

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ФАКУЛЬТЕТ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Кафедра «Охорони праці та навколишнього середовища»

Сударський В.М., Ворожбіян М.І., Бугайченко І.І.

**Методичні вказівки до дипломного проектування
до виконання розрахунків з електробезпеки
для студентів всіх спеціальностей та форм навчання
освітньо-кваліфікаційних рівнів «спеціаліст» і «магістр»**

Завідувач кафедри ОП і НС проф.

М.І. Ворожбіян

Методичні вказівки розглянуті і одобрені методичною комісією

ф-ту УПП

протокол № від р.

Голова МК ф-ту УПП доц.

С.М. Продашук

Декан факультету УПП доц.

Д.І. Мкртичян

Автори

проф.

В.М. Сударський

проф.

М.І. Ворожбіян

ст. викл.

І.І. Бугайченко

ХАРКІВ – 2014

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри охорони праці та навколишнього середовища 19 травня 2014 р., протокол № 14.

Укладачі:

професори В.М. Сударський,
М.І. Ворожбіян,
І.І.Бугайченко

Рецензент

доц. М.О. Мороз

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Класифікація приміщень за небезпекою ураження людини електричним струмом та умовами виробничого середовища.....	5
2 Заходи захисту від ураження електричним струмом.....	7
3 Захисне заземлення.....	8
3.1 Призначення, принцип дії та сфера застосування.....	8
3.2 Заземлювальні пристрої.....	9
3.3 Розрахунок захисного заземлення.....	10
3.4 Експлуатація заземлювальних пристроїв.....	17
4 Занулення.....	17
4.1 Призначення, принцип дії та сфера застосування.....	17
4.2 Розрахунок занулення.....	19
4.3 Контроль справності занулення.....	25
Список літератури.....	26

ВСТУП

Електробезпека – система організаційних і технічних заходів і засобів, які забезпечують захист працівників від небезпечного та шкідливого впливу електричного струму, електромагнітного поля, електричної дуги та зарядів статичного електричного поля.

Електрообладнання, яке виробляється промисловістю і перебуває в експлуатації, а також технологічне обладнання забезпечують безпеку обслуговуючого персоналу за умови виконання правил електробезпеки.

До основних негативних факторів, які часто присутні під час виконання робіт в електроустановках, належать: виконання робіт при підвищеній відносній вологості повітря, у тому числі при атмосферних опадах; проведення робіт в умовах підвищеної запиленості повітря; виконання робіт на пересувних, переносних і тимчасових електроустановках.

Таке положення ставить підвищені вимоги до навчання персоналу, який обслуговує електроустановки, вимагає суворої дисципліни та відповідальності як лінійного персоналу, так і керівників робіт.

У цьому плані виконання вимог «Правил безпечної експлуатації електроустановок» (ПБЕЕ), «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» (ПТЕЕС), «Правил улаштування електроустановок» (ПУЕ) є гарантією безпечного вирішення виробничих завдань.

Метою цих методичних вказівок є ознайомлення з основними засобами та методами захисту від ураження електричним струмом.

Наведено основні поняття і положення про захисне заземлення (занулення), конструктивні особливості. Вказано основні електричні характеристики, вимоги ПУЕ до заземлення (занулення), способи реалізації, різні довідкові дані і формули для розрахунку.

1 КЛАСИФІКАЦІЯ ПРИМІЩЕНЬ ЗА НЕБЕЗПЕКОЮ УРАЖЕННЯ ЛЮДИНИ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ ТА УМОВАМИ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА

Ураження електричним струмом значною мірою залежить від метеорологічних умов виробничих приміщень. Ці умови можуть сприяти збільшенню або зниженню ураження людини електричним струмом.

Підвищена вологість і висока температура повітря під час роботи з технічним електрообладнанням хімічних лабораторій, пари кислот і лугів можуть руйнувати ізоляцію проводів, різко погіршуючи її діелектричні властивості, і, отже, сприяють переходу напруги на неструмопровідні частини електроустаткування.

З іншого боку, висока температура повітря сприяє рясному потовиділенню, а висока відносна вологість сприяє поганому випару поту зі шкіри людини і, отже, зволоженню шкіри людини в процесі роботи. А опір зволоженої шкіри різко знижує загальний електричний опір тіла людини, а це у свою чергу збільшує струм через тіло людини і небезпеку його ураження.

Струмопровідні підлоги – земляні, бетонні, залізобетонні також збільшують небезпеку ураження людини електричним струмом при роботі і технічному обслуговуванні і приладового устаткування виробничих підприємств. Технічне обслуговування електроустановок на підприємствах часто виконується за таких умов, де можливий одночасний випадковий дотик, з одного боку, до струмопровідної частини, а з іншого – до металевих частин електроустаткування, що має добре з'єднання з землею. Зазначені вище умови визначають ступінь небезпеки ураження людини електричним струмом.

Усі виробничі приміщення за ступенем небезпеки ураження людини електричним струмом та залежно від стану виробничого середовища за Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) поділяються:

1) на приміщення з підвищеною небезпекою, що характеризуються наявністю в них одного з таких факторів небезпеки:

– сирість (відносна вологість повітря тривалий час перебільшує 75 %); наявність струмопровідного пилу, що може осідати на провідниках, проникати всередину машин, апаратів і т. д.;

– струмопровідна підлога (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо); висока температура повітря (постійно або періодично перебільшує 35 °С, наприклад, приміщення з сушарками, котельні тощо);

– можливість одночасного дотику людини до металоконструкцій будівель, технологічних апаратів, механізмів тощо, що мають з'єднання з землею, з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування – з іншого;

2) особливо небезпечні приміщення, що характеризуються наявністю в них одного з таких факторів небезпеки:

– особлива сирість (відносна вологість повітря наближена до 100 %; стеля, стіни, підлога і предмети, що є в приміщенні, покриті вологою);

– наявність хімічно активного або органічного середовища (агресивні пари, гази, рідини, утворюються відкладення або цвіль, що руйнують ізоляцію і струмопровідні частини електроустаткування);

– одночасна наявність двох або більше факторів небезпеки, що характеризують приміщення з підвищеною небезпекою;

3) приміщення без підвищеної небезпеки – це такі, у яких відсутні вищеперелічені фактори небезпеки.

