

## ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ 6 ПРОЄКТУВАННЯ ЗАХИСНОГО ЗАЗЕМЛЕННЯ

Захисне заземлення – навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою внаслідок замикання на корпус або з інших причин.

Еквівалентом землі може бути вода річки чи іншого водоймища, пласт вугілля або руди в шахті тощо.

Призначення захисного заземлення - усунення небезпеки ураження струмом у випадку дотику до корпусу електроустановки та інших неструмоведучих металевих частин, які опинилися під напругою.

Захисне заземлення слід відрізнити від робочого заземлення та заземлення блискавкозахисту.

Принцип дії захисного заземлення - зниження до безпечного значення напруг дотику і кроку. Це досягається шляхом зменшення потенціалу заземленого обладнання, а також шляхом вирівнювання потенціалів основи, на якій стоїть людина, і заземленого обладнання.

Якщо людина доторкнеться до незаземленого корпусу електроустановки, що знаходиться під напругою, по тілу піде струм замикання на землю (рис. 9.1), який в деяких випадках може бути небезпечним для життя. Якщо корпус заземлений, основний струм піде по заземлювальному пристрою, опір якого в багато разів менше опору тіла. Через людину піде в цьому випадку малий струм, безпечний для життя.

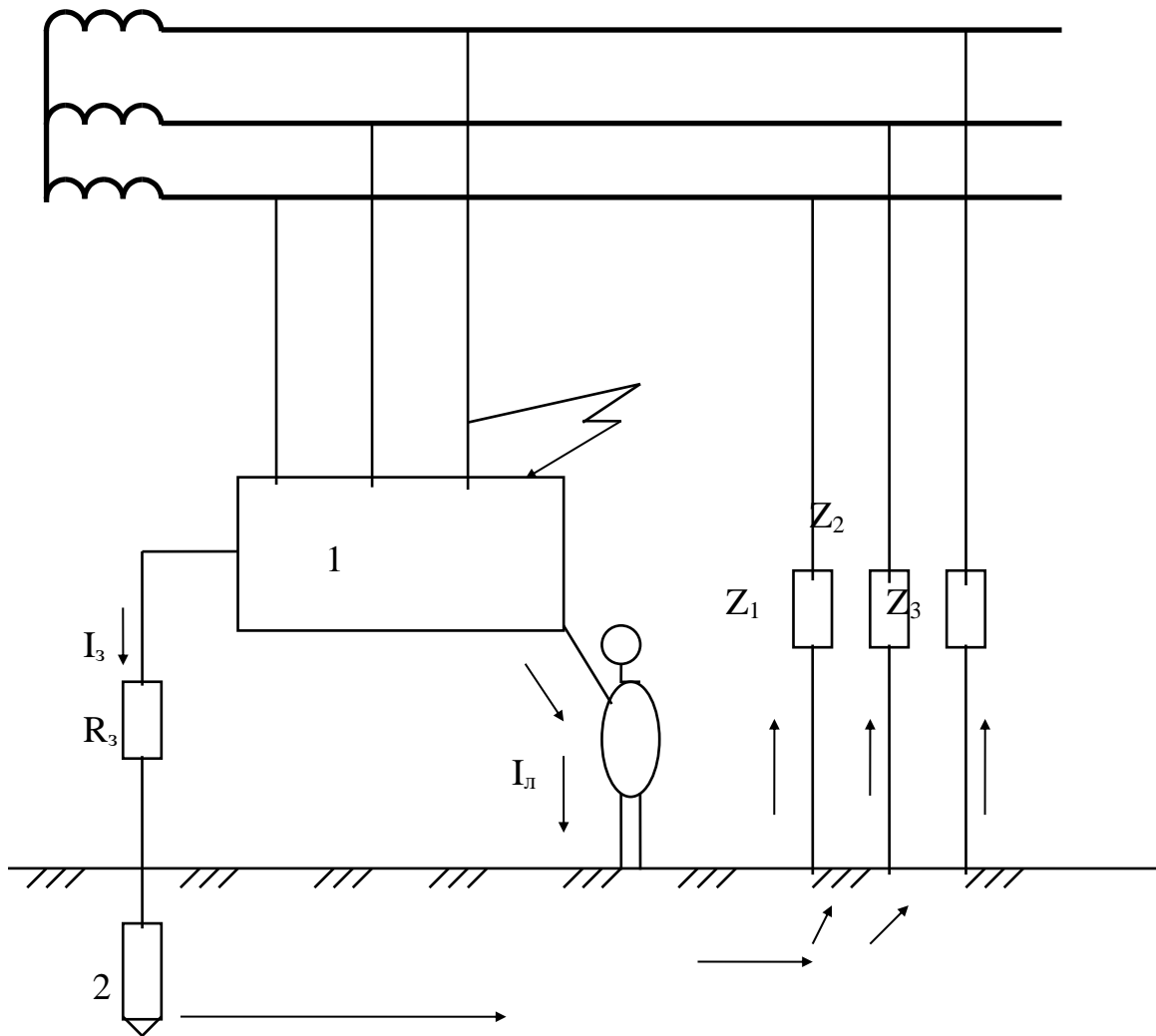
Захисне заземлення застосовується в мережах напругою до 1000 В змінного струму - трифазних трипровідних з ізольованою нейтраллю, однофазних двопровідних, ізольованих від землі, а також у мережах постійного струму - двопровідних з ізольованою середньою точкою обмоток джерела струму. У мережах напругою вище 1000 В змінного і постійного струму захисне заземлення застосовується при будь-якому режимі нейтральної або середньої точки обмоток джерел струму.

