



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ**

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ**

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Підручник

Харків – 2018

УДК 614.825:621.31/075.8/

Е 502

*Рекомендовано вченою радою Українського державного
університету залізничного транспорту як підручник
(витяг з протоколу № 6 від 26 червня 2018 р.)*

Рецензенти:

професори О. Г. Гриб (НТУ «ХПІ»),
І. В. Руженцев (ХНУРЕ)

Авторський колектив:

С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв, В. С. Блиндюк,
В. В. Панченко, О. Д. Супрун, Д. Л. Сушко

Електробезпека: Підручник / С. В. Панченко, О. І. Акімов,
Е 502 М. М. Бабаєв та ін. — Харків: УкрДУЗТ, 2018. —
295 с., рис. 80, табл. 20.

ISBN 978-617-654-085-4

Розглянуто дії електричного струму на людину, способи надання першої допомоги потерпілим від електричного струму, проаналізовано умови безпеки в різних електричних мережах, викладено технічні способи і засоби захисту від ураження електричним струмом.

Підручник призначено для студентів закладів вищої освіти, а також для фахівців-електриків. Підручник також може бути корисним для осіб, які організовують експлуатацію та експлуатують електроустановки.

УДК 614.825:621.31/075.8/

ISBN 978-617-654-085-4

© Український державний університет
залізничного транспорту, 2018.

Підручник

Панченко Сергій Володимирович,
Акімов Олександр Іванович,
Бабаєв Михайло Михайлович
та ін.

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Відповідальний за випуск Акімов О. І.

Редактори Буранова Н. В.,
Решетилова В. В., Еткало О. О.

Підписано до друку 07.06.18 р.
Формат паперу 60х84 1/16. Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 15,5. Тираж 100. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.

ЗМІСТ

Передмова.....	8
Частина 1. Загальні питання електробезпеки.....	11
Розділ 1. Дія електричного струму на організм людини.....	11
1.1. Види уражень електричним струмом.....	11
1.1.1. Особливості дії струму на живу тканину.....	11
1.1.2. Місцеві електротравми.....	13
1.1.3. Електричний удар.....	17
1.1.4. Механізм смерті від електричного струму.....	18
1.2. Електричний опір тіла людини.....	21
1.2.1. Електричний опір тіла людини.....	21
1.2.2. Залежність опору тіла людини від різних факторів.....	24
1.2.2.1. Залежність опору тіла людини від стану шкіри.....	24
1.2.2.2. Залежність опору тіла людини від параметрів електричного кола.....	25
1.2.2.3. Залежність опору тіла людини від фізіологічних факторів і навколишнього середовища.....	27
1.3. Основні фактори, що впливають на наслідок ураження електричним струмом.....	28
1.3.1. Характер впливу на людину струмів різної величини...28	
1.3.2. Вплив тривалості проходження струму на наслідок ураження.....	30
1.3.3. Вплив шляху струму на наслідок ураження.....	32
1.3.4. Вплив роду струму і його частоти на наслідок ураження.....	34
1.3.5. Вплив індивідуальних властивостей людини на наслідок ураження.....	35
1.4. Критерії безпеки електричного струму.....	36
Розділ 2. Перша допомога потерпілому від електричного струму.....	40
2.1. Зміст першої допомоги.....	40
2.2. Звільнення людини від дії електричного струму.....	41
2.3. Заходи першої долікарської допомоги.....	45
2.4. Штучне дихання.....	48
2.5. Масаж серця.....	53

2.6. Навчання працівників надавати першу допомогу потерпілому від електричного струму.....	56
2.7. Перша допомога при опіках, пораненнях, кровотечі.....	57
Розділ 3. Фізичні процеси під час стікання струму в землю.....	63
3.1. Загальні положення.....	63
3.2. Стікання струму в землю через одиночний заземлювач.....	64
3.2.1. Розподіл потенціалу на поверхні землі.....	64
3.2.2. Опір одиночного півкульового заземлювача розтіканню електричного струму.....	68
3.3. Стікання струму в землю через груповий заземлювач.....	72
3.3.1. Розподіл потенціалу на поверхні землі.....	72
3.3.2. Потенціал групового заземлювача.....	76
3.3.3. Опір групового заземлювача розтіканню електричного струму.....	79
3.3.4. Коефіцієнт використання групового заземлювача.....	81
3.4. Напруга дотику.....	84
3.4.1. Напруга дотику при одиночному заземлювачі.....	85
3.4.2. Напруга дотику при груповому заземлювачі.....	87
3.5. Напруга кроку.....	90
3.5.1. Напруга кроку при одиночному заземлювачі.....	91
3.5.2. Напруга кроку при груповому заземлювачі.....	92
Розділ 4. Аналіз небезпеки ураження електричним струмом у різних електричних мережах.....	95
4.1. Загальні положення.....	95
4.1.1. Мережі змінного струму.....	96
4.1.2. Режими нейтралі мереж різних напруг.....	96
4.1.3. Електричні мережі напругою до 1000 В.....	98
4.1.4. Електричні мережі напругою вище 1000 В.....	100
4.1.5. Системи заземлення трифазних електричних мереж змінного струму напругою до 1000 В відповідно до вимог МЕК.....	105
4.1.6. Схеми вмикання людини в коло струму.....	109
4.2. Однофазні мережі.....	111
4.2.1. Мережа, ізольована від землі.....	111
4.2.2. Мережа із заземленим проводом.....	114
4.3. Трифазні мережі.....	116

4.3.1. Трифазна чотирипроводова мережа з нейтраллю, заземленою через активний та індуктивний опори.....	116
4.3.2. Трифазна чотирипроводова мережа з глухозаземленою нейтраллю.....	120
4.3.3. Трифазна трипроводова мережа з ізольованою нейтраллю.....	123
4.4. Висновки з порівняльного аналізу небезпеки електричних мереж.....	127
4.5. Вибір схеми мережі і режиму нейтралі.....	128
Тести для самоконтролю.....	133
Частина 2. Технічні способи і засоби захисту від ураження електричним струмом.....	138
Розділ 5. Захисне заземлення.....	139
5.1. Призначення, принцип дії і галузь застосування захисного заземлення.....	139
5.2. Типи заземлювальних пристроїв.....	141
5.3. Виконання заземлювальних пристроїв.....	143
5.3.1. Заземлювачі.....	143
5.3.2. Заземлювальні провідники.....	145
5.3.3. Обладнання, яке підлягає заземленню.....	149
5.3.4. Зв'язок між заземлювальними пристроями декількох аналогічних установок різних напруг та призначень...	152
5.4. Опір заземлювального пристрою.....	155
5.4.1. Потрібний опір заземлювального пристрою.....	155
5.4.2. Вимірювання опору заземлювального пристрою.....	157
5.4.3. Контроль стану заземлення.....	161
5.5. Розрахунок захисного заземлення.....	162
Розділ 6. Занулення.....	166
6.1. Призначення, принцип дії і галузь застосування занулення.....	166
6.2. Призначення окремих елементів схеми занулення.....	168
6.2.1. Призначення нульового захисного провідника.....	168
6.2.2. Призначення заземлення нейтралі.....	170
6.2.3. Призначення повторного заземлення нульового захисного провідника.....	172
6.3. Вимірювання опору петлі фаза-нуль.....	176

6.4. Розрахунок занулення.....	178
Розділ 7. Захисне вимикання.....	184
7.1. Призначення, основні елементи та галузі застосування захисного вимикання.....	184
7.2. Пристрої захисного вимикання.....	190
7.2.1. Пристрої, що реагують на потенціал корпусу.....	190
7.2.2. Пристрої, що реагують на струм замикання на землю.....	192
7.2.3. Пристрої, що реагують на напругу нульової послідовності.....	194
7.2.4. Пристрої, що реагують на струм нульової послідовності.....	196
7.2.5. Пристрої, що реагують на оперативний струм.....	198
Розділ 8. Електричне розділення мереж і використання малої напруги. Вирівнювання потенціалів. Захисна ізоляція.....	203
8.1. Електричне розділення мереж і використання малої напруги.....	203
8.2. Вирівнювання потенціалів.....	206
8.3. Захисна ізоляція.....	208
Розділ 9. Технічні засоби захисту від ураження електричним струмом.....	211
9.1. Стаціонарні захисні пристрої.....	211
9.2. Засоби захисту, що застосовуються в електроустановках.....	213
9.2.1. Класифікація засобів захисту.....	213
9.2.2. Призначення та правила застосування ізолювальних електрозахисних засобів.....	216
9.2.2.1. Ізолювальні штанги.....	216
9.2.2.2. Ізолювальні кліщі.....	218
9.2.2.3. Електровимірювальні кліщі.....	219
9.2.2.4. Показчики напруги.....	221
9.2.2.5. Діелектричні рукавички.....	224
9.2.2.6. Спеціальне діелектричне взуття.....	224
9.2.2.7. Гумові діелектричні килими та ізолювальні підставки.....	225
9.2.2.8. Захисні огорожі.....	225

9.2.2.9. Інструмент з ізольованими рукоятками.....	227
9.2.2.10. Переносні заземлення.....	228
9.2.2.11. Протигази й респіратори.....	229
9.2.2.12. Захисні каски.....	230
9.2.2.13. Захисні окуляри.....	230
9.2.2.14. Плакати і знаки безпеки.....	231
9.2.3. Електричні випробування ізолювальних електрозахисних засобів.....	233
Розділ 10. Технічні способи захисту у пересувних електроустановках.....	239
10.1. Загальні положення.....	239
10.2. Контроль ізоляції.....	240
10.3. Технічні способи захисту у пересувних електроустановках.....	244
10.3.1. Допоміжна система технічних способів захисту.....	244
10.3.2. Основна система технічних способів захисту.....	248
10.3.3. Технічні способи захисту у пересувних електроустановках при різних варіантах їх застосування.....	252
Розділ 11. Захист від дії електромагнітних полів промислової, високої і надвисокої частот та статичної електрики.....	260
11.1. Дія на людину електромагнітного поля промислової частоти.....	260
11.2. Дія на людину електромагнітних полів високих і надвисоких частот.....	263
11.3. Захист від дії електричного поля промислової частоти.....	266
11.4. Захист від опромінення електромагнітними хвилями.....	271
11.5. Заходи безпеки при експлуатації установок надвисоких частот.....	274
11.6. Захист від небезпечної дії статичної електрики.....	277
Тести для самоконтролю.....	280
Бібліографічний список.....	285
Предметний покажчик.....	289

ПЕРЕДМОВА

Електрична енергія має особливе значення серед інших видів енергії, відомих на цей час. Це пояснюється зручністю її використання в усіх галузях: промисловості, будівництві, в сільському господарстві, на транспорті, в медичних, культурних закладах та в побуті. Крім того, лише електрична енергія дає змогу, наприклад, створювати автоматизовані системи керування, забезпечувати надійний зв'язок, упроваджувати прогресивне обладнання і технології.

