

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
Запорізький національний технічний університет

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторного заняття «*Дослідження захисного заземлення та методика його розрахунку*» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» для студентів усіх спеціальностей та усіх форм навчання

Методичні вказівки до лабораторного заняття «Дослідження захисного заземлення та методика його розрахунку» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» для студентів усіх спеціальностей та усіх форм навчання / Укл. М. О. Журавель, С. М. Журавель – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. – 30 с.

Укладачі: М. О. Журавель, ст. викл.  
С. М. Журавель, ст. викл.

Рецензент: О. В. Нестеров, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск: М. О. Журавель, ст. викл.

Затверджено  
на засіданні кафедри «Охорони праці і  
навколишнього середовища»  
Протокол №            від            2017 р.

Рекомендовано до видання  
НМК Інженерно-фізичного факультету  
Протокол №            від            2017 р.

## 1. МЕТА ЗАНЯТТЯ

Ознайомитися з основними термінами та визначеннями понять пов'язаними з захисним заземленням.

Ознайомитися з основними вимогами нормативно-правових актів щодо захисного заземлення та його параметрів.

Провести дослідження ефективності застосування захисного заземлення.

Ознайомитися з методикою й алгоритмом розрахунку заземлювального пристрою та провести розрахунки його основних параметрів.

## 2. ЗАГАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

### 2.1 Терміни та визначення понять

*Захисне заземлення* – це навмисне електричне з'єднання визначеної точки електричної мережі, металевих не струмоведучих частин електроустановки або обладнання, котрі можуть опинитись під напругою внаслідок порушення ізоляції із зоною розтікання, яке виконується з метою забезпечення електробезпеки.

*Захисне занулення* (в електроустановках напругою до 1 кВ) – це навмисне з'єднання відкритих провідних частин з глухозаземленою нейтраллю генератора або трансформатора в мережах трифазного струму, з глухо заземленим виводом джерела однофазного струму, з заземленою точкою джерела в мережах постійного струму, виконуваного з метою електробезпеки.

*Електрична мережа з ефективно заземленою нейтраллю* – це трифазна електрична мережа напругою понад 1 кВ, в якій коефіцієнт замикання на землю (відношення різниці потенціалів між нешкодженою фазою і землею в точці замикання на землю другої або двох інших фаз до різниці потенціалів між фазою і землею в цій точці до замикання) не перевищує 1,4.

*Глухозаземлена нейтраль* – це нейтраль генератора або трансформатора, приєднана до заземлювального пристрою безпосередньо або через малий опір (наприклад, через трансформатори струму).

Глухозаземленим може бути також вивід джерела однофазного

струму або полюс джерела постійного струму у двопровідних мережах, а також середня точка (спільна точка між двома симетричними елементами електричного кола, протилежні кінці яких приєднано до різних лінійних провідників того самого кола) джерела в трипровідних мережах змінного і постійного струму.

*Середня точка* – це спільна точка між двома симетричними елементами електричного кола, протилежні кінці яких приєднано до різних лінійних провідників того самого кола.

*Ізольована нейтраль* – це нейтраль генератора або трансформатора, не приєднана до заземлювального пристрою або приєднана до нього через прилади сигналізації, вимірювання, захисту, заземлювальні дугогасні реактори і подібні до них пристрої, що мають великий опір.

*Компенсована нейтраль* – це нейтраль генератора або трансформатора, приєднана до заземлювального пристрою через дугогасні реактори для компенсації ємнісного струму в мережі з ізольованою нейтраллю під час однофазних замикань на землю.

*Заземлена через резистор нейтраль* – це нейтраль генератора або трансформатора в мережі з ізольованою або компенсованою нейтраллю, приєднана до заземлювального пристрою через резистор, наприклад, для захисту мережі від перенапруг або (і) виконання селективного захисту в разі замикання на землю.

*Штучний заземлювач* – це заземлювач, який спеціально виконують з метою заземлення.

*Природний заземлювач* – це провідна частина, яка крім своїх безпосередніх функцій одночасно може виконувати функції заземлювача (наприклад, арматура фундаментів та інженерних комунікацій будівель і споруд, підземна частина металевих і залізобетонних опор ПЛ тощо).

*Електрично незалежний заземлювач (незалежний заземлювач)* – це заземлювач, розташований на такій відстані від інших заземлювачів, що струми розтікання з них суттєво не впливають на електричний потенціал незалежного заземлювача.

*Заземлювальний провідник* – це провідник, який з'єднує заземлювач з визначеною точкою системи або електроустановки чи обладнання.

*Захисний провідник (РЕ-провідник, від англ. «protective earthlings» - захисне заземлення)* – це провідник, призначений для

забезпечення захисту від ураження електричним струмом у випадку пошкодження ізоляції (наприклад, провідник для з'єднання відкритих провідних частин із заземлювачем, заземлювальним провідником, іншими відкритими провідними частинами, сторонніми провідними частинами, заземленою струмовідною частиною, глухозаземленою нейтральною точкою джерела живлення тощо).

*Нейтральний провідник (N-провідник)* – це провідник в електроустановках напругою до 1 кВ, електрично з'єднаний з нейтральною точкою джерела живлення, який використовують для розподілу електричної енергії.

*PEN-провідник* – це суміщений захисний провідник в електроустановках напругою до 1 кВ, який поєднує в собі функції захисного (PE-) і нейтрального (N-) провідників.

*Примітка.* Терміни «нейтральний» і «захисний» провідники в системі TN є синонімами відповідних термінів «нульовий робочий» і «нульовий захисний» провідники, які були в попередніх нормативних документах України і не відповідали термінам міжнародних стандартів.

*Лінійний (фазний) провідник* – це провідник, який у нормальному режимі роботи електроустановки перебуває під напругою і використовується для передавання і розподілу електричної енергії, але не є провідником середньої точки або нейтральним провідником.

*Заземлювальний пристрій* – це сукупність електрично з'єднаних між собою заземлювачів і заземлювальних провідників, включаючи елементи їх з'єднання.

*Опір заземлювального пристрою (заземлювача)  $R_z$*  – це відношення напруги на заземлювальному пристрої (заземлювачі) до струму, який стікає із заземлювача в землю.

*Розрахунковий струм замикання на землю* – це найбільший можливий у даній електроустановці струм замикання на землю.

## 2.2 Область застосування захисного заземлення

Відповідно до вимог пунктів 1.2 і 1.3 ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» захисному заземленню або зануленню підлягають металеві частини електроустановок, доступні для дотику людини та не мають інших видів захисту, що забезпечують електробезпеку.

