на робочому місці ГОСТ 12.1.038-82.

Гранично допустимі величини напруги дотику в «нормальному» режимі (по ГОСТ 12.1.038-82)

Вид струму	$U_{z.d.m.}$, В	I, мА
Змінний 50 Гц	2,0	0,3
Змінний 400 Гц	3,0	0,4
Постійний	8,0	1,0

При виборі гранично допустимих значень напруги дотику слід враховувати негативний вплив на стан електробезпеки високих значень температури навколишнього середовища (T , °С) та відносної вологості в приміщенні (φ , %). Тому, якщо по варіанту $T \geq 25^\circ\text{C}$ та $\varphi \geq 75\%$ необхідно прийняти поправочний коефіцієнт $K = 0,33$, тоді:

$$U_{z.d} = 0,33 \cdot U_{z.d.m.}$$

де $U_{z.d.m.}$ – табличне значення гранично допустимої величини (табл. 2, 3).

Таблиця 3

Гранично допустимі величини напруги дотику в «аварійному» режимі (за ГОСТ 12.1.038-82)

Вид струму	Час аварійного відключення $t_{відкл.}$ (сек.) і величина $U_{z.d.m.}$, В				
	0,01	0,1	0,5	1,0	>1,0
Змінний 50Гц	650	500	100	50	36
Постійний	650	500	250	200	40

5.2. Оцінка опору захисного заземлення

Необхідно зробити оцінку стану електробезпеки на робочому місці за умови, що електрообладнання включене в трифазну електромережу з напругою до 1000 В з незаземленою нейтраллю, а корпус обладнання заземлений (рис. 5). Для цього використовуються початкові дані (додаток Б).

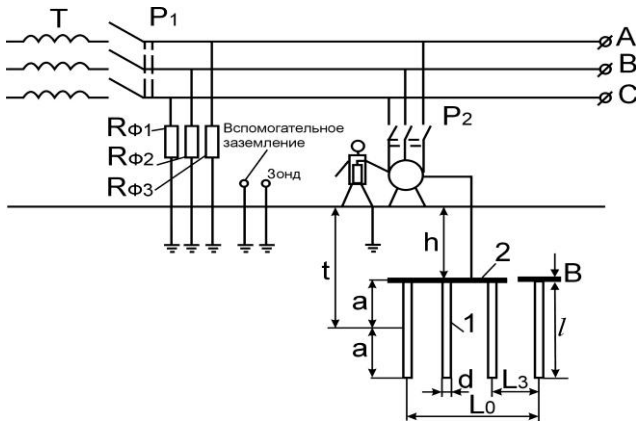


Рис. 5. Схема лабораторного стенду

1. Визначається загальний опір захисного заземлення R_K , Ом по формулі:

$$R_K = \frac{R_m \cdot R_c}{R_m \cdot \eta_c + R_c \cdot \eta_m \cdot n} \quad (19)$$

де R_m – опір вертикального заземлювача («труби»), Ом;
 R_c – опір горизонтального заземлювача («смуги»), Ом;
 η_c, η_m – коефіцієнти використання «смуги» і «труби» (табл. 6, 7);
 n – число вертикальних заземлювачів («труб»), од.

1.1. Опір одиночного заземлювача R_m , (Ом) обчислюємо по формулі:

$$R_m = \frac{\rho}{2\pi d} \left(\ln \frac{2l}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) \quad (20)$$

де \ln – натуральний логарифм значення;
 ρ – питомий опір ґрунту, Ом · м (табл. 4);
 l – довжина вертикального заземлювача, м – вибирається за варіантом (додаток Б);
 d – діаметр вертикального заземлювача, м – вибирається за варіантом (додаток Б);
 t – глибина заглиблення вертикального заземлювача «труби», обчислюється по формулі:

$$t = h + \frac{l}{2} \quad (21)$$

де h – глибина заглиблення «смуги» – вибирається за варіантом (додаток Б), м.