Зростання енергозабезпеченості всього господарчого комплексу взагалі і залізничного транспорту зокрема викликало появу великої кількості електроустановок, експлуатація яких потребує від працівників знань і безумовного виконання правил і заходів електробезпеки. У зв'язку з цим питання електробезпеки набуває особливого значення.

Електробезпека – система організаційних і технічних заходів та засобів, які забезпечують захист людей від шкідливої та небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики. Інакше кажучи, електробезпека – це техніка безпеки при експлуатації електроустановок.

Підручник складається з двох частин. У першій частині розглядаються загальні традиційні питання електробезпеки – аналіз дії електричного струму на людину (види уражень струмом, опір тіла людини, вплив різних факторів на наслідок ураження струмом), заходи з надання першої допомоги потерпілим від дії електричного струму, а також процеси під час стікання струму в землю та небезпека ураження струмом в електричних мережах.

Частина друга підручника присвячена розгляду основних заходів і засобів захисту від ураження електричним струмом. Особливістю даної частини є те, що поряд з традиційними заходами захисту, такими як захисне заземлення, занулення, захисне вимикання, розглянуто і такі, що мало відображені в літературі, але застосовуються на практиці, а саме: електричне розділення мереж, вирівнювання потенціалів, застосування малої напруги, захисна ізоляція, застосування огорожувальних пристроїв і електричних блокувань.

Крім того, розглянуто технічні способи захисту від ураження електричним струмом у пересувних електроустановках. Ці заходи розглянуто як в окремих пересувних електроустановках, так і при різних варіантах їх застосування.

У цій частині розглянуто також заходи і засоби від впливу на людину електромагнітних полів промислової частини в електроустановках надвисокої напруги, електромагнітних полів високих і надвисоких частот.

При укладанні цього підручника використано чинні в Україні нормативні документи: Правила улаштування електроустановок, Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів, Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Довідковий і табличний матеріал ґрунтується на даних, опублікованих в літературі, список якої подано наприкінці підручника.

Підручник відповідає програмі курсу «Основи електробезпеки» для електроенергетичних спеціальностей.

Обсяг матеріалу, який підлягає висвітленню в підручнику, виявився значним. Тому довелося зосередити увагу на викладенні найважливіших і принципових питань з кожної теми і відмовитись від надмірної деталізації матеріалу. Зроблено спробу систематизувати і відобразити найбільш важливі, з точки зору авторів, питання електробезпеки під час експлуатації електроустановок.

Кожний розділ підручника відповідає певній темі робочої програми дисципліни і закінчується переліком контрольних питань.

Контроль знань та вмінь з кожного модуля здійснюється шляхом перевірки поточної роботи і складання підсумкового тесту. Тести наведено в підручнику наприкінці частин, що вивчаються за кожним модулем. Тести – це питання або незакінчені твердження, до яких надано чотири варіанти відповідей або закінчень тверджень, але серед них лише один правильний.

Підручник призначено для студентів відповідних спеціальностей. Разом з тим при складанні цього підручника ставились і такі завдання:

- надати допомогу адміністративно-технічному складу структурних підрозділів залізниці у навчанні працівників безпечних методів роботи;
- дати опис спеціальних пристроїв і захисних засобів, які забезпечують безпечну експлуатацію електроустановок;
- пояснити суть і необхідність організаційних і технічних заходів під час експлуатації електроустановок;
- навчити працівників правильно надавати першу допомогу потерпілим від електричного струму;
- виховувати у працівників почуття відповідальності за неухильне дотримання правил безпеки під час експлуатації електроустановок;
- допомогти у підготовці занять з вивчення правил і заходів електробезпеки у структурних підрозділах.

Отже, підручник становитиме певний інтерес для фахівців електротехнічних підрозділів залізниці, які організовують електротехнічне забезпечення, і тих, хто експлуатує електричне обладнання дистанцій електропостачання залізниць, а також аспірантів, інженерів, викладачів та слухачів інституту підготовки та підвищення кваліфікації кадрів університету.

Автори висловлюють подяку рецензентам за значну роботу і цінні зауваження, зроблені під час ознайомлення з рукописом.

Частина 1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ

Завдання цієї частини – показати небезпеку електричного струму для людини, а саме: дію електричного струму на людину, види уражень струмом, опір тіла людини, вплив різних факторів на наслідок ураження.

Розглянуто заходи з надання першої долікарської допомоги людині, яка потерпіла від дії струму.

Описано також процеси при стіканні струму в землю і показано небезпеку для людини під час цього процесу, а також проведено аналіз небезпеки ураження струмом у різних електричних мережах.

Розділ 1

ДІЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ

1.1. Види уражень електричним струмом

1.1.1. Особливості дії струму на живу тканину

Існує чотири особливості дії електричного струму:

перша особливість – відсутність зовнішніх ознак загрозової небезпеки ураження електричним струмом. Людина не може побачити, почути, відчувати чи якимось іншим чином завчасно виявити можливість ураження;

друга особливість – тяжкість електротравм. Втрата працездатності в результаті електротравм, як правило, буває довгою, можливий смертельний наслідок;

третья особливість полягає в тому, що струми промислової частоти величиною 10–25 мА можуть викликати інтенсивні судороги м'язів, внаслідок чого відбувається так зване «приковування» до струмовідних частин. Людина в цьому випадку не може самостійно звільнитися від дії електричного струму;

четверта особливість визначається можливістю подальшого механічного травмування. Наприклад, людина працювала на висоті, була уражена електрострумом, знепритомніла і впала.

Дія електричного струму на живу тканину, на відміну від дії інших матеріальних факторів (пари, хімічних речовин, випромінювання тощо), має своєрідний і різнобічний характер. Проходячи через організм людини, електричний струм здійснює термічну, електролітичну й механічну (динамічну) дії, що є звичайними фізико-хімічними процесами, властивими як живій, так і неживій матерії; одночасно електричний струм здійснює і біологічну дію, що є специфічним процесом, властивим лише живій тканині.

Термічна дія струму проявляється в опіках окремих ділянок тіла, нагріванні до високої температури кровоносних судин, нервів, серця, мозку й інших органів, що розташовані на шляху струму, що викликає в них серйозні функціональні розлади.

Електролітична дія струму виражається в розкладанні органічної рідини, у тому числі й крові, що супроводжується значними порушеннями їхнього фізико-хімічного складу.

Механічна (динамічна) дія струму виражається в розшаруванні, розриві й інших подібних ушкодженнях як наслідок електродинамічного ефекту різних тканин організму, у тому числі м'язової тканини, стінок кровоносних судин, судин легеневої тканини тощо, а також миттєвого вибухоподібного утворення пари від перегрітої струмом тканинної рідини й крові.

Біологічна дія струму проявляється в роздратуванні й збудженні живих тканин організму, а також у порушенні внутрішніх біоелектричних процесів, що протікають в організмі, що нормально діє, й найтіснішим чином пов'язаних з його життєвими функціями. Електричний струм, проходячи через організм, подразнює живі тканини, викликаючи в них відповідну реакцію – збудження. Зовнішній струм, взаємодіючи з біострумами, може порушити нормальний характер їх впливу на тканини й органи людини, придушити біоструми й тим самим викликати специфічні розлади в організмі аж до самої його загибелі.

Зазначене різноманіття дій електричного струму на організм нерідко призводить до різних електротравм. **Електротравма** – це травма, викликана впливом електричного струму або електричної дуги. Всі електротравми умовно можна звести до двох видів: місцевих електротравм, коли виникає місцеве ушкодження організму, і загальних електротравм, так званих електричних

ударів, коли уражається весь організм (або створюється загроза його ураження) через порушення нормальної діяльності життєво важливих органів і систем.

Приблизний розподіл нещасних випадків від електричного струму за зазначеними видами травм: 20 % – місцеві електротравми; 25 % – електричні удари; 55 % – змішані травми, тобто одночасно місцеві електротравми й удари.

1.1.2. Місцеві електротравми

Місцева електротравма – це інтенсивно виражене місцеве порушення цілісності тканин тіла, у тому числі кісткових тканин, викликане впливом електричного струму або електричної дуги. Найчастіше це поверхневі ушкодження, тобто ураження шкіри, а іноді інших м'яких тканин, а також зв'язок і кісток.