Небезпека ураження електричним струмом існує всюди, де використовуються електроустановки, тому приміщення без підвищеної небезпеки не можна назвати безпечними.

Територія, де розміщені зовнішні електроустановки, належить до особливо небезпечних.

Категорію приміщень та умов праці за ступенем небезпеки ураження людини електричним струмом визначають особи, які відповідають за електрогосподарство, разом з технологами та інженерами з охорони праці виходячи з місцевих умов і відповідно до вищенаведеної класифікації.

2 ЗАХОДИ ЗАХИСТУ ВІД УРАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ

З урахуванням умов праці в структурних підрозділах залізничного транспорту загальними заходами і засобами захисту від ураження електричним струмом є:

- застосування ізоляції: робочої, допоміжної, подвійної, посиленої;
- забезпечення недоступності для випадкового дотику до струмопровідного устаткування (застосування стаціонарних огорожень, розташування неізольованих електропроводів на великій висоті);
- захисні огороження і закриття струмопровідних частин;
- блокування: механічні, електричні;
- застосування малих напруг під час роботи з переносними електроінструментами та приладами;
- застосування розподільних трансформаторів;
- вирівнювання потенціалів;
- попереджувальні засоби: сигналізація звукова або світлова, плакати;
- захист в аварійних режимах: захисне заземлення, занулення, захисне вимкнення;
- застосування електрозахисних засобів: ізолюючих (при роботах на електроустановках з напругою до 1 кВ використовують діелектричні рукавички, ізольовані штанги, інструменти з ізольованими ручками, струмовимірювальні кліщі, діелектричні калоші, килимки, ізольовані підставки; при роботах на електроустановках з напругою понад 1 кВ – ізольовані штанги, струмовимірювальні та ізолювальні кліщі, покажчики напруги, діелектричні рукавички, діелектричні калоші, килимки, ізольовані підставки), огорожувальних (переносні огорожі, щити та інші засоби), запобіжних (від випадкового падіння з висоти застосовують запобіжні пояси, для забезпечення безпечного піднімання на висоту – драбини, «кігті», для зменшення негативної дії світлової, теплової енергії та дії електромагнітного поля – захисні окуляри, щитки, рукавички, спецодяг тощо).

3 ЗАХИСНЕ ЗАЗЕМЛЕННЯ

3.1 Призначення, принцип дії та сфера застосування

Однофазні замикання струму, які можуть виникати в електричних машинах, апаратах, на ЛЕП, небезпечні тим, що на корпусах і опорах з'являються напруги, достатні для ураження людини і виникнення пожежі. Струм замикання створює небезпечні напруги не тільки на самому обладнанні, а й біля нього, розтікаючись з основ і фундаментів.

Захист від ураження електричним струмом і загорянь можна здійснити захисним заземленням, за рахунок зниження напруги дотику і кроку до безпечних значень (рисунок 3.1).

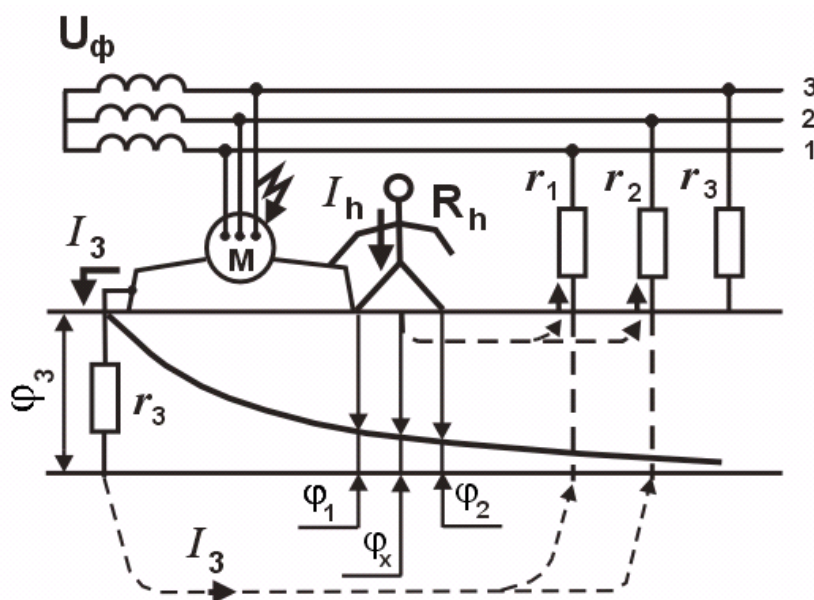


Рисунок 3.1 – Принципова схема захисного заземлення в мережах трифазного струму

Захисне заземлення – це навмисне з'єднання з землею металевих частин обладнання, які у звичайних умовах знаходяться не під напругою, але можуть опинитися під напругою при порушенні ізоляції електроустановок.

Захисне заземлення призначається для захисту від ураження електричним струмом в електроустановках напругою до 1000 В змінного струму з ізольованою нейтраллю та постійного струму з ізольованою середньою точкою, а також із напругою, вищою за

1000 В, змінного і постійного струмів із будь-яким режимом нейтралі.