Захисне заземлення або занулення електроустановок слід виконувати:

- при номінальній напрузі 380 В і вище змінного струму та 440 В і вище постійного струму - у всіх випадках;
- при номінальній напрузі від 42 В до 380 В змінного струму та від 110 В до 440 В постійного струму при роботах в умовах з підвищеною небезпекою та особливо небезпечних умовах.

Корпуса електричних машин, трансформаторів, світильників, апаратів і інші металеві неструмоведучі частини можуть опинитися під напругою при замиканні їх струмоведучих частин на корпус. Якщо корпус при цьому не має контакту із землею, дотик до нього також небезпечно, як і дотик до фази.

Захисне заземлення призначене для перетворення замикання на корпус у замикання на землю з метою зниження напруги дотику та напруги кроку до безпечних величин (вирівнювання потенціалів).

Щодо заходів від ураження електричним струмом, відповідно до вимог пункту 1.7.2 «Правил улаштування електроустановок» (далі «ПУЕ»), електроустановки поділяють:

- на електроустановки напругою до 1 кВ в електричних мережах із глухозаземленою нейтраллю;
- на електроустановки напругою до 1 кВ в електричних мережах з ізольованою нейтраллю;
- на електроустановки напругою понад 1 кВ в електричних мережах з ізольованою, компенсованою або (і) заземленою через резистор нейтраллю;
- на електроустановки напругою понад 1 кВ в електричних мережах із глухозаземленою або ефективно заземленою нейтраллю.

Захисне заземлення може бути ефективно тільки в тому випадку, якщо струм замикання на землю не збільшується зі зменшенням опору заземлення. Це можливо в мережах з ізольованою нейтраллю, де при глухому замиканні на землю або на заземлений корпус струм не залежить від провідності або опору заземлення, а також у мережах напругою вище 1 кВ із заземленою нейтраллю.

В останньому випадку замикання на землю, є коротким замиканням, причому спрацьовує максимальний струмовий захист.

У мережі із заземленою нейтраллю напругою до 1 кВ заземлення не ефективне, тому що навіть при глухому замиканні на землю струм

залежить від опору заземлення й зі зменшенням останнього струм зростає.

Тому, як правило, захисне заземлення застосовується:

- у мережах напругою до  $1\text{ кВ}$  - з ізольованою нейтраллю;
- у мережах напругою вище  $1\text{ кВ}$  - як з ізольованою, так і заземленою нейтраллю.

Згідно вимог пункту 1.2.16 «ПУЕ», робота електричних мереж напругою від  $3\text{ кВ}$  до  $35\text{ кВ}$  може бути передбачена як з ізольованою нейтраллю, так і з нейтраллю, заземленою через дугогасний реактор або резистор, а також заземленою одночасно через дугогасний реактор і резистор.

Робота електричних мереж напругою від  $110\text{ кВ}$  до  $150\text{ кВ}$  може передбачатися як з ефективно заземленою нейтраллю, так і з глухозаземленою нейтраллю.

Електричні мережі напругою  $220\text{ кВ}$  і вище повинні працювати тільки з глухозаземленою нейтраллю.

Згідно вимог пункту 1.7.1 «ПУЕ», заходи від ураження електричним струмом в електроустановках напругою до  $1\text{ кВ}$  будинків і споруд (житлових, адміністративно-побутових, громадських, цехових тощо) регламентуються ДВН В.2.5-27-2006 «Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд», якщо вони не понижують рівня вимог щодо безпеки, які наведені в главі 1.7 «ПУЕ».

По розташуванню заземлювачів відносно заземлених корпусів обладнання (устаткування) заземлення поділяють на *виносні* та *контурні*.

При *виносному заземленні* – заземлювачі розташовуються на деякому видаленні від устаткування, що заземлюється. Тому заземлені корпуси знаходяться поза полем розтікання – на землі, і людина, торкаючись корпуса, опиняється під повною напругою відносно землі. Виносне заземлення захищає тільки за рахунок малого опору заземлення.

При *контурному заземленні* – заземлювачі розташовуються по контуру навколо заземленого обладнання (устаткування) на невеликій (кілька метрів) відстані друг від друга. Поля розтікання заземлювачів накладаються, і будь-яка точка поверхні ґрунту усередині контуру має значний потенціал. Внаслідок цього різниці потенціалів між точками, що знаходяться усередині контуру, знижена й коефіцієнт дотику

набагато менше одиниці.

Коефіцієнт напруги кроку також менше максимально можливого значення. Струм через людину, що торкається корпуса обладнання, менше, чим при виносному заземленні.

При виконанні контурного заземлення, при необхідності також прокладають горизонтальні металеві стрічки (заземлювач у вигляді сітки), котрі додатково вирівнюють потенціали всередині контуру. Всередині приміщень вирівнювання потенціалів відбувається також за рахунок наявності металевих конструкцій, трубопроводів, кабелів та інших струмопровідних предметів, які розташовані в поверхневому шарі ґрунту і зв'язані з мережею заземлення.

В середині будівель прокладають внутрішню магістраль заземлення вздовж стін, до якої під'єднують паралельно заземлюванні провідники від корпусів електрообладнання, котре підлягає заземленню. Послідовне включення обладнання, що заземлюється не допускається.

Існують штучні заземлювачі, призначені виключно для заземлення електрообладнання, і природні – струмопровідні предмети, котрі знаходяться в землі та комунікації іншого призначення.

Як природні заземлювачі можна використовувати:

- металеві конструкції та арматуру залізобетонних конструкцій, котрі контактують з землею;
- прокладені в землі водогінні труби та свинцеві оболонки кабелів;
- обсадні труби артезіанських свердловин та колодязів.

Забороняється використовувати, як природні заземлювачі трубопроводи з пожежовибухонебезпечними рідинами і газами, алюмінієві оболонки кабелів та алюмінієві провідники.

### **2.3 Нормування параметрів захисного заземлення**

Оскільки заземлення повинне забезпечувати безпеку при дотику до неструмоведучих частин, які випадково опинилися під напругою, і при впливі напруги кроку, нормуванню підлягають найбільша напруга дотику усередині контуру, найбільша напруга кроку та напруга відносно землі. Ці величини не повинні перевершувати довгостроково припустимих.

При наявності захисного заземлення опір між замкненою на



корпус фазою та землею визначається, в основному, опором заземлювального пристрою  $R_3$ .

Тому виходячи з наведених умов можна нормувати опір заземлення  $R_3$ , враховуючи струм замикання на землю  $I_3$  у даній електроустановці.