Характерні місцеві електротравми – електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, механічні ушкодження й електроофтальмія. За видами травм ці випадки розподіляються в такий спосіб, %:

Електричні опіки	40
Електричні знаки	7
Металізація шкіри	3
Механічні ушкодження	0,5
Електроофтальмія	1,5
Змішані травми, тобто опіки з іншими місцевими травмами,	23
Усього	75

Електричний опік – найпоширеніша електротравма: опіки виникають у більшості частини (63 %) потерпілих від електричного струму, причому третина їх (23 %) супроводжується іншими травмами – знаками, металізацією шкіри й офтальмією. Близько 85 % усіх електричних опіків припадає на електромонтерів, що обслуговують діючі електроустановки. Залежно від умов виникнення розрізняють *два основних види опіку*: струмовий (або контактний), що виникає при проходженні струму безпосередньо через тіло людини в результаті його контакту зі струмовідною частиною, і дуговий, обумовлений впливом на тіло людини електричної дуги.

Струмовий (контактний) опік виникає в електроустановках відносно невеликої напруги – не вище 2 кВ. При більш високих напругах, як правило, утворюється електрична дуга або іскра, які обумовлюють виникнення опіку іншого виду – дугового. Контактний опік ділянки тіла є наслідком перетворення енергії електричного струму, що проходить через нього, у теплову. Тому такий опік тим небезпечніший, чим більшим є струм, час його проходження й електричний опір ділянки тіла, що підпадає під вплив струму. Максимальна кількість теплоти виділяється в місці контакту провідника зі шкірою, а точніше, у тій ділянці шкіри, що перебуває в контакті зі струмовідною частиною. Тому струмовий опік є, як правило, опіком шкіри.

На рис. 1.1 показано важкий струмовий опік пальців і долоні правої руки людини, що взялась за оголений шнур квартирної проводки 220 В. При цьому потерпілий торкнувся обох проводів шнура: одного – пальцями, а іншого – ділянкою долоні поблизу великого пальця.

Дуговий опік (рис. 1.2) спостерігається в електроустановках різних напруг. При цьому в установках до 6 кВ опіки є наслідком випадкових коротких замикань, наприклад при роботах під напругою на щитах до 1000 В, вимірюваннях переносними приладами (електровимірювальними кліщами) в установках вище 1000 В (до 6 кВ) тощо.

Електрична дуга може викликати великі опіки тіла, вигорання тканин на велику глибину, обвуглювання й навіть безслідне згоряння великих ділянок тіла або кінцівок.

Електричні знаки, іменовані також знаками струму або електричними мітками, являють собою різко окреслені плями сірого або блідо-жовтого кольору на поверхні тіла людини, що підпала під дію струму. Звичайно знаки мають круглу або овальну форму й розміри 1 – 5 мм із заглибленням у центрі. Трапляються знаки й у вигляді подряпин, невеликих ран, бородавок, крововиливів у шкіру, мозолів і дрібнокрапкового татуювання. Іноді форма знака відповідає формі ділянки струмовідної частини, якої торкнувся потерпілий, а при впливі грозового розряду – нагадує фігуру блискавки. Звичайно електричні знаки безболісні, й лікування їх закінчується благополучно: із часом верхній шар шкіри сходить, і уражене місце набуває первісного кольору,

еластичності і чутливості. Ці знаки залишаються приблизно в 11 % потерпілих від струму.

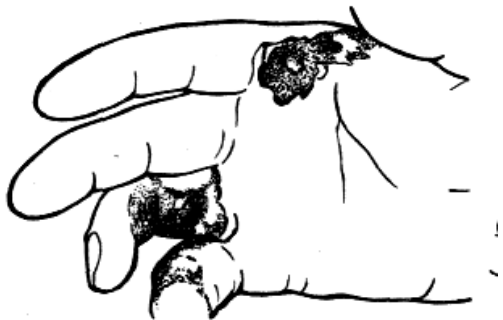


Рис. 1.1. Контактний опік IV ступеня змінним струмом 220 В



Рис. 1.2. Дуговий опік обличчя, шії та руки I і II ступенів у результаті короткого замикання між ножами рубильника

Металізація шкіри – проникнення у верхні шари шкіри дрібних частинок металу, що розплавився під дією електричної дуги. Таке явище трапляється при коротких замиканнях, вимиканнях роз'єднувачів і рубильників під навантаженням тощо. При цьому дрібні бризки розплавленого металу під впливом виниклих динамічних сил і теплового потоку розлітаються в усі боки з великою швидкістю. Кожна із цих частинок має високу температуру, але малий запас теплоти й, як правило, не здатна пропалити одяг. Тому уражаються звичайно відкриті частини тіла – руки й обличчя. Уражена ділянка шкіри має шорсткувату поверхню. Потерпілий відчуває на ураженій ділянці біль від опіків під дією теплоти занесеного в шкіру металу. Звичайно із часом хвора шкіра сходить, уражена ділянка набуває нормального вигляду і еластичності, зникають і всі болісні відчуття, пов'язані із цією травмою. Лише при ураженні очей лікування може виявитися тривалим і складним, а в деяких випадках і безрезультатним, тобто потерпілий може втратити зір. Тому роботи, при яких можливе виникнення електричної дуги (наприклад, роботи під напругою на щитах, при знятті й установці запобіжників тощо), мають виконуватися в захисних окулярах. Крім того, одяг працюючого повинний бути застебнутий на всі гудзики, комір закритий, а рукави опущені й застебнуті біля зап'ясть рук. Металізація шкіри

спостерігається в 10 % потерпілих від електричного струму. У більшості випадків одночасно з металізацією виникає дуговий опік, що майже завжди викликає більш важкі ураження, ніж металізація.

Механічні ушкодження є в більшості випадків наслідком різких мимовільних судорожних скорочень м'язів під дією струму, що проходить через тіло людини. У результаті можуть відбутися розриви сухожиль, шкіри, кровоносних судин і нервової тканини; можуть бути вивихи суглобів і навіть переломи кісток. Механічні ушкодження відбуваються при роботі в основному в установках до 1000 В при відносно тривалому перебуванні людини під напругою. Це, як правило, серйозні травми, що потребують тривалого лікування. На щастя, механічні ушкодження виникають досить рідко – приблизно в 1,0 % осіб, що постраждали від струму. Такі ушкодження завжди супроводжують електричні удари, оскільки їх викликає струм, що проходить через тіло людини. Деякі з них супроводжуються, крім того, контактними опіками тіла.

Електроофтальмія (від грецького ofthalmos – око) – запалення зовнішніх оболонок очей – роговиці й кон'юнктиви (слизової оболонки, що покриває очне яблуко), що виникає в результаті дії потужного потоку ультрафіолетових променів, які енергійно поглинаються клітинами організму й викликають у них хімічні зміни. Таке опромінення можливе за наявності електричної дуги, що є джерелом інтенсивного випромінювання не тільки видимого світла, але й ультрафіолетових і інфрачервоних променів. Електроофтальмія спостерігається приблизно в 3 % потерпілих від струму. Електроофтальмія розвивається через 4 – 8 годин після ультрафіолетового опромінення. При цьому можуть бути почервоніння й запалення шкіри та слизових оболонок вік, слъозотеча, гнійні виділення з очей, спазми вік і часткова втрата зору. Потерпілий зазнає головного болю і різкого болю в очах, що посилюється на світлі, тобто в нього виникає так звана світлобоязнь. У важких випадках порушується прозорість рогової оболонки, звужується зіниця. Звичайно хвороба триває кілька днів. У випадку ураження рогової оболонки лікування виявляється більш складним і тривалим.

Запобігання електроофтальмії при обслуговуванні електроустановок забезпечується застосуванням захисних

окулярів, які майже не пропускають ультрафіолетових променів і одночасно захищають очі від інфрачервоного опромінення й бризок розплавленого металу при виникненні електричної дуги.

1.1.3. Електричний удар

Під **електричним ударом** необхідно розуміти збудження живих тканин організму електричним струмом, що протікає через нього, яке проявляється в мимовільних судорожних скороченнях різних м'язів тіла. Електричний удар є наслідком протікання струму через тіло людини; при цьому під загрозою ураження опиняється весь організм через порушення нормальної роботи різних його органів і систем, у тому числі серця, легенів, центральної нервової системи та ін. Ступінь негативного впливу на організм електричних ударів різний. Найслабкіший електричний удар викликає ледь відчутне скорочення м'язів поблизу місця входу або виходу струму; у найгіршому разі він призведе до порушення й навіть повного припинення діяльності легенів і серця, тобто до загибелі організму. При цьому зовнішніх місцевих ушкоджень людина може й не мати.

Залежно від результату ураження, електричні удари можна умовно поділити на п'ять ступенів:

I – судорожне ледь відчутне скорочення м'язів;

II – судорожне скорочення м'язів, що супроводжується сильними, ледве стерпними болями, без втрати свідомості;

III – судорожне скорочення м'язів із втратою свідомості, але зі збереженням дихання і роботою серця;

IV – втрата свідомості й порушення серцевої діяльності або дихання (або того й іншого разом);

V – клінічна смерть, тобто відсутність дихання й кровообігу.