Заземлюючий пристрій складається з заземлювача і заземлюючих провідників. Заземлювач - провідник, що знаходиться в безпосередньому контакті з землею. Заземлюючі провідники з'єднують обладнання, що заземлене, з заземлювачем.

Розрізняють заземлювачі штучні, призначені виключно для цілей заземлення, і природні - металеві предмети іншого призначення, що перебувають у землі.

Для штучних заземлювачів застосовують зазвичай вертикальні і горизонтальні електроди. В якості вертикальних електродів використовують сталеві труби діаметром 5 ... 6 см з товщиною стінки не менше 3,5 мм, кутову сталь з товщиною полиць не менше 4 мм, прутки діаметром не менше 10 мм.

Для зв'язку вертикальних електродів і як самостійний горизонтальний електрод застосовують смугову сталь перерізом не менш 4×12 мм і сталь круглого перерізу діаметром не менш 6 мм.



1- заземлене обладнання; 2 - заземлювач;  $I_3$  - струм, що іде через заземлювач;  $I_{л}$  - струм, що іде через людину;  $R_3$  - опір заземлення;  $Z_i$ - повний опір ізоляції фази.

Рисунок 9.1 – Захисне заземлення

Як природні заземлювачі можуть використовуватися прокладені у землі водопровідні та інші металеві труби (за винятком трубопроводів горючих рідин, горючих або вибухонебезпечних газів), металеві та залізобетонні конструкції будівель і споруд, свинцеві оболонки кабелів тощо.

Захисному заземленню підлягають металеві неструмоведучі частини електрообладнання, які внаслідок несправності ізоляції та інших причин можуть опинитися під напругою і до яких можливий дотик.

У приміщеннях без підвищеної небезпеки заземлення обов'язково при напрузі 500 В і вище змінного і постійного струму.

У приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних, а також в зовнішніх установках заземлення обов'язково при напрузі вище 42 В змінного струму і вище 110 В постійного струму.

У вибухонебезпечних зонах заземлення виконується незалежно від значення напруги.

Розрахунок захисного заземлення зводиться до визначення числа, розмірів та порядку розміщення заземлювачів. Якщо розміри вертикальних електродів і порядок їх розташування задані, необхідно знайти їх кількість, при якому напруги дотику і кроку в період несправності не перевищують допустимих значень.

Розрахунок можна вести виходячи з найбільшого допустимого опору заземлюючого пристрою  $R_n$  або з допустимих напруг дотику  $U_{дд}$  і кроку  $U_{дк}$ .