У мережах напругою до  $1\text{ кВ}$  струм однофазного замикання на землю не перевищує  $10\text{ А}$ , тому що навіть при найгіршому стані ізоляції та значної ємності опір фази відносно землі не буває менше  $100\text{ Ом}$  ( $|Z| > 100\text{ Ом}$ ). Звідси струм замикання на землю:

$$\text{- у мережі напругою } 380\text{ В} - I_3 = \frac{3 \cdot 220}{100} = 6,6\text{ А}$$

$$\text{- у мережі напругою } 660\text{ В} - I_3 = \frac{3 \cdot 380}{100} = 11,5\text{ А}$$

В електроустановках напругою вище  $1\text{ кВ}$  із ізолюваною нейтраллю в якості розрахункового струму можна прийняти струм, обчислений приблизно по формулі:

$$I_3 = \frac{\sqrt{3} U \cdot (35l_k + l_e)}{350},$$

де  $U$  – фазна напруга мережі,  $\text{кВ}$ ;

$l_k$  – загальна довжина підключених до мережі кабельних ліній,  $\text{км}$ ;

$l_e$  – загальна довжина підключених до мережі повітряних ліній,  $\text{км}$ .

Згідно вимог «ПУЕ» опір заземлення  $R_3$  нормуються залежно від напруги електроустановки.

### 2.3.1 Заземлювальні пристрої електроустановок напругою до $1\text{ кВ}$ у електричних мережах із глухозаземленою нейтраллю

Згідно вимог пункту 1.7.92 «ПУЕ», опір заземлювального пристрою, до якого приєднано нейтраль джерела живлення або виводи джерела однофазного струму, у будь-яку пору року не повинен перевищувати  $2, 4$  і  $8\text{ Ом}$  відповідно для лінійних напруг  $660, 380$  і  $220\text{ В}$  джерела трифазного струму або  $380, 220$  і  $127\text{ В}$  джерела однофазного струму. Цей опір необхідно забезпечувати з урахуванням використання всіх заземлювачів, приєднаних до *РЕ-провідника* (захисного) або *PEN-провідника* (суміщеного захисного і

нейтрального), якщо кількість відхідних ліній не менше двох.

Згідно вимог пункту 1.7.95 «ПУЕ», сумарний опір усіх заземлювачів, приєднаних до *PEN-провідника* (суміщеного захисного і нейтрального) кожної лінії, у тому числі природних заземлювачів, у будь-яку пору року не повинен перевищувати 5, 10 і 20 *Ом* відповідно для лінійних напруг 660, 380 і 220 *В* джерела трифазного струму або 380, 220 і 127 *В* джерела однофазного струму. Опір кожного з повторних заземлювачів має бути не більшим ніж 15, 30 і 60 *Ом* відповідно для тієї самої напруги.

В останньому випадку збільшення опору можливе лише до значення, за яким напруга на заземлювальному пристрої не перевищує допустиму напругу, наведену в додатку «А». (Табл. 1.7.3 «ПУЕ»)

### 2.3.2 Заземлювальні пристрої електроустановок напругою до 1 кВ у електричних мережах із ізольованою нейтраллю

Згідно вимог пункту 1.7.97 «ПУЕ», опір заземлювального пристрою  $R_3$ , *Ом*, який використовують для захисного заземлення відкритих провідних частин в електроустановках з ізольованою нейтраллю, у разі одиничного замикання струмовідної частини на заземлену, має відповідати умові:

$$R_3 = \frac{U_d}{I},$$

де  $U_d$  – допустима напруга дотику, значення якої в приміщеннях без підвищеної небезпеки приймають для електроустановок змінного струму - 50 *В*, а для постійного - 120 *В*;

$I$  – повний струм замикання на землю, *А*.

Виконання зазначеної умови можна не перевіряти, якщо опір заземлювального пристрою  $R_3$  не перевищує:

- 4 *Ом* в електроустановках змінного струму в разі потужності джерела живлення, більшої ніж 100 *кВ·А*;

- 10 *Ом* в електроустановках змінного струму в разі потужності джерела живлення або сумарної потужності паралельно працюючих джерел живлення до 100 *кВ·А* і у всіх електроустановках постійного струму.

### 3. ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ ДО ЛАБОРАТОРНОГО ЗАНЯТТЯ

Лабораторне заняття складається з двох частин, аудиторної та індивідуальної (самостійної).

В процесі аудиторної частини лабораторного заняття студенти повинні:

1. Ознайомитися з основними термінами та визначення понять.
2. Визначитися з областю застосування захисного заземлення.
3. Ознайомитися з основними вимогами щодо нормування

параметрів захисного заземлення:

- заземлювальних пристроїв електроустановок напругою до 1 кВ у електричних мережах із глухозаземленою нейтраллю;

- заземлювальних пристроїв електроустановок напругою до 1 кВ у електричних мережах із ізольованою нейтраллю.

4. Провести дослідження ефективності застосування захисного заземлення в електричних мережах напругою до 1 кВ із ізольованою та глухозаземленою нейтраллю з використанням універсального лабораторного стенду (УЛС) з електробезпеки.

5. Зробити висновки.

6. Ознайомитися з методикою і алгоритм розрахунку захисного заземлення.

7. Отримати індивідуальне завдання для самостійної роботи від викладача, згідно додатку «Е».

В процесі індивідуальної (самостійної) частини лабораторного заняття студенти повинні:

- самостійно, згідно варіанту індивідуальне завдання, у відповідності до методики і алгоритму, провести розрахунок захисного заземлення;

- зробити висновки.

### 4. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке захисне заземлення, занулення, у чому різниця між ними та їх призначення?

2. У чому полягає захисна дія заземлення, занулення?

3. Що таке глухозаземлена, ізольована, компенсована нейтраль

або нейтраль заземлена через резистор та середня точка?

4. Що таке штучний, природний та електрично незалежний заземлювачі?

5. Що таке заземлювальний, захисний, нейтральний та лінійний провідник?

6. Що таке *PEN*-провідник?

7. Що таке заземлювальний пристрій та його основні параметри?

8. Як поділяють електроустановки, щодо заходів від ураження електричним струмом, відповідно до вимог «ПУЕ»?

9. Яке захисне заземлення, як правило, застосовується у мережах напругою до 1 кВ?

10. Чому неприпустиме застосування захисного заземлення в мережах напругою до 1 кВ з глухозаземленою нейтраллю?

11. Яке захисне заземлення, відповідно до вимог «ПУЕ», застосовується у мережах напругою від 3 кВ до 35 кВ?

12. Яке захисне заземлення, відповідно до вимог «ПУЕ», застосовується у мережах напругою від 110 кВ до 150 кВ?

13. Яке захисне заземлення, відповідно до вимог «ПУЕ», застосовується у мережах напругою 220 кВ і вище?

14. На які види поділяють заземлення по розташуванню заземлювачів відносно заземлених корпусів обладнання (устаткування)?

## 5. ОПИС ПРИЛАДІВ

Дослідження виконуються на УЛС з електробезпеки. Він являє собою моделюючий пристрій, який складається з базового блоку та комплекту змінних панелей для різних лабораторних занять.