1.2. Опір горизонтального заземлювача горизонтального заземлювача («смуги») R_c , (Ом) обчислюється за формулою:

$$R_c = \frac{\rho}{2\pi l_0} \cdot \ln\left(\frac{2l_0^2}{b \cdot h \cdot \gamma}\right) \quad (22)$$

де b – ширина горизонтальної «смуги», м – по варіанту (додаток Б);
 γ – коефіцієнт сезонності (табл. 5);
 l_0 – довжина «смуги», м, обчислюється по формулі:

$$l_0 = l_3 \cdot \sqrt{n - 1} \quad (23)$$

де l_3 – відстань між вертикальними заземлювачами, м – по варіанту (додаток Б);

n – число вертикальних заземлювачів, одиниць – по варіанту (додаток Б).

2. Дати оцінку електробезпеки на робочому місці за величиною опору захисного заземлення, згідно коефіцієнта відповідностям умов безпеки праці K_e :

$$K_e = \frac{R_k}{R_{z.d}} \leq 1 \quad (24)$$

де R_k – розрахункова величина опору захисного заземлення, Ом;

$R_{z.d}$ – гранично допустима величина опору захисного заземлення для установок напругою до 1000 В – $R_{z.d} \leq 4$ Ом, для установок з напругою понад 1000 В – $R_{z.d} \leq 10$ Ом.

Таблиця 4

Значення питомих опорів ґрунтів ρ , Ом·м

№ з/п	Ґрунт	Питомий опір ґрунту, ρ , (Ом·м)	
		Межі вологості (мала - велика)	Середня вологість
1	Пісок	400-1000	700
2	Супісок	150-400	274
3	Суглинок	40-150	95
4	Ґлина	8-70	39
5	Чорнозем	10-50	30

Значення коефіцієнтів сезонності γ

№ з/п	Ґрунт	Вологість ґрунту		
		Велика	Середня	Мала
1	Суглинок	2,0	1,5	1,4
2	Чорнозем	1,9	1,3	1,2
3	Супісок	1,5	1,3	1,2
4	Пісок	2,4	1,6	1,2
5	Ґлина	2,4	1,2	1,2

Таблиця 6

Коефіцієнт використання горизонтальної з'єднаної «смуги», η_c

Розташування заземлювачів	l_3/l	Число вертикальних заземлювачів, n , од.					
		4	8	10	20	30	40
В ряд	1	0,77	0,67	0,62	0,42	0,31	0,2
	2	0,89	0,79	0,75	0,56	0,46	0,27
	3	0,92	0,85	0,85	0,68	0,58	0,36

Таблиця 7

Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів («труби»), η_m

Число вертикальних заземлювачів, n , од.	«труби» розташовані в ряд		
	$\frac{l_3}{l} = 1$	$\frac{l_3}{l} = 2$	$\frac{l_3}{l} = 3$
2	0,84	0,9	0,93
5	0,67	0,79	0,85
10	0,56	0,72	0,79
20	0,47	0,654	0,74

7. Контрольні питання

1. Дайте характеристику чинників, що впливають на уразку людини електричним струмом?
2. В яких випадках відбувається уразка людини електричним струмом?
3. Які шляхи струму можливі в тілі людини?
4. Який струм робить більший вплив на організм людини? Постійний або змінний?
5. Який по величині струм можна вважати гранично допустимим для людини (змінний чи постійний)?
6. Який струм для людини є небезпечним і може привести до втрати

свідомості?

7. Який струм є смертельно небезпечним для людини?

8. Як впливає опір тіла людини на величину струму, що проходить крізь нього?

9. Які величини напруги вважаються безпечними для людини?

10. Які заходи захисту від дії електричного струму застосовуються на виробництві?

11. В чому різниця між захисним заземленням та захисним зануленням?

12. Який струм проходитиме крізь тіло людини, якщо вона торкнулась однією рукою до фази, на ізольованому гумовому килимку?

13. Який струм вважається більш небезпечним при дії на людину?

14. Перерахуйте види електротравм на виробництві?

15. Які особливості враховуються при аналізі небезпек електротравматизму, які впливають на силу струму, що проходить через тіло людини?

16. Що таке ізольована нейтраль та глухозаземлена нейтраль в електричних мережах?

17. Які параметри характеризують захисне заземлення?

18. Перерахуйте всі існуючі захисні заходи в електричних мережах та устаткуванні.

19. Від чого залежить струм замикання на землю при захисному заземленні?

20. Які величини характеризують напругу дотику в нормальному та аварійному режимі роботи устаткування?