Найбільші допустимі значення опору заземлюючого пристрою становлять:

- для установок до 1000 В - 4 Ом, а при сумарній потужності генераторів або трансформаторів, що живлять дану мережу не більше 100 кВА - 10 Ом;
- для установок вище 1000 В при ефективно заземленій нейтралі - 0,5 Ом;
- для установок вище 1000 В при ізольованій нейтралі -  $250 / I_3 \leq 10$  Ом, де  $I_3$  - струм замикання на землю, А;
- якщо заземлювач використовується одночасно для установок, які живляться від мереж з ізольованою нейтраллю до 1000 В і вище 1000 В -  $125 / I_3 \leq 10$  Ом.

Струм замикання на землю для мережі напругою вище 1000 В з ізольованою нейтраллю приблизно може бути визначений з виразу, А:

$$I_3 = U_{л}(35L_{к} + L_{п})/350,$$

де  $L_{к}$  и  $L_{п}$  - довжини електрично зв'язаних відповідно кабельних та повітряних ліній, км.

Якщо при розрахунку заземлювача виходити з допустимих значень напруг дотику і кроку, необхідно визначити найбільше допустиме значення опору заземлювача:

за напругою дотику, Ом

$$R_n = U_{дд}/I_3\alpha_1\alpha_2$$

за напругою кроку

$$R_n = U_{дк}/I_3\beta_1\beta_2,$$

де  $\alpha_1, \alpha_2$ —коефіцієнти дотику;  $\beta_1, \beta_2$ —коефіцієнти кроку, що знаходяться з таблиць. Для найгірших умов  $\alpha_1 = \alpha_2 = \beta_1 = \beta_2 = 1$ .

Розрахунок кількості штучних вертикальних заземлювачів ведеться в наступній послідовності.

За довідковими даними приймається питомий електричний опір ґрунтур<sub>о</sub>. Сезонні коливання опору верхнього шару ґрунту враховуються коефіцієнтом сезонності  $\psi$ . Для Запорізького регіону можна вважати  $\psi_{в} = 1,3$  у випадку вертикального заземлювача,  $\psi_{г} = 2,5$  у випадку горизонтального заземлювача довжиною 10 м і менш,  $\psi_{г} = 2,0$  - довжиною 50 м і більш. У

проміжних випадках значення коефіцієнта знаходиться інтерполяцією. Розрахункове значення питомого опору ґрунту, Ом · м :

$$\rho = \psi \rho_0$$

Опір розтіканню струму одиночного вертикального стержня (труби), верхній кінець якого знаходиться на рівні землі, Ом:

$$R_0 = (\rho / 2\pi l) \ln(4 l / d),$$

де  $l$  - довжина стержня, м;  $d$  - його діаметр, м.

Якщо верхній кінець стержня заглиблений нижче рівня землі на глибину  $t$ , опір розраховується за формулою, Ом:

$$R_0 = (\rho / 2\pi l) [\ln 2 l / d + 0,5 \ln(4t + 3 l) / (4t + l)]$$

Орієнтовна кількість вертикальних заземлювачів:

$$n = 1,3 R_0 / R_H$$

Знаючи кількість заземлювачів і відстань між ними, можна визначити довжину горизонтальної сполучної смуги  $l_r$ . З урахуванням розташування електродів (в ряд або по контуру чи іншим способом, рис. 9.2) знаходяться коефіцієнти використання, що враховують взаємне екранування, для вертикальних заземлювачів  $\eta_v$  і для горизонтальної сполучної смуги  $\eta_r$  (додаток Б).

Опір групи вертикальних заземлювачів з урахуванням екранування, Ом:

$$R_v = R_0 / n \eta_v$$

Опір горизонтальної смуги, що лежить на поверхні землі, з урахуванням екранування, Ом:

$$R_r = (\rho / \pi l_r \eta_r) \ln(4 l_r / b),$$

де  $b$  - ширина смуги, м.