Для даного лабораторного заняття використовується змінна панель «Дослідження захисного заземлення й занулення», рис. 5.1.

Лабораторний стенд дозволяє моделювати електричні мережі напругою до 1 кВ із ізолюваною та глухозаземленою нейтраллю, пристрій захисного заземлення і захисного занулення електроустановок, повторне заземлення нульового проводу, а також вимірювати напругу дотику та силу струму, що протікає через людину при його контакті з корпусом, що перебуває під напругою, електроустановки.

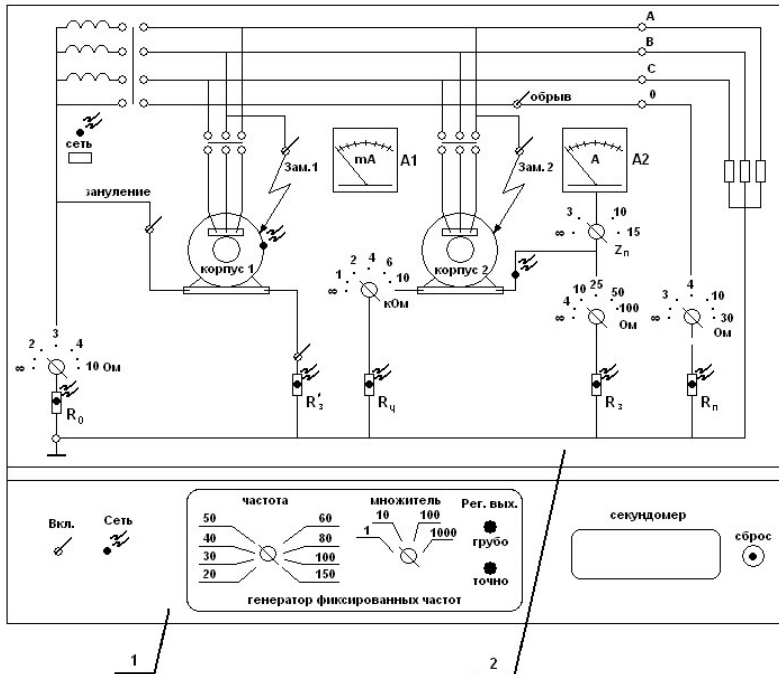


Рис. 5.1 Зовнішній вигляд стенда

Принципова електрична схема змінної панелі зображена на її передній стінці. Там же розташовані органи управління, що мають наступне значення:

- тумблер «СЕТЬ» - для включення базового блока;
- кнопка «СЕТЬ» - для включення змінної панелі;
- тумблер «ЗАНУЛЕНИЕ» - для занулення корпусу 1 електроустановки;
- тумблер « $R_3$ » - для заземлення корпусу 1 електроустановки;
- тумблер «ЗАМЫКАНИЕ 1» - для замикання фази «В» на корпус 1;
- тумблер «ЗАМЫКАНИЕ 2» - для замикання фази «А» на корпус 2;
- тумблер «ОБРЫВ» - для обриву нульового проводу;
- перемикач « $R_0$ » - для завдання необхідного режиму роботи електричної мережі: при положенні перемикача « $\infty$ » мережа працює в

режимі з ізольованою нейтраллю, при інших положеннях перемикача нейтраль заземлена через опори заземлюючого пристрою 2, 3, 4 або 10 Ом;

- перемикач « $R_1$ » - для зміни опору цепі тіла людини, величину якого можна задати  $\infty$ , 1, 2, 3, 4, 5, 10 кОм;

- перемикач « $R_3$ » - для зміни опору захисного заземлення корпусу 2, величину якого можна задати  $\infty$ , 4, 10, 25, 50 або 100 Ом;

- перемикач « $R_{II}$ » - для зміни опору повторного заземлення нульового проводу, величину якого можна задати  $\infty$ , 3, 4, 10 або 30 Ом;

- перемикач « $Z_{II}$ » - для зміни опору петлі «фаза-нуль», величину якого можна задати  $\infty$ , 3, 10, 15 Ом.

Для посилення наочності моделювання на передній стінці змінної панелі розташовані світлодіоди, які запалюються з появою напруги або струму на відповідних ділянках і елементах електричної схеми.

На передній стінці панелі знаходяться амперметр для виміру сили струму замикання на занульований корпус 2 і міліамперметр для виміру сили струму, що протікає через тіло людини, яка доторкнулася до корпусу 2 електроустановки.

Напруга дотику, а також напруга між різними точками досліджуваних мереж вимірюють вольтметром. Оскільки живлення мереж які моделюються на стенді здійснюється зниженою напругою, з метою імітації реальних фізичних процесів, що відбуваються в електричних мережах, показання вольтметра при вимірі напруг слід множити на 10.

Вимір часу відключення занульованої електроустановки при корпусному замиканні здійснюється п'яти розрядним електронним секундоміром, розташованим на передній стінці базового блоку.

## 6. ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Оскільки лабораторний стенд сам є електроустановкою, то для забезпечення безпеки при проведенні на ньому досліджень необхідно дотримувати наступних вимог:

- до виконання лабораторного заняття допускаються студенти, які прослухали первинний інструктаж з техніки безпеки та пожежної

безпеки при роботі у даній лабораторії.

- до роботи на стенді допускаються особи, ознайомлені з його устроєм, принципом дії, та які вивчили дані методичні вказівки;

- перед подачею на стенд напруги всі органи управління (тумблери та перемикачі) установлюють у вихідне положення «ВЫКЛЮЧЕНО»;

- виконавши лабораторне заняття, стенд виключають, усі органи управління встановлюють у положення «ВЫКЛЮЧЕНО» і повідомляють про завершення роботи викладачу;

- не включати без дозволу викладача прилади та обладнання, які не мають відношення до виконання роботи, яка виконується.

- усі завдання, підчас лабораторного заняття, виконувати під безпосереднім керівництвом викладача.

## **7. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБІТ**

Ознайомитися з загальними теоретичними положеннями до лабораторного заняття.

На універсальному лабораторному стенді провести дослідження захисного заземлення в мережі з ізолюваною та з заземленою нейтраллю (пункти 7.1, 7.2 і 7.3).

Зробити висновки.

Ознайомитися з методикою і алгоритм розрахунку захисного заземлення та отримати завдання.

Згідно з варіантом індивідуального завдання, самостійно, у відповідності до пункту 7.4, провести розрахунок захисного заземлення.

Зробити висновки.

### **7.1 Дослідження ефективності дії захисного заземлення мережі з ізолюваною нейтраллю**

Дію захисного заземлення слід вважати ефективною, якщо при замиканні на корпус воно знижує нижче гранично припустимих рівнів напругу дотику та струм через тіло людини  $I_{\text{ч}}$ , яка доторкнулася до цього корпусу.