21. Від чого залежать гранично допустимі величини напруги дотику?

22. Які параметри впливають на величину захисного заземлення?

23. Що таке крокова напруга?

24. В чому різниця між індивідуальними та колективними засобами захисту від поразки електричним струмом?

8. Література

1. ГОСТ 12.1.009 – 76 ССБТ. Електробезпека. Терміни і визначення.
2. ГОСТ 12.1.019 - 79 ССБТ. Електробезпека. Загальні вимоги безпеки і номенклатура видів захисту.
3. ГОСТ 12.1.030–81. ССБТ. Електробезпека. Захисне заземлення, занулення.
4. Правила пристрою електроустановок. – М.: Енергія, 1986.
5. Долин П. А. Основи техніки безпеки в електроустановках. – М.: Енергоавтоміздат, 1984. – 448 с.
6. Жидецький В.Ц. і ін. Основи охорони праці. - Львів: Афіша, 2000. - 351 с.
7. Кобевник В.Ф. Охорона праці. – К.: Вища школа, 1990. – 286 с.

Початкові дані до лабораторної роботи № 4
 «Дослідження і оцінка електробезпеки на робочих місцях»
 (Етап 1 – Оцінка величини напруги дотику)

Варіант	Напруга в електромережі, U_{ϕ} , В	Час аварійного відключення $t_{відкл.}$, сек.	Коеф. напруги дотику, α	Відносна вологість повітря, φ , %	Температура повітря в приміщенні t , °С
1	220	1,5	0,8	75	26
2	380	0,5	1	60	18
3	220	0,1	0,6	40	10
4	220	1,2	0,8	60	18
5	380	0,01	0,7	80	27
6	220	0,6	0,6	75	26
7	220	0,1	0,8	65	19
8	380	1,2	0,8	40	10
9	220	1,5	0,9	60	18
10	220	0,9	0,6	75	26
11	380	1,5	0,7	60	18
12	220	1	0,6	80	27
13	220	1,2	0,9	60	18
14	380	1	0,75	40	10
15	220	1,25	1	80	27
16	220	0,6	0,9	75	26
17	380	1,5	0,5	40	10
18	220	0,8	0,6	70	24
19	220	1,2	0,8	40	10
20	380	1,5	0,9	60	18
21	220	1	0,75	40	10
22	220	0,8	1	75	26
23	380	0,8	0,75	40	10
24	220	0,85	0,7	60	18
25	220	0,65	0,5	75	26
26	380	0,9	1	80	28

Продовження початкових даних до лабораторної роботи № 4
 «Дослідження і оцінка електробезпеки на робочих місцях»
 (Етап 1 – Оцінка величини напруги дотику)

Варіант	Опір ізоляції фазних проводів, кОм			Опір захисного заземлення, R_x , Ом
	$R_{\phi 1}$	$R_{\phi 2}$	$R_{\phi 3}$	
1	600	510	650	10
2	860	450	600	4
3	500	510	790	8
4	720	550	620	3
5	470	850	410	5
6	845	470	460	3,8
7	550	750	870	1,7
8	450	830	500	5
9	860	430	760	6
10	520	880	520	2,4
11	720	550	820	3
12	420	850	410	5
13	445	470	860	3,8
14	550	750	820	1,8
15	800	480	450	10
16	860	550	500	4
17	860	450	760	6
18	520	480	520	2,4
19	820	450	410	5
20	445	870	460	3,8
21	500	510	490	8
22	720	550	820	3
23	720	550	820	3
24	420	430	810	5
25	845	470	460	3,8
26	550	750	820	1,5

Початкові дані до лабораторної роботи № 4
«Дослідження і оцінка електробезпеки на робочих місцях»
(Етап 2 – Оцінка опору захисного заземлення)