Електричний удар, навіть якщо він не призводить до смерті, може викликати серйозні розлади в організмі, які проявляються відразу після впливу струму або через кілька годин, днів і навіть місяців. Так, у результаті електричного удару, тобто проходження струму через тіло людини, що супроводжується мимовільними судорожними скороченнями м'язів, можуть виникнути або загостритися серцево-судинні захворювання – аритмія серця, стенокардія, підвищення або зниження артеріального тиску тощо,

а також нервові хвороби – невроз, ендокринні порушення та ін. Нерідко в потерпілих виникає неухважність, слабшають пам'ять і увага. Якщо подібних яскраво виражених захворювань не настає, то й у цьому випадку вважається, що електричний удар різко послаблює опірність організму до хвороб, у першу чергу до серцево-судинних і нервових, які можуть виникнути в людини пізніше з інших причин.

Електричних ударів зазнають звичайно більше 80 % потерпілих від струму. При цьому більша частина їх (55 %) супроводжується місцевими електротравмами, у першу чергу опіками. Близько 25 % випадків ураження струмом – це удари без місцевих травм, хоча на тілі потерпілих можна виявити місця входу й виходу струму – дуже незначні ділянки ушкодженої шкіри, які за їхньою малістю травмами не вважаються.

Електричні удари викликають 85–87 % смертельних уражень (вважаючи за 100 % усі випадки зі смертельним наслідком від дії струму). Правда, більша частина смертельних випадків (60–62 %) є результатом змішаних уражень, тобто одночасної дії електричних ударів і місцевих електротравм (опіків), однак і в цих випадках смертельний результат є, як правило, наслідком електричного удару.

1.1.4. Механізм смерті від електричного струму

Смерть – це повна втрата взаємозв'язку організму з навколишнім середовищем: припинення основних фізіологічних процесів – свідомості, дихання й серцебиття, відсутність реакцій на зовнішні подразники тощо. У більш широкому значенні смерть – необоротне припинення обміну речовин в організмі, що супроводжується розкладанням білкових тіл. Розрізняють два основних етапи смерті: клінічну й біологічну смерть.

Клінічна (або «уявна») смерть – короточасний перехідний стан від життя до смерті, що настає з моменту припинення діяльності серця й легенів. У людини, що перебуває в стані клінічної смерті, відсутні всі ознаки життя: вона не дихає, серце її не працює, болісні подразнення не викликають у неї жодних реакцій, зіниці очей різко розширені й не реагують на світло. Однак у цей період життя в організмі ще повністю не згасло, тому

що тканини його не відразу піддаються розпаду й певною мірою зберігають життєздатність. Функції різних органів також згасають поступово. У перший момент майже в усіх тканинах і клітинах тривають обмінні процеси, хоча й на дуже низькому рівні й різко відрізняються від звичайних, але достатні для підтримки мінімальної життєдіяльності. Ці обставини дають змогу, впливаючи на більш стійкі життєві функції організму, відновити згасаючі або тільки що згаслі функції, тобто оживити вмираючий організм.

Тривалість клінічної смерті визначається часом з моменту припинення серцевої діяльності й дихання до початку загибелі клітин кори головного мозку; у більшості випадків вона становить 4–6 хв. Однак якщо в цей період почати надавати потерпілому відповідну допомогу, тобто шляхом штучного дихання забезпечити збагачення його крові киснем, а шляхом масажу серця налагодити в організмі штучний кровообіг і тим самим постачання клітин організму киснем, то розвиток смерті може бути припинений й життя збережене.

Біологічна (або дійсна) смерть – необоротне явище, яке характеризується припиненням біологічних процесів у клітинах і тканинах і розпадом білкових структур. Вона настає після закінчення періоду клінічної смерті.

Причинами смерті від електричного струму можуть бути:

- припинення роботи серця;
- зупинка дихання;
- електричний шок.

Можлива також одночасна дія двох або навіть усіх трьох цих причин.

Припинення серцевої діяльності від електричного струму найбільш небезпечно, оскільки повернення потерпілого до життя в цьому випадку виявляється, як правило, більше складним завданням, ніж при зупинці дихання або шоку. Вплив струму на м'язи серця може бути прямим і рефлексним. В обох випадках може відбутися зупинка серця, а також виникнути його фібриляція. Фібриляція може бути й результатом рефлексного спазму артерій, що живлять серце кров'ю. При ураженні струмом фібриляція серця настає значно частіше, ніж повна його зупинка.

Фібриляція серця – хаотичні різночасні скорочення волокон серцевого м'яза (фібрил), при яких серце не в змозі гнати кров по судинах. Фібриляція серця може настати в результаті проходження через тіло людини шляхом «рука – рука» або «рука – ноги» змінного струму більше 50 мА частотою 50 Гц протягом декількох секунд. Струми менше 50 мА й більше 5 А тієї самої частоти фібриляції серця в людини, як правило, не викликають.

При фібриляції серця, що виникла в результаті короткочасної дії струму, дихання може тривати ще 2–3 хв. Людина, швидко звільнена від струму, іноді може до моменту втрати свідомості сказати кілька слів і проявити інші явні ознаки життя, хоча в цей час серце її вже не працює як насос, перебуваючи в стадії фібриляції. Оскільки разом із кровообігом припиняється й постачання організму киснем, у цієї людини настає швидке різке погіршення загального стану, й дихання припиняється. У результаті настає клінічна смерть. Фібриляція триває звичайно протягом недовгого часу, змінюючись невдовзі повною зупинкою серця.

Припинення дихання відбувається звичайно в результаті безпосереднього впливу струму на м'язи грудної клітки, що беруть участь у процесі дихання. Людина починає зазнавати утруднення дихання внаслідок судорожного скорочення зазначених м'язів уже при струмі 20–25 мА частотою 50 Гц, що проходить через її тіло. При більшому струмі ця дія підсилюється. У випадку тривалого проходження через людину такого струму настає так звана асфіксія (удушення) – хворобливий стан у результаті нестачі кисню й надлишку вуглекислоти в організмі. При асфіксії послідовно втрачаються свідомість, чутливість, рефлексії, потім припиняється дихання, а через якийсь час зупиняється серце або виникає його фібриляція, тобто настає клінічна смерть. Припинення серцевої діяльності в цьому випадку обумовлено не впливом струму на серце (оскільки струм до 50 мА не викликає фібриляції або зупинки серця), а припиненням подачі кисню в організм, зокрема до клітин серцевого м'яза, через зупинку дихання.

Електричний шок – своєрідна важка нервово-рефлекторна реакція організму у відповідь на надмірне подразнення

електричним струмом, що супроводжується глибокими розладами кровообігу, дихання, обміну речовин тощо. Під час шоку безпосередньо після впливу струму настає короткочасна фаза збудження, коли потерпілий реагує на виниклі болі, у нього підвищується кров'яний тиск тощо. Після цього настає фаза гальмування й виснаження нервової системи, коли різко знижується кров'яний тиск, падає й частішає пульс, слабшає дихання, виникає депресія – пригноблений стан і повна байдужість до оточення при збереженій свідомості. Шоковий стан триває від декількох десятків хвилин до доби. Після цього може настати або загибель людини в результаті повного згасання життєво важливих функцій, або видужання як результат своєчасного активного лікувального втручання.

1.2. Електричний опір тіла людини

1.2.1. Електричний опір тіла людини

Тіло людини є провідником електричного струму. Однак провідність живої тканини на відміну від звичайних провідників обумовлена не тільки її фізичними властивостями, але й дуже складними біохімічними й біофізичними процесами, властивими лише живій матерії. У результаті опір тіла людини є змінною величиною, що має нелінійну залежність від множини факторів, у тому числі від стану шкіри, параметрів електричного кола, фізіологічних факторів і стану навколишнього середовища. Таким чином, тіло людини можна розглядати як провідник особливого роду, що має змінний опір і володіє якоюсь мірою властивостями провідників першого роду (напівпровідники) і другого роду (електроліти).

Електричний опір різних тканин тіла людини неоднаковий: шкіра, кістки, жирова тканина, сухожилля й хрящі мають відносно великий опір, а м'язова тканина, кров, лімфа й особливо спинний і головний мозок – малий. Наприклад, при струмі 50 Гц питомий об'ємний опір становить, Ом·м:

шкіри сухої	$3 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^4$;
кістки (без окістя)	$10^4 - 2 \cdot 10^6$;
жирової тканини	30 – 60;

м'язової тканини	1,5 – 3;
крові	1 – 2; ;
спинномозкової рідини	0,5 – 0,6

Із цих даних випливає, що в порівнянні з іншими тканинами шкіра має дуже великий питомий опір, що є головним фактором, який визначає опір тіла людини в цілому.

Опір тіла людини, тобто опір між двома електродами, накладеними на поверхню тіла, у різних людей неоднаковий. Неоднаковим виявляється він і в однієї людини в різний час і в різних умовах вимірювання.

Опір тіла людини можна умовно вважати таким, що складається із трьох послідовно ввімкнених опорів (рис. 1.3, а, б): двох однакових комплексних опорів зовнішнього шару шкіри, тобто епідермісу, $2 \cdot z_e$ і одного активного опору внутрішніх тканин тіла R_B (яке містить у собі два опори – внутрішніх шарів шкіри, тобто дерми, і підшкірних тканин тіла).