У мережах з ізолюваною нейтраллю (див. рисунок 3.1) струму однофазного замикання недостатньо для надійного вимикання аварійної ділянки, тому застосовують захисне заземлення. Зниження напруги дотику і кроку досягається шляхом зменшення потенціалу заземленого обладнання (зменшенням опору заземлювача), а також шляхом вирівнювання потенціалів основи, на якій стоїть людина, і заземленого обладнання (підвищення потенціалу основи, на якому стоїть людина, до значення, близького до значення потенціалу заземленого обладнання).

Захисне заземлення слід відрізнити від робочого заземлення (наприклад, нейтральних точок обмоток генератора, трансформаторів і заземлення блискавкозахисту).

При замиканні струму на корпус нормально ізолювані частини електрообладнання опиняться під напругою. Доторкнувшись до них, людина потрапляє під напругу дотику. Вона буде дорівнювати різниці між повною напругою на корпусі, до якого торкається людина рукою, і потенціалом поверхні землі, підлоги, де вона стоїть:

$$U_{\text{ДП}} = \varphi_3 - \varphi_x = \varphi_3(1 - \varphi_x / \varphi_3) = \varphi_3 \cdot \alpha_1,$$

де α_1 – коефіцієнт дотику, що враховує форму потенціальної кривої; $\alpha_1 = (1 - \varphi_x / \varphi_3) \leq 1$; $\varphi_3 = I_3 \cdot r_3$.

У місцях, де розташовані ступні ніг, на поверхні землі є різні електричні потенціали (φ_1 і φ_2) і на довжині кроку виникає напруга, що відповідає різниці цих потенціалів.

Напруга між двома точками ланцюга струму, що знаходяться на відстані кроку, на яких одночасно може стояти людина, називається напругою кроку $U_{\text{Ш}}$, яка визначається різницею електричних потенціалів поверхні землі (φ_1 і φ_2) на довжині кроку людини:

$$U_{\text{Ш}} = \varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_1 - \varphi_{1+a},$$

де a – довжина кроку, що дорівнює 0,8 – 1 м.

Захисне заземлення є найбільш простим і в той же час ефективним заходом захисту від ураження електричним струмом у мережах.

У приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних, а також у зовнішніх установках заземлення є обов'язковим при номінальній напрузі електроустановки вище 42 В змінного і 110 В постійного струму, а в приміщеннях без підвищеної небезпеки – при напрузі 380 В і вище змінного і 440 В і вище постійного струму. Лише у вибухонебезпечних зонах всіх класів заземлення виконується незалежно від значення напруги електроустановки.

3.2 Заземлювальні пристрої

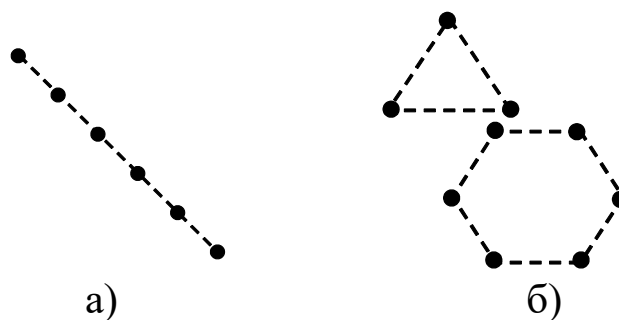
Заземлювальним пристроєм називається сукупність заземлювача (електродів, з'єднаних між собою, що знаходяться в безпосередньому контакті з землею) і заземлювальних провідників, що з'єднують заземлювальні частини електроустановки з заземлювачем.

У заземлювальних пристроях можуть бути використані природні і штучні заземлювачі. Природними заземлювачами називають металеві споруди, що знаходяться в землі, які можуть бути одночасно використані і з метою заземлення. Застосовувати природні заземлювачі краще, оскільки не лише досягається економія металу, а й відпадає необхідність у виконанні значного обсягу земляних і монтажних робіт. У якості природних заземлювачів можуть бути використані водопровідні та інші металеві трубопроводи, прокладені в землі, а також обсадні труби артезіанських свердловин; металеві конструкції, що знаходяться в землі, та арматура залізобетонних конструкцій будинків і споруд, які з'єднані з землею; металеві шпунти гідротехнічних споруд; свинцеві оболонки кабелів, прокладених у землі.

Якщо безпосередньо поблизу від електроустановки природних заземлювачів немає, створюють штучні заземлювачі. Штучними заземлювачами називаються спеціально встановлювані в землі металеві конструкції, призначені для

приєднання до них заземлювальних провідників. У якості штучних заземлювачів застосовують вертикально або горизонтально заглиблені в землю сталеві труби, кутову сталь, металеві стрижні, сталеві смуги тощо.

Для вертикальних електродів використовують сталеві стрижні діаметром $10-16$ мм, довжиною до 5 м або кутову сталь із товщиною смуги, не меншою ніж 4 мм, і довжиною до 3 м. Улаштовують штучні заземлення в ряд чи по контуру (рисунок 3.2). З метою усунення взаємного екранування відстань між вертикальними електродами a має бути не менше від їхньої довжини l .