Дослідження ефективності дії захисного заземлення можна виконати шляхом порівняння струмів, що протікають через тіло

людини, яка доторкнулася спочатку до незаземленого, а потім до заземленого корпусу електроустановки.

Для проведення цього експерименту необхідно на стенді створити модель електричної мережі з ізолюваною нейтраллю, для чого:

- усі тумблери та перемикачі попередньо поставити у вихідне положення «ВЫКЛЮЧЕНО» (для перемикачів положення  $\infty$ );

- перемикач  $R_0$  поставити в положення  $\infty$ , тобто ізолювати нейтраль трансформатора від землі;

- перемикачем  $R_4$  установити значення опору тіла людини за завданням викладача;

- перемикачем  $R_3$  установити опір заземлюючого пристрою, рівним  $\infty$  (корпус 2 не заземлений);

- подати напругу на змодельовану електричну мережу, для чого включити на базовому блоці тумблер «СЕТЬ», а на змінній панелі натиснути кнопку «СЕТЬ» (про готовність стенда до роботи сигналізує загоряння лампочки на базовому блоці та світлодіода на панелі);

- включенням тумблера «ЗАМЫКАНИЕ 2» здійснити замикання фази «А» на корпус 2 електроустановки і по міліамперметру виміряти силу струму  $I_4$ , що протікає через тіло людини яка доторкнулася до вже заземленого корпусу 2.

Вимірювання напруги  $U_k$  між корпусом 2 і землею зробити вольтметром (не забуваючи помножити його показання на 10). Результати вимірів занести в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1

$R_0 = \infty$ $R_4 = \kappa Ом$	Корпус 2 не заземлений, $R_3 = \infty$	Корпус 2 заземлений, $R_3 = 4 Ом$
$I_4, mA$		
$U_k, B$		

Оцінити ефективність дії захисного заземлення та зробити обґрунтований висновок про доцільність його застосування в мережах з ізолюваною нейтраллю.



## 7.2 Дослідження впливу опору заземлюючого пристрою на значення напруги дотику і струму, що протікає через тіло людини при непрямому дотику

Раніше було встановлено, що дія захисного заземлення ефективна за умови, що його опір  $R_3$  не перевищує припустимих значень що визначені в «ПУЕ».

Якщо ж опір  $R_3$  буде перевищувати встановлені нормовані значення, то дія захисного заземлення стає неефективною, оскільки воно перестає знижувати струм через тіло людини та напругу дотику нижче припустимих рівнів.

Щоб експериментально в цьому переконатися, необхідно зберегти модель електричної мережі, зібрану для попереднього дослідю. Потім, послідовно встановлюючи перемикачем  $R_3$  опір заземлюючого пристрою: 4, 10, 25, 50, 100,  $\infty$  Ом, вимірювати струм  $I_q$  і напруга  $U_k$ . Результати вимірів занести в таблицю 7.2

Таблиця 7.2

$R_q, \kappa\text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$I_q, \text{мА}$	$U_k, \text{В}$
	4		
	10		
	25		
	50		
	100		
	$\infty$		

Побудувати графік залежності  $I_q = f(R_3)$ , рис. 7.1.

Рис. 7.1 – Графік залежності  $I_q = f(R_3)$

Проаналізувати результати дослідження та оцінити вплив  $R_3$  на небезпеку ураження людини електричним струмом. Зробити висновок, у якому обґрунтувати вимоги «ПУЕ» про неприпустимість перевищення опору заземлюючого пристрою понад припустиме значення.

### 7.3 Дослідження ефективності дії захисного заземлення у мережі із глухозаземленою нейтраллю

В електричних мережах напругою до  $1\text{ кВ}$  із глухозаземленою нейтраллю застосування захисного заземлення НЕПРИПУСТИМО, оскільки воно не забезпечує безпеки обслуговуючого персоналу при замиканнях на корпус електроустановки.

Схема помилкового заземлення електроустановки в мережі із глухозаземленою нейтраллю (система ТТ) показана на рис. 7.2.

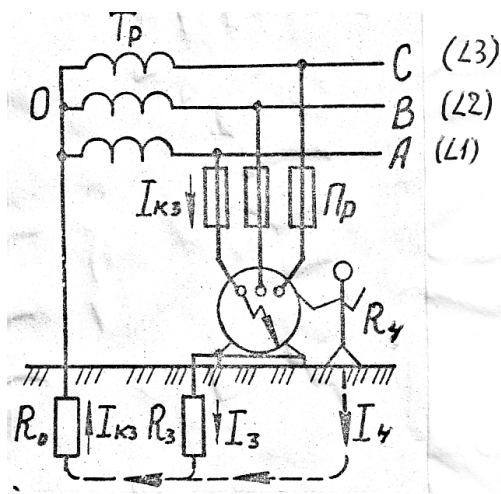


Рис. 7.2 – Схема помилкового заземлення електроустановки в мережі с глухозаземленою нейтраллю (система ТТ)

При замиканні фазного проводу (фази «А» на рис. 7.2) на помилково заземлений корпус електроустановки струм корпусного замикання визначається вираженням:

$$I_{K3} = \frac{U_{\phi}}{R_0 + \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4}}$$

або з урахуванням того, що  $R_3 \ll R_4$ , можна записати,

$$I_{K3} = \frac{U_{\phi}}{R_0 + R_3}$$

де  $U_{\phi}$  – фазна напруга мережі;

$R_0$  – опір розтіканню струму робочого заземлення нейтралі, значення якого нормується «ПУЕ».

Прийнявши  $U_{\phi} = 220 \text{ В}$  и  $R_0 = R_3 = 4 \text{ Ом}$ , визначимо струм корпусного замикання:

$$I_{K3} = \frac{220}{4 + 4} = 27,5 \text{ А.}$$

З наведених виразів видно, що в мережі із глухозаземленою нейтраллю струм корпусного замикання  $I_{K3}$  обмежується не опором ізоляції, як у мережі з ізольованою нейтраллю, а незначними по величині опорами  $R_0$  і  $R_3$ , внаслідок чого цей струм завеликий та порівнянний зі струмом корпусного замикання.