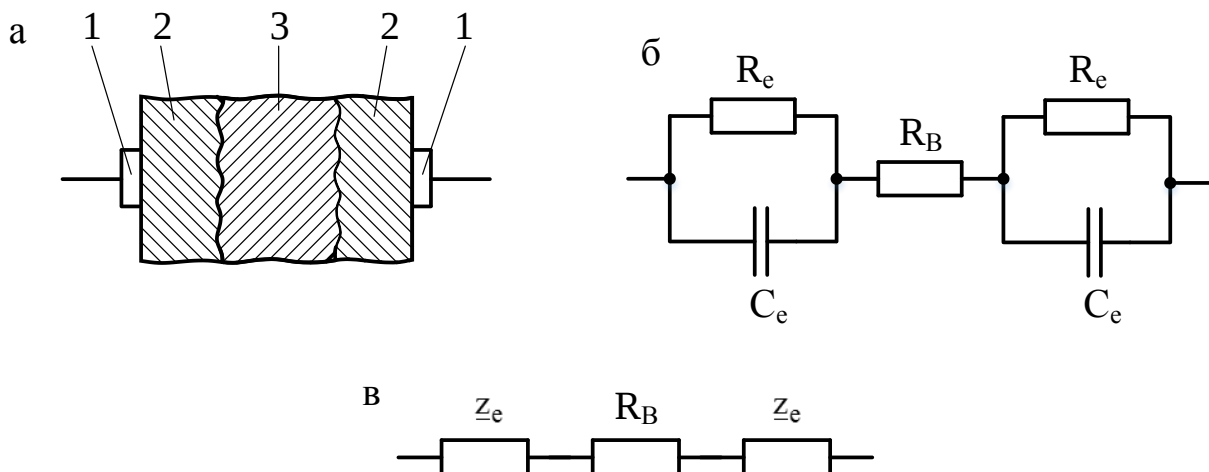


Рис. 1.3. До визначення електричного опору тіла людини:
а – схема вимірювання опору; б – еквівалентна схема опору тіла людини; в – спрощена еквівалентна схема; 1 – електроди;
2 – зовнішній шар шкіри (епідерміс); 3 – внутрішні тканини тіла (внутрішні шари шкіри й підшкірних тканин); R_B – опір внутрішніх тканин; R_e – активний опір епідермісу;
 C_e – ємність епідермісу

Опір епідермісу z_e складається з активного R_e і ємнісного $x_c=1/\omega C_e$ опорів, включених паралельно, де $\omega = 2\pi f$ – кутова частота. Ємнісний опір обумовлений тим, що в місці дотику електрода до тіла людини утворюється немов конденсатор, обкладками якого є електрод і тканини тіла людини, які добре проводять струм, що лежать під зовнішнім шаром шкіри, а діелектриком, що розділяє обкладки, – цей шар (епідерміс) (рис. 1.3, б). Як показують дослідження, ємність епідермісу C_e коливається від декількох сотень пікофарад до декількох мікрофарад.

$$z_h = 2 \cdot z_e + R_b = 2 \cdot \left(R_e - j \frac{1}{\omega \cdot C_e} \right) + R_b . \quad (1.1)$$

Активний опір епідермісу R_e , Ом, залежить від його питомого опору ρ_e , значення якого перебувають у межах $10^4 - 10^5$ Ом·м, а також від площі контакту S і товщини епідермісу d_e :

$$R_e = \frac{\rho_e \cdot d_e}{S} . \quad (1.2)$$

Опір внутрішніх тканин тіла R_b вважається суто активним. Значення R_b практично не залежить від площі електродів, частоти струму, а також від прикладеної напруги й дорівнює приблизно 500–700 Ом.

При малій ємності епідермісу C_e (коли її можна прийняти рівною нулю) повний опір тіла людини z_h виявляється рівним сумі активних опорів обох шарів епідермісу й опору внутрішніх тканин тіла:

$$z_h = 2 \cdot R_e + R_b = R_h . \quad (1.3)$$

У розрахунках з електробезпеки опір тіла людини приймають рівним 1000 Ом при напрузі дотику 50 В і більше та 6000 Ом при напрузі дотику меншій 42 В.

1.2.2. Залежність опору людини від різних факторів

1.2.2.1. Залежність опору тіла людини від стану шкіри

Опір шкіри, а отже, і тіла в цілому значно зменшується при ушкодженні її рогового шару, наявності вологи на її поверхні, інтенсивному потовиділенні й забрудненні.

Ушкодження рогового шару – порізи, подряпини, садна й інші мікротравми – можуть знизити опір тіла людини до значення, близького до значення опору його внутрішніх тканин, що, безумовно, збільшує небезпеку ураження людини струмом.

Зволоження шкіри знижує її опір навіть у тому випадку, якщо волога має значний питомий опір. Так, зволоження сухих рук сильно підсоленою водою знижує опір тіла на 30–50 %, а дистильованою водою – на 15–35 %. Пояснюється це тим, що волога, що потрапила на шкіру, розчиняє мінеральні речовини і жирні кислоти, які перебувають на її поверхні, що виведені з організму разом з потом і шкірним салом, і шкіра стає більш електропровідною. При тривалому зволоженні шкіри роговий шар її розпушується, насичується вологою, у результаті чого його опір майже повністю втрачається.

Таким чином, робота вологими руками або в умовах, що викликають зволоження яких-небудь ділянок шкіри, створює передумови для більш важких наслідків у випадку потрапляння людини під напругу.

Потовиділення обумовлене діяльністю потових залоз, яких у людини близько 500 на 1 см² шкіри. Піт добре проводить електричний струм, оскільки до його складу входять вода й розчинені в ній мінеральні солі, а також деякі продукти обміну речовин. Виділення поту відбувається безупинно, навіть на холоді, але особливо інтенсивно при високій температурі навколишнього повітря, посиленій фізичній роботі, місцевому нагріванні шкіри, захворюванні людини тощо.

Отже, робота в умовах, що викликають посилене потовиділення, збільшує небезпеку ураження людини струмом.

Забруднення шкіри різними речовинами, що особливо добре проводять струм (металевий або вугільний пил, окалина тощо), супроводжується зниженням її опору, подібно до того, як

це спостерігається при поверхневому зволоженні шкіри. Крім того, струмопровідні речовини, проникаючи у вивідні протоки потових і сальних залоз, створюють у шкірі довгостроково існуючі струмопровідні канали, що різко знижують її опір.

Таким чином, особи, у яких руки забруднюються струмопровідними речовинами, наражаються на більшу небезпеку ураження струмом, ніж особи, що працюють чистими сухими руками.

1.2.2.2. Залежність опору тіла людини від параметрів електричного кола

Електричний опір залежить від таких параметрів електричного кола, як:

- місце прикладення електродів до тіла людини;
- величина струму й прикладеної напруги;
- рід і частота струму;
- площа електродів;
- тривалість проходження струму.

Місце прикладення електродів впливає тому, що опір шкіри в однієї людини на різних ділянках тіла неоднаковий. Різниця в значеннях опору шкіри на різних ділянках тіла пояснюється декількома факторами, у тому числі:

- різною товщиною рогового шару шкіри;
- нерівномірним розподілом потових залоз на поверхні тіла;
- неоднаковим ступенем наповнення кров'ю судин шкіри.

Найменший опір має шкіра обличчя, шиї, рук на ділянці вище долонь, особливо на стороні, поверненої до тулуба, пахвових западин, тильної сторони кистей рук.

Збільшення струму, що проходить через тіло людини, супроводжується посиленням місцевого нагрівання шкіри й дратівної дії на тканини. Це у свою чергу викликає рефлекторно, тобто через центральну нервову систему, швидку відповідну реакцію організму у вигляді розширення судин шкіри, а отже, посилення постачання її кров'ю й підвищення потовиділення, що й призводить до зниження електричного опору шкіри в цьому місці.

Підвищення напруги, прикладеної до тіла людини, U_d викликає зменшення в десятки разів її повного опору z_h , що у межі наближається до найменшого значення опору підшкірних тканин тіла (рис. 1.4). Зменшення повного опору тіла людини z_h із зростанням прикладеної напруги пояснюється впливом низки факторів, у тому числі збільшенням струму, що проходить через шкіру, і пробоем рогового шару шкіри під впливом прикладеної напруги. **Зростання струму, що проходить через шкіру**, обумовлене у першу чергу підвищенням напруги, прикладеної до тіла людини. Вплив зростання струму на опір шкіри розглянуто раніше. **Пробій рогового шару шкіри** можливий, якщо напруженість виниклого в ньому електричного поля перевищує його пробивну напруженість. Це відбувається при напрузі близько 50 В і вище.

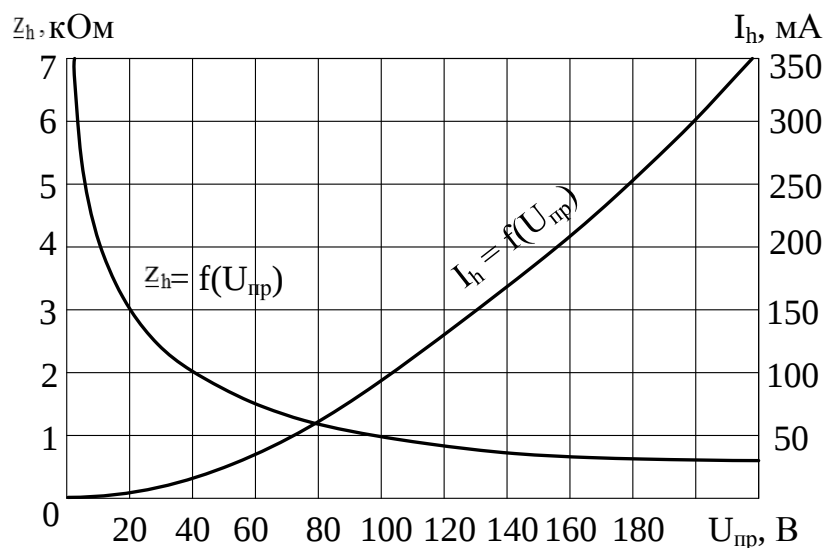


Рис. 1.4. Залежність опору тіла людини й струму, що протікає через нього, від прикладеної напруги

Рід і частота струму. Дослідження показують, що опір тіла людини постійному струму більший, ніж змінному будь-якої частоти. Різниця в значеннях опорів постійному і змінному струмам особливо велика при малих напругах – до 10 В. Із зростанням прикладеної напруги ця різниця зменшується, і починаючи із 40–50 В опір тіла людини як постійному, так і змінному струму промислової частоти стає практично однаковим.