Якщо смуга розташована на глибині  $t$ , використовується формула, Ом:

$$R_r = (\rho / 2\pi l_r \eta_r) \ln(2 l_r^2 / bt)$$

Опір розтіканню струму заземлювача в цілому, Ом:

$$R_3 = R_v R_r / (R_v + R_r)$$

Якщо отримане значення опору виявиться більше нормативного, збільшують кількість вертикальних заземлювачів і повторюють розрахунок. Якщо розрахункове значення значно менше нормативного, кількість вертикальних стрижнів зменшують.

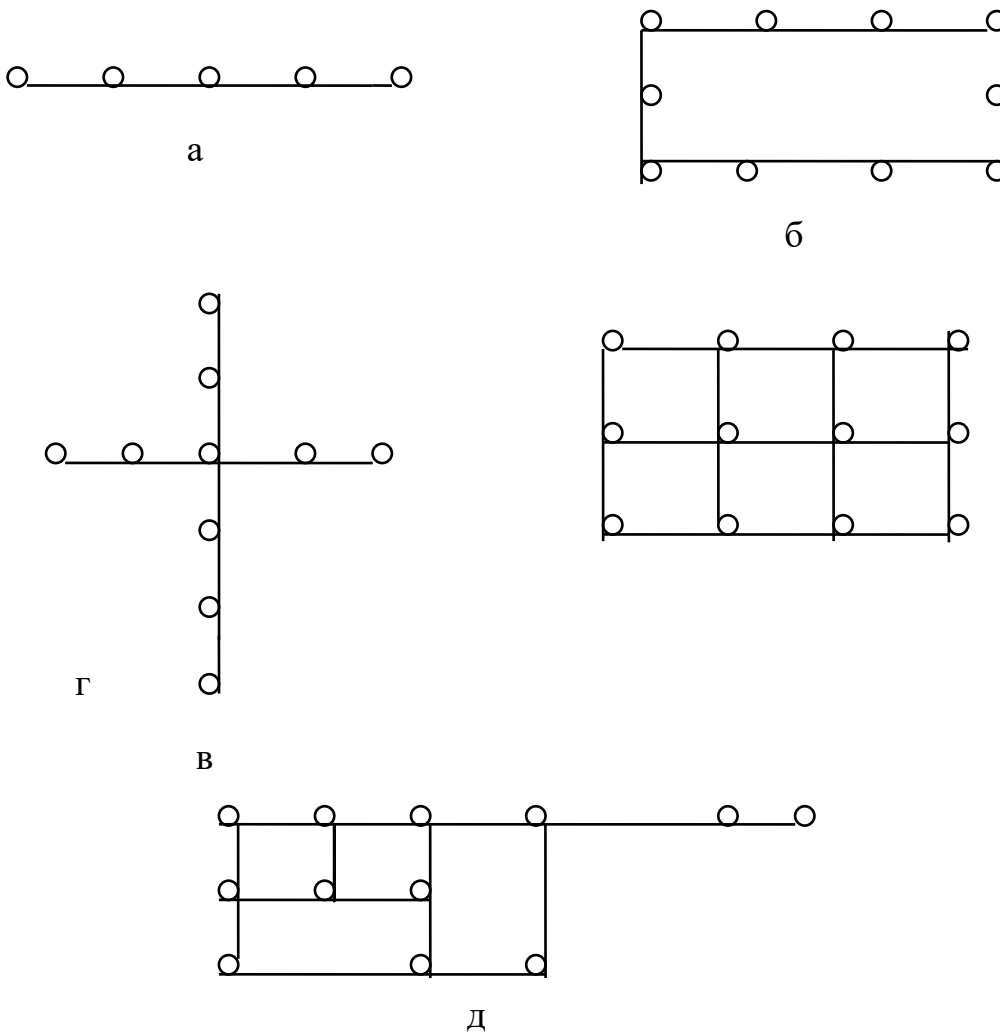
При використанні в якості природного заземлювача арматури залізобетонного фундаменту площею  $S$ ,  $m^2$ , опір розтіканню струму такого заземлювача, Ом:

$$R_n = \frac{\rho}{2\sqrt{S}}$$

Якщо опір природного заземлювача більше нормативного, то додатково застосовують штучний заземлювач. Його допустимий опір, Ом:

$$R_{доп} = R_{п}R_{н}/(R_{е} - R_{н})$$

Розрахунок складних заземлювачів і заземлювачів в двошаровому ґрунті див.: П.А. Долін. Основи техніки безпеки в електроустановках.