При цьому напруга на корпусі електроустановки відносно землі буде дорівнювати:

$$U_K = I_{K3} \cdot R_3 = 27,5 \cdot 4 = 110 \text{ В} = 0,5U_{\phi}$$

Струм, що протікає через тіло людини, яка доторкнулася до цього корпусу, визначається як:

$$I_u = \frac{U_K}{R_u} = \frac{110}{1000} = 110 \text{ мА.}$$

З аналізу наведених вище значень можна зробити наступні висновки:

- захисне заземлення, хоча й шунтує тіло людини, однак через велике значення загального струму замикання  $I_{K3}$ , навіть менша

частина цього струму, що проходить через тіло людини  $I_q$  виявляється вище гранично припустимого рівня та є небезпечною для його життя;

- напруга на корпусі електроустановки  $U_k$  хоча і знижується захисним заземленням, але залишається вище гранично припустимого рівня [2];

- струм замикання  $I_{K3}$ , обмежений опорамі  $R_0$  і  $R_3$ , виявляється недостатнім для надійного спрацювання захисних пристроїв (автоматичних вимикачів, плавких запобіжників і ін.) та відключення пошкодженої електроустановки.

Так у наведеному числовому прикладі струм силою  $I_{K3} = 27,5 A$  може привести до перегорання плавкої вставки запобіжника номінальним струмом не більш  $9 A$ . Відключення ж електроустановок, захищених запобіжниками  $Pr$  з більшими номінальними струмами плавких вставок, забезпечене не буде.

Таким чином, у мережах напругою до  $1000 B$  с глухозаземленою нейтраллю дія захисного заземлення не ефективна, чим і пояснюється неприпустимість його застосування в цих мережах.

Для експериментальної перевірки цих висновків необхідно повторити дослід пункту 7.1 попередньо заземливши нейтраль трансформатора (установивши перемикач  $R_0$  у положення  $4 Om$ , або інше положення за завданням викладача). Результати вимірів занести в таблицю 7.3

Таблиця 7.3

$R_0 = 4 Om$ $R_q = \kappa Om$	Корпус 2 не заземлен, $R_3 = \infty$	Корпус 2 заземлен, $R_3 = 4 Om$
$I_q, mA$		
$U_k, B$		

Оцінити ефективність дії захисного заземлення і зробити обґрунтований висновок про неприпустимість його застосування в мережах із глухозаземленою нейтраллю.

#### 7.4 Методика й алгоритм розрахунку захисного заземлення

Порядок проведення розрахунку наступний:

1. З'ясувати вихідні дані (додаток «Е»).

2. Визначити необхідний опір штучного заземлювача  $R_u$ , Ом, якщо передбачається використання також природного заземлювача  $R_u$ , за формулою:

$$R_u = \frac{R_e R_3}{R_e - R_3}, \text{ Ом}; \quad (7.1)$$

де  $R_e$  – опір розтіканню струму природних заземлювачів, Ом;

$R_3$  – розрахунковий нормований опір заземлювального пристрою (ЗП), Ом (додаток «А»).

При відсутності природних заземлювачів необхідний опір штучного заземлювача дорівнює розрахованому нормованому опору ЗП:  $R_u = R_3$ .

3. Визначити розрахунковий питомий опір ґрунту, для вертикальних і горизонтальних електродів, за формулою:

$$\rho_{\theta(z)} = \rho_{\text{вим}} \cdot \Psi_{\theta(z)}, \text{ Ом} \cdot \text{м}; \quad (7.2)$$

де  $\rho_{\theta}, \rho_z$  – розрахунковий питомий опір ґрунту вертикальних і горизонтальних електродів, Ом·м;

$\rho_{\text{вим}}$  – питомий опір ґрунту, отриманий у результаті вимірів, Ом·м;

$\psi_{\theta}, \psi_z$  – коефіцієнти сезонності, для вертикальних і горизонтальних електродів, що враховують промерзання чи висихання ґрунту (додатки «Г», «Д»)

4. Обчислити опір розтіканню струму одиночного вертикального заземлювача  $R_{\theta}$ , Ом. Для стрижневого заземлювача круглого перерізу, заглибленого в ґрунт (рисунок 7.3), розрахункова формула має вигляд:

$$R_{\theta} = \frac{\rho_{\theta}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\theta}} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l_{\theta}}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t_{\theta} + l_{\theta}}{5 \cdot t_{\theta} - l_{\theta}} \right), \text{ Ом}; \quad (7.3)$$

де  $\rho$  – розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом·м;

$l_{\theta}$  – довжина вертикального стрижня, м;

$d$  – діаметр перерізу стрижня, м;

$t_g$  – відстань від поверхні ґрунту до середини довжини вертикального стрижня, яка обчислюється за формулою:

$$t_g = 0,8 + \frac{1}{2} \cdot l_g, \text{ м.} \quad (7.4)$$

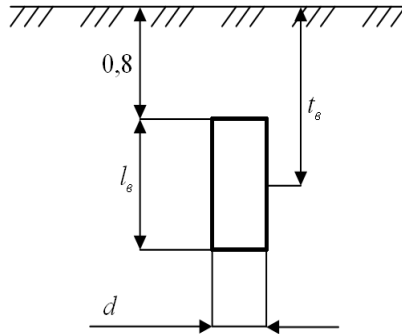


Рисунок 7.3 – Схема залягання стрижневого трубчастого заземлювача

5. Розрахувати наближену (мінімальну) кількість вертикальних стрижнів

$$n' = \frac{R_g}{R_u}, \text{ шт.} \quad (7.5)$$

де  $R_g$  – опір розтікання струму одиночного вертикального заземлювача, Ом;

$R_u$  – необхідний опір штучного заземлювача, Ом.

Якщо виходити з розмірів контуру:

$$n = \frac{P}{a}, \text{ шт.} \quad (7.6)$$

де  $P$  – периметр прямокутника (приміщення), м. Який визначається за формулою:

$$P = 2 \cdot (L + B), \text{ м.} \quad (7.7)$$

$L$  – довжина приміщення,  $m$ ;  
 $B$  – ширина приміщення,  $m$ ;  
 $a$  – відстань між стрижнями, обумовлена зі співвідношення,  $m$ :

$$a = k \cdot l_g; \quad (7.8)$$

де  $l_g$  – довжина вертикального стрижня,  $m$ ;

$k$  – коефіцієнт кратності, який дорівнює 1, 2, 3 (для заглиблених стаціонарних заземлювачів  $k = 1$ ).

Отриману кількість стрижнів округляють до більшого довідкового значення, але не менше  $n'$ .

6. Визначити довжину горизонтальної смуги при конфігурації групового заземлювача – контур:

$$l_2 = 1,05 \cdot a \cdot n, \quad (7.9)$$

де  $n$  – кількість вертикальних стрижнів;

$a$  – відстань між вертикальними стрижнями,  $m$ .