Площа електродів S безпосередньо впливає на повний опір тіла людини: чим більша S , тим менший опір z_h . Із зростанням частоти струму залежність повного опору тіла людини z_h від площі електродів S зменшується, і при 10–20 кГц вплив площі електродів припиняється повністю.

Тривалість протікання струму помітно впливає на опір шкіри, а отже, на z_h у цілому, внаслідок посилення із часом кровопостачання ділянок шкіри під електродами, потовиділення тощо. Цей вплив буде тим більший, чим довше проходить електричний струм через людину.

1.2.2.3. Залежність опору тіла людини від фізіологічних факторів і навколишнього середовища

На значення опору тіла людини z_h , крім розглянутих, впливають і інші фактори.

Стать і вік. У жінок, як правило, опір тіла менший, ніж у чоловіків, а у дітей – менший, ніж у дорослих, у молодих людей менший, ніж у літніх. Пояснюється це тим, що у дітей і жінок шкіра більш тонка й ніжна, ніж відповідно у дорослих і чоловіків.

Фізичні подразнення, що виникають зненацька для людини – болісні (уколи й удари), звукові, світлові та ін. – можуть викликати на кілька хвилин зниження опору тіла на 20–50 %.

Зменшення парціального тиску кисню в повітрі в порівнянні з нормою помітно знижує опір тіла людини. Отже, у закритих приміщеннях, де парціальний тиск кисню, як правило, менший, небезпека ураження струмом за інших рівних умов вища, ніж на відкритому повітрі.

Підвищена температура навколишнього повітря викликає деяке зниження z_h , навіть якщо людина в цих умовах перебуває короткочасно (кілька хвилин) і в неї не спостерігається посилення потовиділення. Однією з причин цього може бути посилення постачання судин шкіри кров'ю в результаті їх розширення, що є відповідною реакцією організму на тепловий вплив.

1.3. Основні фактори, що впливають на наслідок ураження електричним струмом

1.3.1. Характер впливу на людину струмів різної величини

При ураженні людини електричним струмом **основним уражаючим фактором є величина струму, що проходить через її тіло.** При цьому ступінь негативного впливу струму на організм людини збільшується із зростанням струму. Разом з тим результат ураження визначається тривалістю проходження струму, його частотою, а також деякими іншими факторами.

Розглянемо докладніше, як змінюється небезпека впливу на людину струму залежно від його величини. При цьому будемо вважати, що струм через людину проходить найбільш типовими шляхами, а саме *від руки до руки* або *від руки до ніг*.

Відчутний струм. Людина починає відчувати вплив струму, за його величини в середньому близько 1,1 мА при змінному струмі частотою 50 Гц і близько 6 мА при постійному струмі. Цей вплив обмежується при змінному струмі слабкою свербіжем й легким пощипуванням (поколюванням), а при постійному струмі – відчуттям нагрівання шкіри на ділянці, що торкається струмовідної частини.

Електричний струм, що викликає при проходженні через організм відчутні подразнення, називається **відчутним струмом**, а найменше значення цього струму називається **граничним відчутним струмом**. Значення граничних відчутних струмів у різних людей різні. Граничний відчутний струм не може викликати ураження людини, і в цьому розумінні він не є небезпечним. Однак тривале (протягом декількох хвилин) проходження цього струму через людину може негативно позначитися на стані її здоров'я й тому неприпустиме. Крім того, відчутний струм може стати непрямою причиною нещасного випадку, оскільки людина, відчувши вплив струму, втрачає впевненість у своїй безпеці й може вчинити неправильні дії. Особливо небезпечний несподіваний вплив відчутного струму, що викликає мимовільні помилкові дії людини, які збільшують небезпеку для неї при роботах поблизу струмовідних частин, на висоті й в інших аналогічних умовах.

Безпечний струм, що довгостроково (протягом декількох годин) може проходити через людину, не завдаючи їй шкоди й не викликаючи жодних відчуттів, очевидно, у багато разів менший граничного відчутного струму. З метою практичності найбільші значення безпечного струму приймають рівними 50 мкА при 50 Гц і 100 мкА при постійному струмі.

Невідпускаючий струм. Збільшення струму понад граничного відчутного викликає в людини судоми м'язів і болісні відчуття, які із зростанням струму посилюються й поширюються на все більші ділянки тіла. При струмі в середньому близько 15 мА (50 Гц) біль стає ледь стерпним, а судоми м'язів рук виявляються настільки значними, що людина не в змозі їх перебороти. У результаті вона не може розтиснути руку, у якій затиснута струмовідна частина, і опиняється ніби прикутою до неї.

Електричний струм, що викликає при проходженні через людину непереборні судорожні скорочення м'язів руки, в якій затиснуто провідник, називається *невідпускаючим струмом*, а найменше його значення – *граничним невідпускаючим струмом*. Для змінного струму частотою 50 Гц величина невідпускаючого струму становить 10–15 мА, для постійного струму – 50–80 мА.

Струм, що перевищує граничний невідпускаючий, посилює судорожні скорочення м'язів і болісні відчуття, які поширюються на більш велику ділянку тіла людини, ніж при граничному невідпускаючому струмі. У результаті дихальні рухи грудної клітки сильно утруднюються. У випадку тривалого впливу цього струму дихання може виявитися неможливим, після чого за кілька хвилин настане смерть від асфіксії. Цей струм одночасно викликає звуження кровоносних судин, що призводить до підвищення артеріального тиску крові й утруднення роботи серця. Тривалий вплив цього струму викликає ослаблення діяльності серця і як наслідок цього – втрату свідомості, а іноді й зупинку серця.

Фібриляційний струм. Струм 50 мА й більше при 50 Гц, проходячи через тіло людини, викликає звичайно через 1–3 с фібриляцію серця. При цьому припиняється кровообіг і, отже, в організмі виникає нестача кисню; це у свою чергу швидко призводить до припинення дихання, тобто настає смерть.

Електричний струм, що викликає при проходженні через організм фібриляцію серця, називається **фібриляційним струмом**, а найменше його значення – **граничним фібриляційним струмом**. При частоті 50 Гц фібриляційними є струми в межах від 50 мА до 5 А, а середнє значення граничного фібриляційного струму складає приблизно 100 мА. При постійному струмі середнім значенням граничного фібриляційного струму можна вважати 300 мА, а верхньою границею – 5 А.

Струм більше 5 А, як змінний при 50 Гц, так і постійний, викликає негайну зупинку серця, минаючи стан фібриляції. Якщо дія струму була короткочасною (1–2 с) і не спричинила ушкодження серця (у результаті нагрівання, опіку тощо), після вимикання струму воно, як пра вило, самостійно відновлює нормальну діяльність. При великих струмах, навіть у випадку їх короткочасного впливу, поряд із зупинкою серця відбувається й параліч дихання. Після вимикання струму дихання, як правило, самостійно не відновлюється, і потрібна негайна допомога потерпілому у вигляді штучного дихання. Тривала (кілька секунд) дія великого струму супроводжується не тільки зупинкою серця й припиненням дихання, але й великими й глибокими опіками тіла, руйнуванням внутрішньої структури тканин організму й іншими важкими ушкодженнями окремих органів, у тому числі серця, які, як правило, призводять до загибелі організму.

1.3.2. Вплив тривалості проходження струму на наслідок ураження

Аналіз нещасних випадків ураження електричним струмом показує, що тривалість проходження струму через організм істотно впливає на результат ураження: чим триваліша дія струму, тим більша ймовірність важкого або смертельного результату. Така залежність пояснюється тим, що зі збільшенням часу дії струму на живу тканину зростає його величина, накопичуються наслідки дії струму на організм і, нарешті, підвищується ймовірність збігу моменту проходження струму через серце з фазою Т серцевого циклу (кардіоциклу).

Зростання струму зі збільшенням часу його дії пояснюється зменшенням опору тіла людини, що докладно розглянуто вище.

Наслідки дії струму на організм виявляються в порушенні функцій центральної нервової системи, зміні складу крові, місцевому руйнуванню тканин організму під впливом теплоти, що виділяється, порушенні роботи серця й легенів тощо. Очевидно, що зі збільшенням часу дії струму ці негативні фактори накопичуються, а згубний вплив їх на стан організму посилюється.

Небезпека збігу моменту проходження струму через серце з фазою Т кардіоциклу полягає в тому, що чутливість серця до електричного струму неоднакова в різні фази його діяльності. Найбільш уразливим серце виявляється у фазі Т, коли закінчується скорочення шлуночків, і вони переходять у розслаблений стан. Тривалість цієї фази близько 0,2 с. Тому, якщо під час фази Т через серце проходить струм, то при деякому його значенні виникає фібриляція серця; якщо ж час проходження цього струму не збігається з фазою Т, то ймовірність виникнення фібриляції різко зменшується (рис. 1.5).