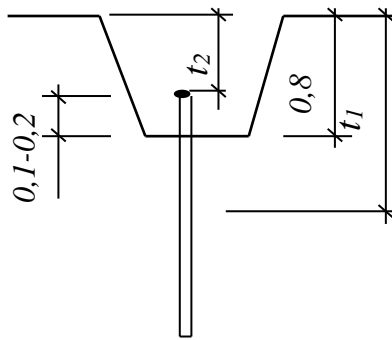
а – у ряд; б – по контуру

Рисунок 3.2 – Схеми розміщення заземлювального пристрою

Для зв'язку між собою вертикальних електродів або як самостійні заземлення використовують горизонтальні електроди – круглу сталь діаметром, не меншим за 10 мм, чи сталеві смуги перерізом, не меншим ніж 40 мм, і товщиною, не меншою від 4 мм.

Для монтажу заземлювального пристрою з вертикальних і горизонтальних електродів спочатку викопують траншею глибиною $0,7-0,8$ м (рисунок 3.3). Вертикальні електроди забивають таким чином, щоб верхній кінець виступав над дном траншеї на $0,1-0,2$ м для можливості з'єднання з горизонтальними електродами.

Розміри електродів, відстань між ними, конфігурація заземлюючого пристрою визначаються розрахунком.



t_1 – глибина закладання вертикального електрода – відстань від поверхні землі до середини вертикального електрода,
 $t_1 = \ell/2 + t_2$ м; t_2 – глибина закладання горизонтального електрода, $t_2 = 0,6$ м

Рисунок 3.3 – Схема розташування заземлювача в траншеї

3.3 Розрахунок захисного заземлення

Розрахунок захисного заземлення має на меті визначити основні параметри заземлення – кількість, розміри і розміщення одиночних заземлювачів і заземлювальних провідників, при яких напруги дотику і кроку в період замикання фази на заземлений корпус не перевищують допустимих значень.

Метод розрахунку заснований на застосуванні коефіцієнтів використання провідності заземлювача, тому його називають методом коефіцієнтів використання.

Розрахунок може бути виконаний як за допустимим опором розтікання струму заземлювача, так і за допустимою напругою дотику (кроку). На сьогодні розрахунок заземлювачів проводиться в більшості випадків за допустимим опором заземлювача.

Розрахунок захисного заземлення проводиться в такому порядку.

1 Визначається нормативний опір заземлення R_z у відповідності з вимогами Правил улаштування електроустановок (ПУЕ):

– для установок напругою до 1000 В:

а) 10 Ом – при сумарній потужності генераторів або трансформаторів, що живлять дану мережу, не більше 100 кВ·А;

- б) 4 Ом – у всіх інших випадках;
 – для установок напругою вище 1000 В:
 а) 0,5 Ом – при великих струмах замикання на землю (I_3 більше 500 А);
 б) $250/I_3 \leq 10$ Ом – при малих струмах замикання на землю і за умови, що заземлювач використовується тільки для електроустановок напругою вище 1000 В;
 в) $125/I_3 \leq 10$ Ом – при малих струмах замикання на землю і за умови, що заземлювач використовується одночасно для установок напругою до 1000 В.

2 Обчислюється розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикальних електродів, Ом·м:

$$\rho_v = \rho_{вим} \cdot \psi_c,$$

де ψ_c – розрахунковий коефіцієнт сезонності для вертикальних електродів (таблиця 3.1);

$\rho_{вим}$ – питомий опір ґрунту, виміряний у лабораторних умовах, Ом·м (таблиця 3.2).

Таблиця 3.1 – Коефіцієнти сезонності для однорідної землі

Кліматична зона	Стан землі під час вимірювання за вологістю			Кліматична зона	Стан землі під час вимірювання за вологістю		
	Підвищена	Нормальна	Мала		Підвищена	Нормальна	Мала
	Вертикальні електроди довжиною 3 м				Горизонтальні електроди довжиною 10 м		
I	1,9	1,7	1,5	I	9,3	5,5	4,1
II	1,7	1,5	1,3	II	5,9	3,5	2,6
III	1,5	1,3	1,2	III	4,2	2,5	2,0
IV	1,3	1,1	1,0	IV	2,5	1,5	1,1
	Вертикальні електроди довжиною 5 м				Горизонтальні електроди довжиною 50 м		
I	1,5	1,4	1,3	I	7,2	4,5	3,6
II	1,4	1,3	1,2	II	4,8	3,0	2,4
III	1,3	1,2	1,1	III	3,2	2,0	1,6
IV	1,2	1,1	1,0	IV	2,2	1,4	1,12
Примітка. Територія України належить до II-ї кліматичної зони							

Таблиця 3.2 – Питомий електричний опір ґрунту

Ґрунт	Питомий опір ґрунту $\rho_{вим}$, Ом·м	
	При вологості 10-20 % до ваги ґрунту	Межа коливання величини
Пісок	700	400-700
Супісок	300	150-400
Суглинок	100	40-150
Глина	40	8-70
Чорнозем	20	9-53

3 Визначається опір розтіканню одиночного вертикального електрода з круглої та кутової сталі:

– для електродів у землі, схема 1 (рисунок 3.2), Ом:

$$R_{од} = \frac{\rho_{в}}{2 \cdot \pi \cdot \ell} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot \ell}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t_1 + \ell}{4 \cdot t_1 - \ell} \right),$$

де ℓ – довжина електрода, м;

d – зовнішній діаметр електрода, м (для вертикальних електродів із кутової сталі $d = 0,95 \cdot b$, де b – ширина смуги кута);

t_1 – глибина закладання вертикального електрода, м;

t_2 – відстань від поверхні землі до верхнього кінця вертикального електрода, м.