7. Обчислити опір розтіканню струму горизонтальної з'єднуючої смуги  $R_2$ ,  $Om$ . У випадку горизонтального смугового заземлювача (рисунок 7.4) розрахунок виконується за формулою:

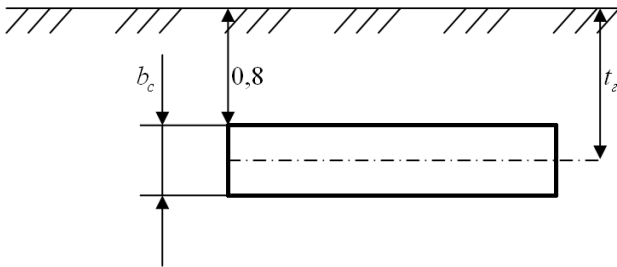


Рисунок 7.4 – Схема горизонтального смугового заземлювача

$$R_2 = \frac{\rho_2}{2 \cdot \pi \cdot l_2} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_2^2}{b_c \cdot t_2}, \quad Om; \quad (7.10)$$

де  $\rho$  – розрахунковий питомий опір ґрунту,  $Ом \cdot м$ ;

$l_z$  – довжина горизонтальної смуги,  $м$ ;

$b_c$  – ширина смуги,  $м$ ;

$t_z$  – відстань від поверхні ґрунту до середини ширини горизонтальної смуги, яка обчислюється за формулою:

$$t_z = 0,8 + \frac{1}{2} b_c, м. \quad (7.11)$$

8. Розрахувати еквівалентний опір розтіканню струму групового заземлювача.

$$R_{zp} = \frac{R_6 \cdot R_z}{R_6 \cdot \eta_z + R_z \cdot \eta_6 \cdot n}, Ом. \quad (7.12)^*$$

де  $R_6$  – опір розтікання струму одиночного вертикального заземлювача,  $Ом$ ;

$R_z$  – опір розтікання струму горизонтальної смуги,  $Ом$ ;

$\eta_6, \eta_z$  – коефіцієнти використання вертикальних стрижнів і горизонтальної смуги,  $Ом$  (додаток «Б», «В»);

$n$  – кількість вертикальних стрижнів.

9. Отриманий опір розтіканню струму групового заземлювача не повинен перевищувати необхідний опір, визначений у пункті 2.

$$R_{zp} \leq R_u. \quad (7.13)$$

---

\* Формулу 7.12 отримано шляхом підсумовування провідностей заземлювачів обох типів, оскільки вони працюють паралельно:

$$\frac{1}{R_{zp}} = \frac{1}{R_{zpc}} + \frac{1}{R_{zpz}} = \frac{n\eta_6}{R_6} + \frac{\eta_z}{R_z} = \frac{R_6\eta_z + R_z n\eta_6}{R_6 R_z}.$$



## 8. ЗМІСТ ЗВІТУ

Аудиторна частина звіту повинна містити:

- тему та мету заняття;
- основні пункти загальних теоретичних положень до лабораторного заняття;
- результати досліджень (таблиці 7.1, 7.2, 7.3, графік, рис 7.1);
- висновки.

Індивідуальна (самостійна) частина звіту повинна містити:

- вихідні данні згідно варіанта індивідуального завдання (Додаток «Е»);
- розрахунок захисного заземлення;
- висновки.

## 9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці [Текст] : підручник / В. Ц. Жидецький. - 5-те вид., доп. - Київ : Знання, 2014. – 373 с. + 1 эл. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-617-07-0134-3

2. Князевский Б. А. Охрана труда в электроустановках [Текст] : учебник / Б. А. Князевский [и др.] ; ред. Б. А. Князевский. - 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 336 с. : ил. - (Для студентов вузов).

3. Правила улаштування електроустановок [Текст] : Нормативне виробничо-практичне видання : вид. 5-те, перероблене й доповнене : затв. М-вом енергетики та вугільної промисловості України 20.06.14 : введення в дію з 20.11.14. – Х. : Міненерговугілля України, 2014. – 793 с. ; 24 см. – 5000 прим.

4. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд [Текст] : ДВН В.2.5-27-2006. - Вид. офіц. - Вперше; введ. 2006-10-01. - К. : Мінбуд України, 2006. - 154 с. - (Державні будівельні норми України).

5. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление [Текст] : стандарт / ГОСТ 12.1.030-81. ; введ. 1982-07-01 // Система стандартов безопасности труда. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – Изм. 1, (ИУС. 7-87) – 9 с.

## 10. ДОДАТКИ

### Додаток А

Найбільші допустимі значення опору заземлювальних пристроїв електроустановок -  $R_z$

Характеристика електроустановки, заземлювальний пристрій якої перевіряється	Значення питомого опору ґрунту $\rho$ , Ом·м	Значення опору заземлювального пристрою $R_z$ , Ом, не більше
1. Електроустановки напругою понад 1 кВ в електричних мережах з глухозаземленою нейтраллю, заземлювальний пристрій яких виконано за нормами на опір:	Для всіх $\rho$	0,5 (з урахуванням опору штучних і природних заземлювачів)
2. Електроустановки напругою понад 1 кВ у мережі з ізольованою нейтраллю (3-35 кВ)		
2.1 У разі використання заземлювального пристрою тільки для електроустановок напругою понад 1 кВ:	До 500 Понад 500	250/ $I_p$ , але не більше ніж 10 Ом 250/ $I_p \cdot 0,002\rho$
2.2 У разі використання заземлювального пристрою одночасно для електроустановок напругою понад і до 1 кВ:	До 500 Понад 500	67/ $I_p$ , і повинен відповідати вимогам пунктів 3.1 та 3.2 67/ $I_p \cdot 0,002\rho$
3. Електроустановки напругою до 1 кВ		
3.1 У мережі з глухозаземленою нейтраллю		
3.1.1 Приєднання нейтралі джерела живлення трифазного струму або виводу джерела однофазного струму до заземлювального пристрою з урахуванням використання всіх заземлювачів, приєднаних до PEN- (PE-) провідника (повторних і грозозахисних), якщо кількість відхідних ліній є не меншою двох для лінійних напруг (трифазного/однофазного струму), В:	до 100 (>100) до 100 (>100) до 100 (>100)	2 (2·0,01) $\rho$ 4 (4·0,01) $\rho$ 8 (8·0,01) $\rho$
660/380 380/220 220/127		

**Продовження додатку А**

Характеристика електроустановки, заземлювальний пристрій якої перевіряється	Значення питомого опору ґрунту $\rho$ , Ом·м	Значення опору заземлювального пристрою $R_z$ , Ом, не більше
3.1.2 Безпосереднє приєднання нейтралі джерела живлення трифазного струму або виводу джерела однофазного струму до заземлювача, розташованого біля джерела живлення, якщо виконується пункт 3.1.1 цієї таблиці для лінійних напруг (трифазного/однофазного струму). В: 660/380 380/220 220/127	до 100 (>100) до 100 (>100) до 100 (>100)	15 (2·0,01ρ) 30 (4·0,01ρ) 60 (8·0,01ρ)
3.2 У мережі з ізолюваною нейтраллю (система IT)		
Приєднання захисного PE-провідника до заземлювального пристрою у разі потужності джерела живлення: - понад 100 кВ·А  - до 100 кВ·А	До 500 Понад 500 До 500 Понад 500	4 4·0,002ρ 10 10·0,002ρ