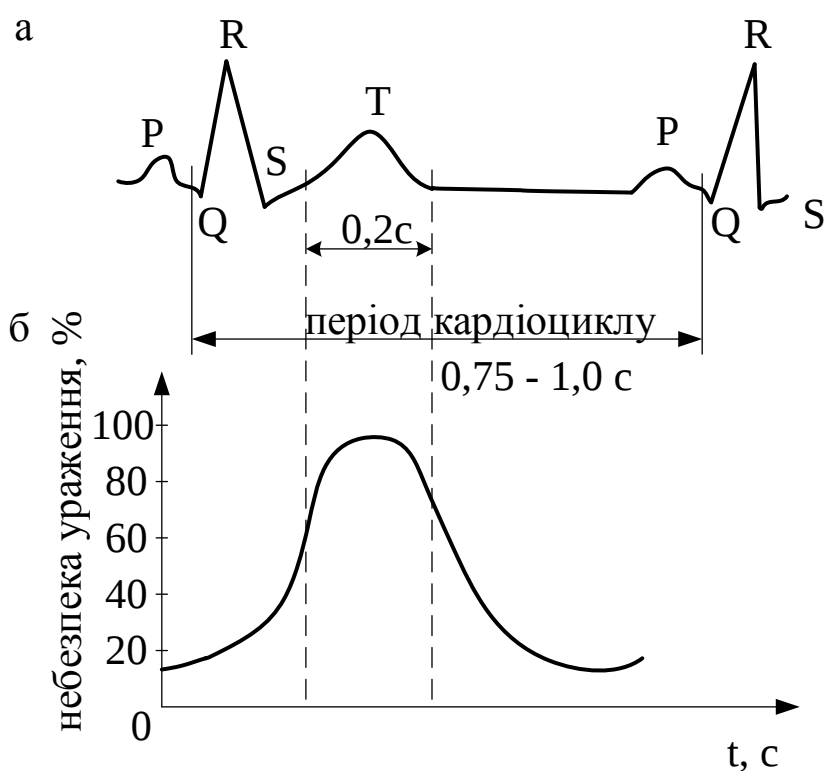


Рис. 1.5. Залежність небезпеки ураження від збігу часу протікання струму через серце з фазою Т кардіоциклу: а – електрокардіограма здорової людини (у схематизованому вигляді); б – залежність небезпеки ураження від моменту протікання струму через серце

Отже, імовірність виникнення фібриляції серця, тобто небезпека смертельного ураження, залежить не тільки від значення струму, але й від того, з якою фазою серцевого циклу збігається період проходження струму через область серця. Загальний характер цієї залежності виражається кривою, наведеною на рис. 1.5, б. При тривалості проходження струму, рівній часу кардіоциклу (0,75–1 с) або такій, що перевищує його, струм «зустрічається» з усіма фазами роботи серця, у тому числі з найбільш уразливою фазою Т; це досить небезпечно для організму. Якщо ж час дії струму менший за тривалість кардіоциклу на 0,2 с або більший, то ймовірність збігу моменту проходження струму з фазою Т, а отже, і небезпека ураження різко зменшуються.

1.3.3. Вплив шляху струму на наслідок ураження

Шлях проходження струму в тілі людини відіграє істотну роль у наслідках ураження. Так, якщо на шляху струму виявляються життєво важливі органи – серце, легені, головний мозок, то небезпека ураження досить велика, оскільки струм впливає безпосередньо на ці органи. Можливих шляхів струму в тілі людини, які називаються також петлями струму, дуже багато. Однак характерними, що звичайно трапляються на практиці, є не більше 15 петель: рука – рука; права рука – ноги; ліва рука – ноги; права рука – права нога; права рука – ліва нога; ліва рука – ліва нога; ліва рука – права нога; обидві руки – обидві ноги; нога – нога; голова – руки; голова – ноги; голова – права рука; голова – ліва рука; голова – права нога; голова – ліва нога (рис. 1.6). Найпоширеніші шість з них наведено в табл. 1.1.

Найбільш часто коло струму через людину виникає по шляху «рука – рука», що відбувається приблизно в 40 % випадків. Шлях «права рука – ноги» посідає друге місце – 20%. Інші петлі виникають ще рідше.

Небезпеку петлі можна оцінити за значенням струму, що проходить через область серця: чим більший цей струм, тим небезпечніша петля. У табл. 1.1 ці струми зазначені для кожної з розглянутих петель. Найнебезпечнішими є петлі «голова – руки» й «голова – ноги», коли струм може проходити через головний і

спинний мозок. На щастя, ці петлі виникають відносно рідко. Наступний щодо небезпеки шлях «права рука – ноги», що за частотою утворення посідає друге місце. Найменш небезпечним є шлях «нога – нога», що називається нижньою петлею й виникає при впливі на людину так званої напруги кроку. У цьому випадку через серце проходить, очевидно, невеликий струм. При цьому можливий смертельний результат внаслідок рефлекторної дії струму.

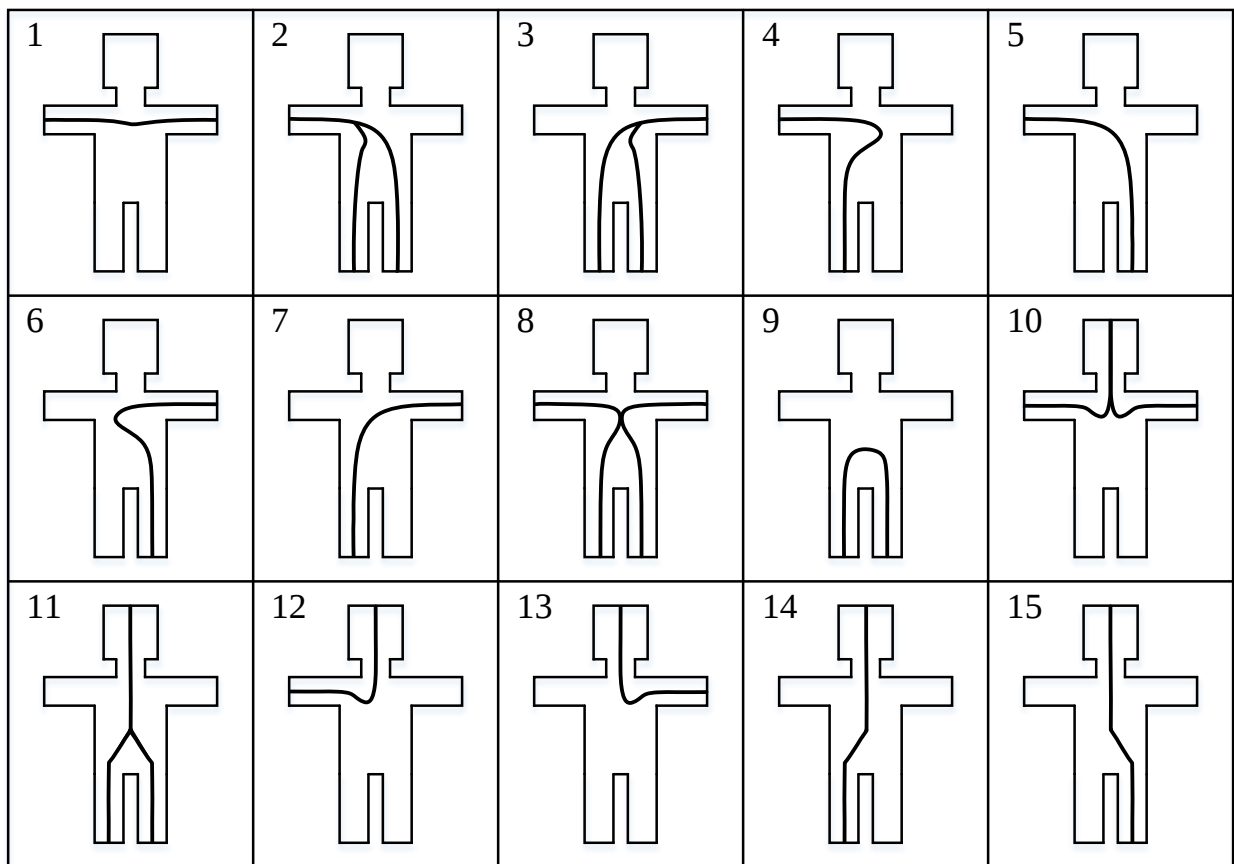


Рис. 1.6. Характерні шляхи струму в тілі людини

- 1 – рука – рука; 2 – права рука – ноги; 3 – ліва рука – ноги;
 4 – права рука – права нога; 5 – права рука – ліва нога;
 6 – ліва рука – ліва нога; 7 – ліва рука – права нога; 8 – обидві
 руки – обидві ноги; 9 – нога – нога; 10 – голова – руки;
 11 – голова – ноги; 12 – голова – права рука; 13 – голова – ліва
 рука; 14 – голова – права нога; 15 – голова – ліва нога

Напруга кроку навіть невеликого значення (50–80 В) викликає мимовільні судорожні скорочення м'язів ніг і, як наслідок, падіння людини на землю. У цей момент замість нижньої петлі в тілі людини утворюється новий, більш небезпечний шлях струму – звичайно від рук до ніг. Оскільки в такому положенні людина торкається одночасно точок землі, віддалених одна від іншої на відстань, що перевищує довжину кроку, напруга, що діє на неї, виявляється, як правило, більшою за напругу кроку. У результаті створюється реальна загроза смертельного ураження струмом.

Таблиця 1.1

Характеристика найпоширеніших шляхів струму в тілі людини

Шлях струму	Частота виникнення такого шляху струму, %	Значення струму, що проходить через область серця, % загального струму, що проходить через тіло
Рука – рука	40	3,3
Права рука – ноги	20	6,7
Ліва рука – ноги	17	3,7
Нога – нога	6	0,4
Голова – ноги	5	6,8
Голова – руки	4	7,0
Інші	8	–

1.3.4. Вплив роду струму і його частоти на наслідок ураження

Рід струму і його частота також дуже впливають на результат ураження електричним струмом.