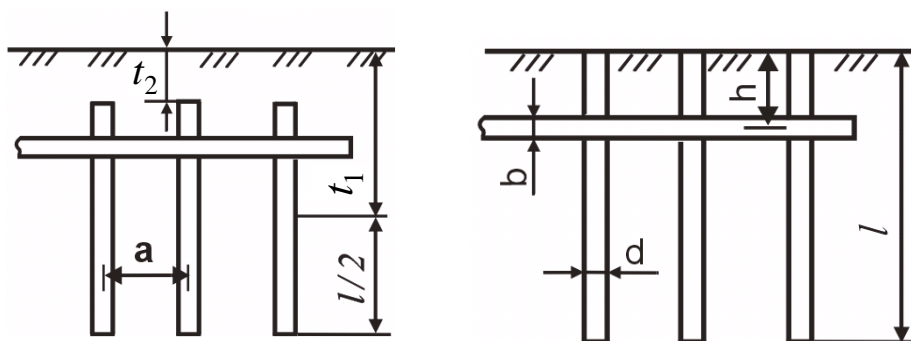


Схема 1

Схема 2

Рисунок 3.2 – Схеми заземлення

Глибина закладання вертикального електрода дорівнює $t_1 = \ell/2 + t_2$.

– для електродів біля поверхні землі, схема 2 (рисунок 3.2):

$$R_{од} = \frac{\rho_в}{2 \cdot \pi \cdot \ell} \cdot \ln \frac{4 \cdot \ell}{d} = 0,366 \cdot \frac{\rho_в}{\ell} \cdot \ln \frac{4 \cdot \ell}{d}.$$

4. Попередньо встановлюється необхідна кількість паралельно з'єднаних заземлювачів, шт.:

$$n = \frac{R_{од}}{R_з \cdot \eta_в},$$

де $\eta_в$ – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів (для орієнтовного розрахунку приймається рівним $\eta_в = 1$).
Визначається за таблицею 3.3 шляхом інтерполяції.

5 Обчислюється довжина з'єднувальної смуги (горизонтального електрода):

– при контурному влаштуванні $\ell_{см} = a \cdot n$;

– при рядовому влаштуванні $\ell_{см} = a \cdot (n - 1)$,

де a – відстань між вертикальними електродами, м;

n – прийнята кількість вертикальних електродів, шт.

6 Установлюється опір розтіканню струму для з'єднувальної смуги:

$$R_n = \frac{\rho_в}{2 \cdot \pi \cdot \ell_{см}} \cdot \ln \frac{2 \cdot \ell_{см}^2}{b \cdot h} = 0,366 \cdot \frac{\rho_в}{\ell_{см}} \cdot \lg \frac{2 \cdot \ell_{см}^2}{h \cdot b},$$

де h – глибина закладання, м;

b – ширина смуги, м.

7 Обчислюється розрахунковий опір групового заземлюючого пристрою з урахуванням коефіцієнтів взаємного впливу електродів і використання смуги:

$$R_{зр} = \frac{R_{од} \cdot R_{см}}{R_{од} \cdot \eta_{см} + R_{см} \cdot n \cdot \eta_в} \leq R_з,$$

де η_{cm} – коефіцієнт використання горизонтальних електродів з урахуванням вертикальних електродів. Визначається за таблицею 3.4 шляхом інтерполяції.

Таблиця 3.3 – Коефіцієнт використання η_e вертикальних електродів групового заземлення (кругла сталь, кутики та інше) без урахування з'єднувальної смуги

Кількість заземлювачів (електродів)	Відношення відстані вертикальних електродів (заземлювачів) до їхньої довжини a/ℓ					
	1	2	3	1	2	3
	Електроди розміщені в ряд			Електроди розміщені по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	-	-	-	0,41	0,58	0,66
60	-	-	-	0,39	0,55	0,64
100	-	-	-	0,39	0,52	0,62

Таблиця 3.4 – Коефіцієнт використання η_{cm} з'єднувальної смуги (горизонтального електрода), який з'єднує вертикальні електроди, закопані в землі

Відношення відстані вертикальних електродів до їхньої довжини, a/ℓ	Кількість вертикальних електродів (заземлювачів)							
	2	4	6	10	20	40	60	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вертикальні електроди розміщені в ряд								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	-	-	-
2	0,94	0,89	0,84	0,75	0,56	-	-	-
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	-	-	-

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вертикальні електроди розміщені по контуру								
1	-	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
2	-	0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,24
3	-	0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

8 Уточнюються вибрані параметри заземлення. Якщо значення R_{zp} та R_3 значно відрізняються одне від одного, то необхідно змінити кількість електродів (їхню довжину, діаметр, товщину тощо), після чого повторити розрахунок.

Примітка – метод «коефіцієнта використання електродів» застосовується у випадку розташування заземлення в однорідному ґрунті. Існують інші методи розрахунку заземлювальних пристроїв, однак вони використовуються рідко та для складних умов і систем заземлень.

3.4 Експлуатація заземлювальних пристроїв

У процесі експлуатації не виключена можливість підвищення опору розтікання струму заземлювача понад розрахунковий і порушення цілісності заземлювальної проводки і т. п.