Варіант	Число вертикальних заземлювачів, n , шт.	Відстань між вертикальними заземлювачами, l_2 , м	Довжина вертикальних заземлювачів, l , м	Глибина заглиблення «смути», h , м	Діаметр вертикального заземлювача, d , м	Ширина горизонтальної «смути», b , м	Тип ґрунту	Вологість ґрунту
1	6	3,2	3	0,5	0,08	0,05	пісок	мала
2	8	3,8	3,5	0,8	0,07	0,04	суглинок	середня
3	12	4,2	3,5	0,8	0,05	0,03	чорнозем	мала
4	8	5,4	2,8	0,5	0,06	0,06	супісок	мала
5	6	5,2	4	0,6	0,08	0,07	глина	мала
6	4	4,4	4,6	0,9	0,07	0,08	пісок	середня
7	8	4,2	3	0,6	0,05	0,09	глина	мала
8	4	5,2	3,5	0,5	0,07	0,08	чорнозем	середня
9	8	3,4	2,8	0,8	0,08	0,06	супісок	велика
10	12	4,2	4	0,6	0,06	0,07	глина	мала
11	6	4,4	4,6	0,5	0,03	0,08	пісок	середня
12	10	5,4	2,8	0,6	0,05	0,06	глина	велика
13	8	4,8	3,5	0,9	0,06	0,05	пісок	мала
14	4	4,2	3,8	0,7	0,04	0,07	суглинок	середня
15	6	5,6	4,6	0,8	0,08	0,08	чорнозем	велика
16	12	4,9	4	0,5	0,05	0,06	пісок	мала
17	10	4,3	3,8	0,6	0,06	0,08	глина	середня
18	8	4,8	2	0,7	0,08	0,07	пісок	мала
19	4	5,3	3	0,7	0,08	0,08	суглинок	велика
20	10	4,4	3,5	0,8	0,07	0,07	чорнозем	мала
21	8	4,8	3,5	0,6	0,08	0,07	супісок	середня
22	12	4,2	2,8	0,5	0,09	0,06	глина	середня
23	6	5,2	4	0,9	0,07	0,07	пісок	мала
24	8	4,8	2,60	0,6	0,06	0,05	глина	велика
25	4	4,4	4,2	0,7	0,08	0,08	чорнозем	мала
26	6	4,6	2,8	0,8	0,07	0,06	супісок	середня

Протокол лабораторної роботи № 4

П.І.Б. _____ група _____ варіант _____
 від “ _____ ” _____ 20 _____ року

Тема: «Дослідження і оцінка стану електробезпеки на робочих місцях»
 Початкові дані (Етап 1)

Чинники	Варіант
1. Напруга в електромережі, U_{ϕ} (В)	
2. Час аварійного відключення, $t_{\text{відкл.}}$ (секунди)	
3. Коефіцієнт напруги дотику, α	
4. Відносна вологість повітря, φ (%)	
5. Температура повітря в приміщенні, t ($^{\circ}\text{C}$)	

Результати вимірювань і розрахунків.

Етап 1. Оцінка величини напруги дотику

Параметри	Значення	
	фактичні	нормативні
1. Опір ізоляції фазних дротів: Фаза 1, $R_{\phi 1}$ (кОм) Фаза 2, $R_{\phi 2}$ (кОм) Фаза 3, $R_{\phi 3}$ (кОм)		
2. Опір захисного заземлення, R_x (Ом)		
3. Напруга дотику у «нормальному» режимі $U_{n.\phi}$ (В)		
4. Коефіцієнт відповідності умов праці, K_6 при «нормальному» режимі		≤ 1
5. Напруга дотику у «аварійному» режимі, $U_{n.\phi}$ (В)		
6. Коефіцієнт відповідності умов праці, K_6 при «аварійному» режимі		≤ 1

Висновок до етапу 1: _____

Початкові дані (Етап 2). Оцінка опору захисного заземлення

Чинники	Значення
1. Число вертикальних заземлювачів, n , шт.	
2. Відстань між вертикальними заземлювачами, l_3 , м	
3. Довжина вертикальних заземлювачів, l , м	
4. Глибина заглиблення горизонтальної «смуги», h , м	
5. Діаметр вертикального заземлювача, d , м	
6. Ширина горизонтальної «смуги», b , м	
7. Тип ґрунту	
8. Вологість ґрунту	

Результати розрахунків. **Етап 2.** Оцінка опору захисного заземлення

Параметри	Значення	
	фактичні	нормативні
1. Опір захисного заземлення, R_k (Ом)		
2. Коефіцієнт відповідності умов праці, K_g		≤ 1

РОЗРАХУНКИ

Висновок до етапу 2: _____

Роботу виконав _____ Роботу перевірів _____