а - в ряд; б - по контуру; в - променево; г - увигляді сітки; д - складне  
Рисунок 9.2 – Схеми розміщення вертикальних заземлювачів

## Приклад 9.1

Штучний груповий заземлювач являє собою вертикальні труби, з'єднані горизонтальною смугою, що лежить на поверхні землі. Розташування вертикальних електродів – в ряд. Потрібно знайти їх кількість, якщо нормативний опір розтіканню струму заземлювача – 4 Ом.

Вихідні дані: довжина вертикальної труби  $l = 5$  м; діаметр вертикальної труби  $d = 6$  см; відстань між вертикальними електродами  $a = 5$  м; ширина горизонтальної сполучної смуги  $b = 5$  см; питомий електричний опір ґрунту  $\rho = 20$  Ом м.

Розрахунок ведемо в наступній послідовності (розділ 9). Визначаємо розрахункове значення опору ґрунту для вертикального електрода, Ом м:

$$\rho_v = 1,3 \cdot 20 = 26$$

Опір розтіканню струму одиночного вертикального заземлювача, Ом:

$$R_o = (26/2 \cdot 3,14 \cdot 5) \ln(4 \cdot 5/0,06) = 4,81$$

Орієнтовна кількість вертикальних електродів:

$$n = 1,3 \cdot 4,81 / 4 = 1,56$$

Приймаємо  $n = 2$  Довжина сполучної смуги, м:

$$l_r = 5(2-1) = 5$$

За додатком Б знаходимо коефіцієнти екранування:

$$\eta_v = 0,85 \qquad \eta_r = 0,85$$

Опір групи вертикальних електродів, Ом:

$$R_v = 4,81/2 \cdot 0,85 = 2,83$$

Розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтальної смуги, Ом м:

$$\rho_r = 2,5 \cdot 20 = 50$$

Опір сполучної смуги з урахуванням екранування, Ом:

$$R_r = (50/3,14 \cdot 5 \cdot 0,85) \ln(4 \cdot 5/0,05) = 22,45$$

Опір заземлювача в цілому, Ом:

$$R_3 = 2,83 \cdot 22,45 / (2,83 + 22,45) = 2,51$$

Розрахункове значення не перевищує допустиме (4 Ом), тому остаточно приймаємо кількість вертикальних електродів – 2.

### Приклад 9.2

В якості природного заземлювача електроустановки напругою 380 В використовується залізобетонний фундамент будівлі прямокутної форми розмірами 20×8 м. Ґрунт – суглинок. Потрібно визначити опір розтіканню струму додаткового штучного заземлювача, якщо до мережі приєднане навантаження 1000 кВА.

За додатком А знаходимо питомий електричний опір ґрунту – 100 Ом м. Коефіцієнт сезонності – 1,3.

Розрахунковий опір ґрунту для природного заземлювача, Ом м:

$$\rho_{\text{п}} = 1,3 \cdot 100 = 130$$

Площа фундаменту, м<sup>2</sup>:

$$S = 20 \cdot 8 = 160$$

За рівнянням (розділ 9) опір розтіканню струму природного заземлювача, Ом:

$$R_{\text{п}} = \frac{0,5 \cdot 130}{\sqrt{160}} = 5,14$$

Так як приєднана до мережі потужність більш 100 кВА, нормативний опір заземлювача складе 4 Ом.

Опір додаткового заземлювача, Ом:

$$R_{\text{дод}} = 5,14 \cdot 4 / (5,14 - 4) = 18$$

### Задача 44

Як штучний заземлювач використовуються труби діаметром 50 мм, заглиблені вертикально врівень з землею, з'єднані сталевий смугою шириною 40 мм. Розміщення вертикальних заземлювачів в непарних варіантах – в ряд, в парних – по контуру. Визначити необхідну кількість вертикальних заземлювачів.