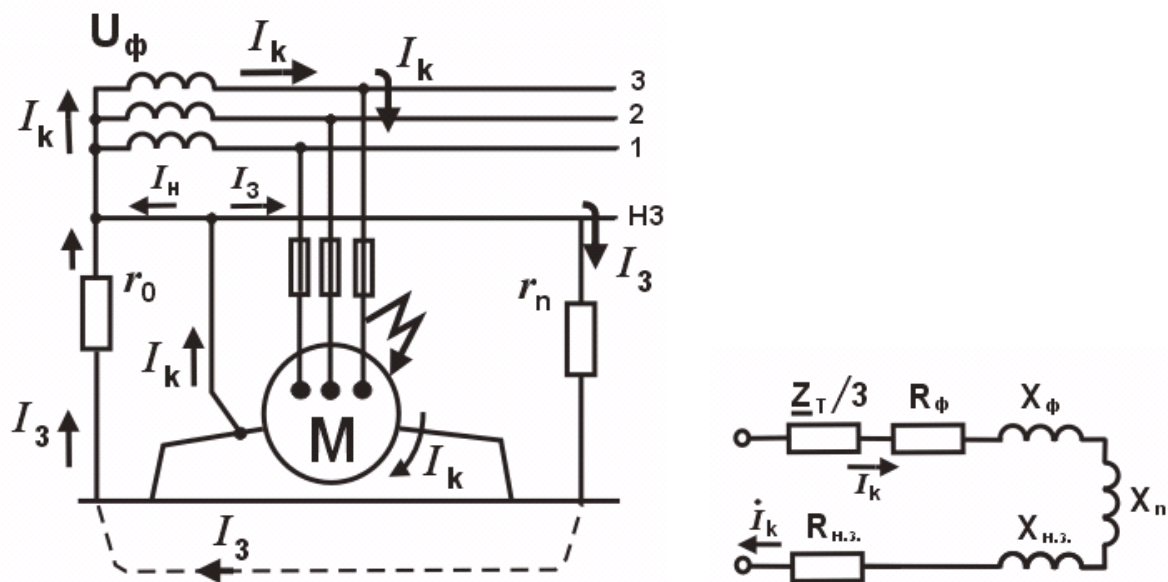
Вимірювання опору заземлювального пристрою проводиться після монтажу, через рік після введення в експлуатацію і в подальшому при комплексному ремонті електроустановки, але не рідше, ніж через 10 років на електростанціях, підстанціях і лініях електропередачі енергосистем, через 3 роки на підстанціях споживачів і через 1 рік у цехових електроустановках споживачів.

4 ЗАНУЛЕННЯ

4.1 Призначення, принцип дії та сфера застосування

Занулення – навмисне електричне з'єднання металевих неструмоведучих частин електроустановки, які можуть виявитися

під напругою, з глухозаземленою нейтральною точкою обмотки джерела струму в трифазних мережах; з глухозаземленим виводом обмотки джерела струму в однофазних мережах і з глухозаземленою середньою точкою обмотки джерела енергії в мережах постійного струму (рисунок 4.1).



а)

б)

а – загальна схема роботи занулення;
 б – однофазна спрощена схема заміщення
 Рисунок 4.1 – Схеми роботи занулення

Провідник, що з'єднує занулені частини електроустановки з глухозаземленою нейтральною точкою обмотки трансформатора, називається нульовим захисним провідником (НЗП). Нульовий захисний провідник слід відрізнити від нульового робочого провідника, який призначений для живлення струмом електроприймачів. Сфера застосування НЗВ така сама, як і для заземлення.

При замиканні фази на корпус установки в ланцюзі фазануль з'являється струм короткого замикання I_k (див. рисунок 4.1), який забезпечує спрацьовування захисту і тим самим автоматично відключає пошкоджену установку від мережі живлення. Таким захистом є плавкі запобіжники, автомати максимального струму і т. п. Крім того, занулення знижує напругу на корпусі установки відносно землі в аварійному режимі (як при захисному заземленні).

Застосування захисного заземлення в мережах з глухозаземленою нейтраллю напругою до 1000 В не забезпечує захисту, тому що при однофазному короткому замиканні корпус обладнання буде знаходитися під небезпечною напругою незважаючи на те, що він заземлений. Струмний захист при цьому не спрацьовує внаслідок малого значення струму.

4.2 Розрахунок занулення

Мета розрахунку занулення полягає у визначенні умов, при яких воно надійно і швидко відключає пошкоджену електроустановку від мережі і одночасно забезпечує безпеку дотику людини до занулених частин установки в аварійний період.

При замиканні фази на занулений корпус електроустановка автоматично відключається, якщо значення струму однофазного короткого замикання (тобто між фазним і нульовим захисними провідниками) I_k , А, задовольняє умову:

$$I_k \geq k \cdot I_{ном},$$

де k – коефіцієнт кратності номінального струму;

$I_{ном}$ – номінальний струм плавкої вставки запобіжника або струм вставки автоматичного вимикача, А (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Технічні параметри деяких типів запобіжників

Тип запобіжника	Номінальний струм плавкої вставки $I_{ном}$, А	Граничний струм відключення, кА
1	2	3
НПН 2-60	6; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 60	
ПН2-100	31,5; 40; 50; 63; 80; 100	100
ПН2-250	80; 100; 125; 160; 200; 250	100
ПН2-400	200; 250; 315; 355; 400	40
ПН2-600	31,5; 400; 500; 600	25
ПН2-630	31,5; 400; 500; 630	25
ПП 17	500; 630; 800; 1000	120

Продовження таблиці 4.1

1	2	3
Пр-2	6; 10; 15	0,8/8
	15; 20; 25; 35; 45; 60	1,8/4,5
	60; 80; 100	6/11
	100; 125; 160; 200	6/11
	200; 235; 260; 300; 350	6/13
	350; 430; 500; 600	133/23
	600; 700; 850; 1000	15/20
ПП 24	2,4; 6,3; 10; 16; 20; 25	100
	25; 40; 50; 63	100
	63; 80; 100	100

Коефіцієнт k нормується з урахуванням заводської струмочасової характеристики вимикаючого апарату. Час спрацювання плавких вставок запобіжників і теплових розчіплювачів автоматів обернено пропорційно струму.

Автоматичний вимикач з електромагнітним розчіплювачем забезпечує відсічення миттєвої дії за 0,01 с.