**Додаток Б**

Коефіцієнти використання  $\eta_g$  вертикальних електродів групового заземлювача (труб, куточків і т.п.) без урахування впливу смуги зв'язку

Кількість заземлювачів	Коефіцієнти використання $\eta_g$	Кількість заземлювачів	Коефіцієнти використання $\eta_g$
4	0,69	34	0,428
6	0,61	36	0,422
8	0,59	38	0,416
10	0,57	40	0,41
12	0,55	42	0,408
14	0,53	44	0,406
16	0,51	46	0,404
18	0,49	48	0,402
20	0,47	50	0,4
22	0,464	52	0,398
24	0,458	54	0,396

**Продовження додатку Б**

26	0,452	56	0,394
28	0,446	58	0,392
30	0,44	60	0,39
32	0,434		

**Додаток В**

Коефіцієнти використання  $\eta_e$  горизонтального смугового електрода, що з'єднує вертикальні електроди (труби, куточки і т.п.) групового заземлювача

Кількість вертикальних електродів	Коефіцієнти використання $\eta_e$	Кількість вертикальних електродів	Коефіцієнти використання $\eta_e$
4	0,45	34	0,235
6	0,4	36	0,23
8	0,37	38	0,225
10	0,34	40	0,22
12	0,326	42	0,218
14	0,312	44	0,216
16	0,298	46	0,214
18	0,284	48	0,212
20	0,27	50	0,21
22	0,265	52	0,208
24	0,26	54	0,206
26	0,255	56	0,204
28	0,25	58	0,202
30	0,245	60	0,2
32	0,24		

*Додаток Г*Коефіцієнти сезонності  $\Psi$  для шару сезонних змін у багатошаровому ґрунті

Кліматична зона	Умовна товщина шару сезонних змін, <i>м</i>	Вологість землі під час вимірювань її опору		
		Підвищена	нормальна	мала
I	2,2	7,0	4,0	2,7
II	2,0	5,0	2,7	1,9
III	1,8	4,0	2,0	1,5
IV	1,6	2,5	1,4	1,1

*Додаток Д*Коефіцієнти сезонності  $\psi$  для однорідного ґрунту

Кліматична зона	Стан землі під час вимірювань її опору при вологості		
	підвищений	нормальний	малій
Вертикальний електрод довжиною 3 <i>м</i>			
I	1,9	1,7	1,5
II	1,7	1,5	1,3
III	1,5	1,3	1,2
IV	1,3	1,1	1,0
Вертикальний електрод довжиною 5 <i>м</i>			
I	1,5	1,4	1,3
II	1,4	1,3	1,2
III	1,3	1,2	1,1
IV	1,2	1,1	1,0
Горизонтальний електрод довжиною 10 <i>м</i>			
I	9,3	5,5	4,1
II	5,9	3,5	2,6
III	4,2	2,5	2,0
IV	2,5	1,5	1,1
Горизонтальний електрод довжиною 50 <i>м</i>			
I	7,2	4,5	3,6
II	4,8	3,0	2,4
III	3,2	2,0	1,6
IV	2,2	1,4	1,12

## Додаток Е

## Перелік індивідуальних завдань до розрахунку захисного заземлення

№ п/п	U, В	Розмір приміщення, м		R <sub>е</sub> , Ом	Параметри вертикально стрижня, м		Ширина смуги, м	P <sub>вим</sub> , Ом·м	Кліматична зона	Склад грунту	Вологість грунту
		L	B		l <sub>b</sub>	d					
1	380	12	6	9	3	0,012	0,032	100	II	Однорідний	Нормальна
2	380	5	5	6	5	0,01	0,04	90	I	Однорідний	Нормальна
3	380	7	3	8	3	0,012	0,025	92	III	Однорідний	Нормальна
4	380	8	4	12	5	0,01	0,028	94	IV	Однорідний	Нормальна
5	380	12	7	10	3	0,014	0,03	96	I	Однорідний	Нормальна
6	380	14	10	16	5	0,016	0,034	98	II	Однорідний	Нормальна
7	380	18	5	18	3	0,018	0,036	102	III	Однорідний	Нормальна
8	380	6	5	6	5	0,01	0,038	104	IV	Однорідний	Нормальна
9	380	9	7	7	3	0,014	0,04	106	I	Однорідний	Нормальна
10	380	13	4	10	5	0,01	0,042	108	II	Однорідний	Нормальна
11	380	11	5	11	3	0,012	0,046	110	III	Однорідний	Нормальна
12	380	10	10	14	5	0,014	0,048	114	IV	Однорідний	Нормальна
13	380	16	14	9	3	0,016	0,035	118	I	Однорідний	Нормальна
14	380	13	12	17	5	0,018	0,045	120	II	Однорідний	Нормальна
15	380	30	12	20	3	0,01	0,04	124	II	Однорідний	Нормальна
16	380	22	16	–	5	0,012	0,025	126	IV	Однорідний	Нормальна
17	380	15	9	–	3	0,014	0,04	80	III	Однорідний	Нормальна
18	380	5	4	6	5	0,016	0,036	82	I	Однорідний	Нормальна
19	380	6	5	8	3	0,018	0,038	84	II	Однорідний	Нормальна
20	380	6	6	10	5	0,01	0,03	86	II	Однорідний	Нормальна
21	380	8	6	14	5	0,01	0,044	76	IV	Однорідний	Нормальна
22	380	11	6	13	3	0,012	0,046	78	I	Однорідний	Нормальна
23	380	13	8	18	5	0,014	0,032	130	III	Однорідний	Нормальна
24	380	19	8	–	3	0,016	0,035	132	IV	Однорідний	Мала
25	380	20	6	–	5	0,018	0,045	134	IV	Однорідний	Нормальна
26	380	18	18	10	3	0,01	0,048	136	I	Однорідний	Нормальна
27	380	14	12	14	5	0,012	0,05	140	II	Однорідний	Нормальна
28	380	15	14	12	3	0,01	0,025	142	III	Однорідний	Нормальна
29	380	13	11	18	5	0,012	0,028	144	IV	Однорідний	Нормальна
30	380	40	22	–	3	0,014	0,032	150	II	Однорідний	Нормальна
31	380	6	6	12	5	0,016	0,03	78	I	Однорідний	Нормальна
32	380	17	7	10	3	0,018	0,04	152	III	Однорідний	Нормальна