Лінійна напруга в мережі – 380 В. Потужність трансформатора, що живить мережу в варіантах №№ 6, 7, 8 – менше 100 кВА, в інших випадках – більш 100 кВА.

№ варіанта	Ґрунт	довжина заземлювача, м	Відстань між між заземлювачами, м
1	торф	1,5	3
2	чорнозем	1,75	3,3

3	Садова земля	3	5
4	глина	4,25	4
5	суглинок	4,4	9
6	супісок	4,5	5
7	пісок	5	5
8	кам'янистий	6	12
9	чорнозем	2,1	4
10	суглинок	4	5

### Задача 45

Вирішити задачу 44 за умови, що верхні кінці труб і сполучна смуга знаходяться на глибині  $t$ .

№вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t$ , м	0,6	0,2	1,0	0,5	0,3	1,2	2	1,5	1,5	1,3

### Довідкові дані (Електробезпека)

Таблиця 1 – Середні значення питомого електричного опору ґрунту при вологості 10 ... 20%

ґрунт	$\rho$ , Ом·м
глина	40
суглинок	100
пісок	700
супісок	300
торф	20
чорнозем	20
садова земля	40
кам'янистий	800

### Коефіцієнти використання (екранування) заземлювачів.

$N$  – число вертикальних заземлювачів (стрижнів, труб, куточків тощо);  
 $A$  – відношення відстані між вертикальними заземлювачами до їх довжини. В чисельнику дані значення коефіцієнтів при розміщенні в ряд, в знаменнику – по контуру.

Таблиця 2 – Коефіцієнти використання вертикальних заземлювачів  $\eta_B$ .

$n$	$A = 0,5$	$A = 1$	$A = 2$	$A = 3$
2	0,73/-	0,85/-	0,91/-	0,94/-
3	0,63/-	0,78/-	0,86/-	0,91/-
4	0,58/0,54	0,74/0,69	0,83/0,78	0,88/0,85
5	0,53/0,50	0,70/0,65	0,81/0,75	0,87/0,82
6	0,48/0,47	0,63/0,62	0,77/0,73	0,83/0,80
8	0,45/0,43	0,61/0,58	0,76/0,71	0,82/0,78



10	0,43/0,40	0,59/0,55	0,75/0,69	0,81/0,76
20	0,34/0,33	0,49/0,47	0,68/0,64	0,77/0,71
30	0,30/0,30	0,43/0,43	0,65/0,60	0,75/0,68
40	- /0,28	- /0,41	- /0,58	- /0,67
50	- /0,27	- /0,40	- /0,56	- /0,66
60	- /0,27	- /0,39	- /0,55	- /0,64
70	- /0,26	- /0,38	- /0,54	- /0,64
100	- /0,24	- /0,35	- /0,52	- /0,62

Таблиця 3 – Коефіцієнти використання горизонтальної смуги $\eta_r$ .

<b>n</b>	<b>A = 0,5</b>	<b>A = 1</b>	<b>A = 2</b>	<b>A = 3</b>
2	0,73/-	0,85/-	0,94/-	0,96/-
3	0,64/-	0,80/-	0,92/-	0,95/-
4	0,60/0,38	0,77/0,45	0,89/0,55	0,92/0,70
5	0,56/0,35	0,74/0,42	0,86/0,51	0,90/0,67
6	0,53/0,32	0,71/0,40	0,83/0,48	0,88/0,64
8	0,48/0,28	0,66/0,36	0,79/0,43	0,85/0,60
10	0,45/0,26	0,62/0,34	0,75/0,40	0,82/0,56
20	0,30/0,20	0,42/0,27	0,56/0,32	0,68/0,45
30	0,22/0,17	0,31/0,24	0,46/0,30	0,58/0,41
40	- /0,16	- /0,22	- /0,29	- /0,39
50	- /0,15	- /0,21	- /0,28	- /0,37
60	- /0,14	- /0,20	- /0,27	- /0,36
70	- /0,14	- /0,20	- /0,26	- /0,35
100	- /0,13	- /0,19	- /0,24	- /0,33