У відповідності з ПУЕ коефіцієнт k має дорівнювати у приміщеннях з нормальними умовами не менше 3 – при захисті запобіжниками або автоматами, що мають тепловий розчіплювач із зворотно залежною від струму характеристикою; не менше 1,4 – для автоматів з номінальним струмом до 100 А з електромагнітним розчіплювачем; 1,2 – для інших автоматів; у вибухонебезпечних приміщеннях не менше 4 – при захисті запобіжниками і не менше 6 – при захисті автоматами зі зворотно залежною від струму характеристикою, а при захисті автоматами з електромагнітним розчіплювачем – 1,4.

Сила струму короткого замикання I_k (див. рисунок 4.1) залежить від фазної напруги мережі U_ϕ і опорів ланцюга; від повних опорів трансформатора Z_T , фазного провідника Z_ϕ , нульового захисного провідника $Z_{Н.з.}$, зовнішнього індуктивного опору петлі (контуру) фазний провідник - нульовий захисний провідник (петлі фаза-нуль) X_{II} , а також від активних опорів заземленої нейтралі обмоток джерела (трансформатора) r_o і повторного заземлення нульового захисного провідника r_n .

Оскільки r_o і r_n , як правило, великі порівняно з іншими опорами ланцюга, можна не брати до уваги паралельну гілку, утворену ними. Тоді розрахункова схема спроститься (рисунок 4.1, б), а вираз для струму короткого замикання I_k , А, у комплексній формі буде

$$\dot{I}_k = \frac{U_\phi}{\underline{Z}_T/3 + \underline{Z}_\phi + \underline{Z}_{H.3.} + j \cdot X_\Pi}$$

або

$$\dot{I}_k = \frac{U_\phi}{\underline{Z}_T/3 + \underline{Z}_\Pi},$$

де U_ϕ – фазна напруга мережі, В;

\underline{Z}_T – комплекс повного опору обмоток трифазного джерела струму (трансформатора) (таблиця 4.2), Ом;

$\underline{Z}_\phi = R_\phi + jX_\phi$ – комплекс повного опору фазного провідника, Ом;

$\underline{Z}_{H.3.} = R_{H.3.} + jX_{H.3.}$ – комплекс повного опору нульового захисного провідника, Ом;

R_ϕ і $R_{H.3.}$ – активний опір фазного і нульового захисного провідників, Ом;

X_ϕ і $X_{H.3.}$ – внутрішні індивідуальні опори фазного і нульового захисного провідників, Ом;

$\underline{Z}_\Pi = \underline{Z}_\phi + \underline{Z}_{H.3.} + j \cdot X_\Pi$ – комплекс повного опору петлі фаза-нуль, Ом;

$j = \sqrt{-1}$ – множник уявної частини комплексного числа.

При розрахунку занулення припустимо застосовувати наближену формулу для обчислення дійсного значення (модуля) струму короткого замикання I_k , А, у якій модулі опорів трансформатора і петлі фаза-нуль \underline{Z}_T і \underline{Z}_Π , Ом, складаються арифметично:

$$I_k = \frac{U_\phi}{Z_T/3 + Z_\Pi}.$$

Деяка неточність (близько 5 %) цієї формули посилює вимоги безпеки і тому вважається допустимою.

Таблиця 4.2 – Наближенні значення повних опорів обмоток масляних трансформаторів

Потужність трансформатора, кВ·А	Номинальна напруга обмоток вищої напруги, кВ	Z_T , Ом, при схемі з'єднання обмоток	
		зіркою Y/Y_n	трикутником $\Delta/Y_H Y/Z_n$
25	6 – 10	3,11	0,906
40	6-10	1,949	0,562
63	6-10	1,237	0,36
	20-35	1,136	0,407
100	6-10	0,799	0,226
	20-35	0,764	0,327
160	6-10	0,487	0,141
	20-35	0,478	0,203
250	6-10	0,312	0,09
	20-35	0,305	0,13
400	6-10	0,195	0,056
	20-35	0,191	-
630	6-10	0,129	0,042
	20-35	0,121	-
1000	6-10	0,081	0,027
	20-35	0,077	0,032
1600	6-10	0,054	0,017

Повний опір петлі фаза-нуль у дійсній формі (модуль) дорівнює

$$Z_{\Pi} = \sqrt{(R_{\Phi} + R_{H.3.})^2 + (X_{\Phi} + X_{H.3.} + X_{\Pi})^2}.$$

Завдання розрахунку – підібрати переріз нульових захисних проводів таким чином, щоб задовольнялася нерівність

$$k \cdot I_{ном} \leq \frac{U_{\phi}}{Z_T / 3 + \sqrt{(R_{\phi} + R_{Н.З.})^2 + (X_{\phi} + X_{Н.З.} + X_{II})^2}}$$

Значення Z_T залежить від потужності трансформатора, напруги і схеми з'єднання трансформатора. При розрахунках занулення Z_T береться з таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Наближенні значення повних опорів обмоток масляних трансформаторів

Потужність трансформатора, кВ·А	Номинальна напруга обмоток вищої напруги, кВ	Z_T , Ом, при схемі з'єднання обмоток	
		Y/Y_n	Δ/Y_H Y/Z_n
25	6 – 10	3,11	0,906
40	6-10	1,949	0,562
63	6-10	1,237	0,36
	20-35	1,136	0,407
100	6-10	0,799	0,226
	20-35	0,764	0,327
160	6-10	0,487	0,141
	20-35	0,478	0,203
250	6-10	0,312	0,09
	20-35	0,305	0,13
400	6-10	0,195	0,056
	20-35	0,191	-
630	6-10	0,129	0,042
	20-35	0,121	-
1000	6-10	0,081	0,027
	20-35	0,077	0,032
1600	6-10	0,054	0,017

Значення R_{ϕ} і $R_{Н.З.}$ для провідників із кольорових металів (мідь, алюміній) визначають за відомими даними: переріз S , мм², довжина ℓ , м, і матеріал провідників.

Активний опір

$$R = \rho \cdot \ell / S,$$

де ρ – питомий опір провідника (для міді $\rho = 0,018 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$, а для алюмінію $\rho = 0,028 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$). (Переріз нульового захисного провідника $S_{H.з.}$, мм^2 , приймається з умови, що $R_{H.з.} \leq 2 \cdot R_\phi$, тобто якщо фазні і нульові захисні провідники виконані з одного металу, то $S_{H.з.} \geq 0,5 \cdot S_\phi$ (де S_ϕ – переріз фазного провідника, мм^2), якщо з різних металів, наприклад фазний з міді, а нульовий захисний з алюмінію, то $S_{H.з.} \geq 0,8 \cdot S_\phi$.

Значення X_ϕ і $X_{H.з.}$ для мідних і алюмінієвих провідників порівняно малі (близько $0,0156 \text{ Ом}/\text{км}$), тому ними можна знехтувати.

Значення X_Π можна визначити за формулою (для ліній, прокладених у повітрі), $\text{Ом}/\text{км}$

$$X_\Pi = 0,1256 * \ln(2D/d),$$

де D – відстань між проводами;

d – діаметр проводу.

У наближених розрахунках зовнішній індуктивний питомий опір X_Π для внутрішньої проводки складає $0,3 \text{ Ом}/\text{км}$ і $0,6 \text{ Ом}/\text{км}$ для повітряних ліній (при відстані між проводами, що відповідають нормам).

Заземлення нейтралі обмоток джерела струму і повторні заземлення нульового захисного провідника

За відсутності заземлення нейтралі обмоток джерела струму і замиканні фази на землю струмовий захист не спрацьовує, і між зануленим обладнанням і землею виникає напруга, близька за значенням до фазної напруги. Зазначене положення дуже небезпечно.

Повторне заземлення нульового захисного провідника знижує напругу на занулених корпусах у період замикання фази на корпус. При обриві нульового захисного провідника і замиканні фази на корпус за місцем обриву повторне заземлення нульового захисного провідника значно зменшує небезпеку ураження струмом, але не усуває її повністю.

Повторне заземлення здійснюється на кінцях повітряних ліній до електроустановок, які підлягають зануленню.

У якості заземлювачів для повторного заземлення можуть бути використані природні заземлювачі (підземні частини опор, металеві конструкції і так далі) і, якщо природні заземлювачі відсутні, штучні заземлювачі.

У мережах, де застосовуються занулення, не можна заземлювати корпус приймача струму без приєднання його до нульового захисного провідника. У разі замикання фази на заземлений, але не приєднаний до нульового захисного провідника корпус, між цим корпусом і землею виникає напруга. За рівності опорів заземлювачів нейтралі обмоток джерела струму і корпусу вона дорівнює $U_{\phi}/2 = 110 \text{ В}$. При цьому захист за рахунок малого значення струму, як правило, не здатен відключити установку від мережі. Така сама напруга виникає і між усіма корпусами, приєднаними до нульового захисного провідника, і землею.

Одночасно занулення і заземлення одного і того самого корпусу покращує умови безпеки, оскільки створює додаткове заземлення нульового захисного провідника.

4.3 Контроль справності занулення

Після закінчення монтажних і ремонтних робіт, а також у процесі експлуатації системи занулення (не рідше одного разу на 5 років) вимірюють опір заземлення нейтралі і повторного заземлення нульового провідника, перевіряють стан елементів заземлюючих пристроїв, вимірюють опір петлі фаза-нуль і т. п.

Опір петлі фаза-нуль перевіряють для найбільш віддалених і найбільш потужних приймачів. При вимірі опору петлі фаза-нуль за допомогою вольтметра і амперметра необхідно відключати установку від мережі, крім цієї схеми для вимірювання повного опору петлі фаза-нуль існують схеми без відключення обладнання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 ДСТУ 7237:2011. Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту.
- 2 НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98). Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – К.: Держнаглядохоронпраці, 1998. – 380 с.
- 3 Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. – Харків: Видавництво “Форт”, 2007 – 320 с.
- 4 Правила улаштування електроустановок (ПУЕ-2009). – Харків: Видавництво “Форт”, 2009 – 642 с.
- 5 ДБН В.2.5-23-2003. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об’єктів цивільного призначення. – К.: Держбуд України, 2004. – 131 с.
- 6 ДБН В.2.5-27-2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. – К.: Мінбуд України, 2006. – 153 с.
- 7 Основи охорони праці: Навч. посібник / За ред. В.В. Березуцького. – Харків: Факт, 2005. – 480 с.
- 8 Інженерні рішення з охорони праці при розробці дипломних проектів інженерно-будівельних спеціальностей: Навч. посібник / За ред. В.В. Сафонова. – К.: Основа, 2000. – 336 с.
- 9 Методичні вказівки до проведення розрахунків з розділу "Охорона праці" в дипломних проектах для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня "бакалавр", "спеціаліст", "магістр" галузей знань 0501 – інформатика та обчислювальна техніка; 0306 – менеджмент і адміністрування / О.Л. Гуменюк. – Чернігів: ЧДТУ, 2013.
- 10 Гажман В.І. Електробезпека на виробництві. – К.: Охорона праці, 2002. – 268 с.