Змінний струм. Через наявність в опорі тіла людини ємнісної складової збільшення частоти прикладеної напруги в діапазоні частот 0–50 Гц супроводжується зменшенням повного опору тіла й зростанням струму, що проходить через людину. Подальше підвищення частоти, незважаючи на зростання струму, супроводжується зниженням небезпеки ураження, яка повністю

зникає при частоті 450–500 кГц. Правда, ці струми зберігають небезпеку опіків як при виникненні електричної дуги під час контакту зі струмовідними частинами, що перебувають під напругою, так і при проходженні цих струмів.

Постійний струм приблизно в 4–5 разів безпечніший змінного частотою 50 Гц. Це впливає із зіставлення значень граничних невідпускаючих струмів (50–80 мА для постійного струму й 10–15 мА для струму частотою 50 Гц). Постійний струм, проходячи через тіло людини, викликає більш слабкі скорочення м'язів і менш неприємні відчуття в порівнянні зі змінним струмом того самого значення. Лише в момент замикання й розмикання кола струму людина зазнає короточасних болісних відчуттів внаслідок раптового судорожного скорочення м'язів, подібних до тих, що виникають при змінному струмі приблизно того самого значення.

Сказане про порівняльну небезпеку постійного й змінного струмів справедливе лише для напруг до 500 В. Вважається, що при більш високих напругах постійний струм стає більш небезпечним за змінний частотою 50 Гц. Причини різного ступеня небезпеки струмів із різними частотами криються в характері подразнювальної дії цих струмів на клітини живої тканини.

1.3.5. Вплив індивідуальних властивостей людини на наслідок ураження

Результати ураження людини залежать від її індивідуальних властивостей. Встановлено, що цілком здорові й фізично міцні люди легше переносять електричні удари, ніж хворі й слабкі. Підвищену сприйнятливість до електричного струму мають особи, що страждають на низку захворювань, у першу чергу хвороби шкіри, серцево-судинної системи, органів внутрішньої секреції, легенів, нервові хвороби та ін.

Чимале значення також має психічна підготовленість людини до можливої небезпеки ураження струмом. Несподіваний електричний удар навіть при відносно невеликій напрузі нерідко призводить до важких наслідків; якщо ж людина підготовлена до удару, тобто очікує його, то ступінь небезпеки різко зменшується. Мають значення також моральний стан, ступінь уваги й

зосередженості людини на процесі роботи, яку вона виконує, стомлення тощо.

Кваліфікація людини також позначається на результатах впливу струму: людина, не пов'язана за родом діяльності з електротехнікою, у випадку потрапляння під напругу опиняється, як правило, у більш тяжких умовах, ніж досвідчений електротехнік. Справа тут у досвіді, умінні правильно оцінити ступінь небезпеки й застосувати раціональні заходи звільнення себе від дії струму. Цим, зокрема, пояснюється те, що вимоги до улаштування електроустановок у приміщеннях загального призначення значно більш суворі, ніж до електроустановок електротехнічного профілю, куди має доступ лише кваліфікований електротехнічний персонал.

1.4. Критерії безпеки електричного струму

Захисні заходи й засоби захисту від ураження електричним струмом мають розроблятися з урахуванням допустимих для людини значень струму при певній тривалості його дії та характерних шляхах його проходження через тіло або відповідних цим струмам напруг дотику.

У цей час державними стандартами визначені гранично допустимі рівні напруг дотику й струмів, що проходять через тіло людини, для електроустановок при нормальному робочому (неаварійному) режимі їхньої роботи (табл. 1.2), а також при аварійних режимах виробничих (табл. 1.3) і побутових (табл. 1.4) електроустановок. Ці норми відповідають проходженню струму через тіло людини по шляху «рука – рука» або «рука – ноги».

Таблиця 1.2

Найбільші допустимі напруги дотику U_d і струми I_h , що протікають через людину при нормальному (неаварійному) режимі роботи електроустановки

Рід і частота струму	Найбільші допустимі значення	
	U_d , В	I_h , мА
Змінний, 50 Гц	2,0	0,3
Змінний, 400 Гц	3,0	0,4
Постійний	8,0	1,0

Таблиця 1.3

Найбільші допустимі напруги дотику U_d і струми I_h , що протікають через людину при аварійному режимі виробничих електроустановок напругою до 1000 В із глухозаземленою або ізольованою нейтраллю й вище 1000 В з ізольованою нейтраллю

Рід і частота струму	Нормована величина	Тривалість впливу t, с						
		0,01–0,08	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	Більш 1,0
Змінний, 50 Гц	U_d , В	650	250	125	85	65	50	36
	I_h , мА	650	250	125	85	65	50	6
Змінний, 400 Гц	U_d , В	650	500	250	170	130	100	36
	I_h , мА	650	500	250	170	130	100	8
Постійний	U_d , В	650	400	300	240	220	200	40
	I_h , мА	650	400	300	240	220	200	15

Таблиця 1.4

Найбільші допустимі напруги дотику U_d і струми I_h , що протікають через людину при аварійному режимі побутових електроустановок напругою до 1000 В і частотою 50 Гц

Нормована величина	Тривалість впливу t, с											
	0,01–0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Більш 1,0
U_d , В	220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	12
I_h , мА	220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	2

Ураження людини струмом при аварійних режимах в електроустановках має ймовірнісний характер і настає при збігу таких випадкових подій:

- пошкодження ізоляції електрообладнання і поява небезпечного потенціалу на корпусі електрообладнання;
- торкання людини до корпусу електрообладнання з пошкодженою ізоляцією під час дії захисту;
- протікання через тіло людини струму, за значенням і тривалістю достатнього для виникнення фібриляції.

Ймовірність ураження $P_{ур}$ людини при аварійних режимах в електроустановках $P_{ур}=P_{пош}P_{тор}P_{ф}$, де $P_{пош}$ – ймовірність пошкодження; $P_{тор}$ – ймовірність торкання; $P_{ф}$ – ймовірність фібриляції.

Шляхи зменшення ймовірності ураження людини:

- правильна організація експлуатації і своєчасне проведення профілактичних заходів (зменшення $P_{\text{пош}}$);
- впровадження автоматизації виробничих процесів з використанням огорож і блокувань (зниження $P_{\text{тор}}$);
- застосування технічних способів захисту, спрямованих на зниження напруги дотику і часу існування аварійного режиму (зниження $P_{\text{ф}}$).

Підвищення нормованих значень допустимої напруги дотику і розрахункового значення ймовірності виникнення фібриляції при аварійних режимах виробничих електроустановок обумовлено:

- складністю реалізації технічних засобів захисту, що забезпечують зниження напруги дотику (особливо в зимових умовах);
- високою кваліфікацією персоналу та рівнем організації експлуатації таких електроустановок;
- можливістю суттєвого зниження ймовірності пошкодження електрообладнання $P_{\text{пош}}$ і ймовірності торкання $P_{\text{тор}}$ до пошкодженого обладнання під час дії захисту та забезпечення за рахунок цього достатньо малого розрахункового значення ймовірності ураження персоналу.

Контроль гранично допустимих рівнів напруг дотику й струмів має здійснюватися вимірюванням цих величин у місцях, де може відбутися замикання електричного кола через тіло людини.

Контрольні питання

1. Які дії чинить електричний струм, проходячи через організм людини?
2. Як проявляються термічна та біологічна дії струму?
3. Як виражається електролітична та механічна (динамічна) дія струму?
4. Які види електричних травм вам відомі? Наведіть їх стислу характеристику.
5. Що собою являє електричний удар? Назвіть ступені ураження ним.
6. Якими є причини смерті від електричного струму?

7. Які фактори визначають ступінь впливу електричного струму на організм людини?
8. Якою є величина небезпечного струму, чим вона обумовлена?
9. Якою є величина смертельного струму?
10. Як впливає частота струму на ступінь впливу на організм людини?
11. Яким є характер впливу на людину струмів різного значення?
12. Як впливає шлях струму на результат ураження електричним струмом?
13. Як залежить опір тіла людини від параметрів електричного кола?

Розділ 2

ПЕРША ДОПОМОГА ПОТЕРПІЛОМУ ВІД ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

2.1. Зміст першої допомоги

Перша допомога потерпілому від електричного струму спрямована на відновлення або збереження його життя і здоров'я. Її надають, як правило, особи, які є поруч з потерпілим.

Особа, яка надає допомогу, повинна знати: основні ознаки порушення життєво важливих функцій організму людини; загальні ознаки надання першої допомоги та її заходи; основні способи перенесення та евакуації потерпілих.

Особа, яка надає допомогу, повинна уміти:

- оцінювати стан потерпілого і визначати, яка допомога потрібна йому в першу чергу;
- забезпечити відновлення прохідності верхніх дихальних шляхів;
- виконувати штучне дихання способом «з рота в рот» («з рота в ніс») і закритий масаж серця та оцінювати їх ефективність;
- тимчасово зупиняти кровотечу накладанням джгута, стискальної пов'язки, пальцевим притисненням судин;
- накладати пов'язку при ушкодженні;
- використовувати підручні засоби для перенесення, завантаження і транспортування потерпілого;
- користуватися аптечкою першої допомоги.

Першу допомогу потерпілому від електричного струму необхідно надавати в такій послідовності:

- звільнити потерпілого від дії електричного струму;
- визначити характер і важкість електротравми і послідовність заходів порятунку потерпілого;
- виконати заходи рятування потерпілого і підтримання його основних житєвих функцій;
- викликати швидку медичну допомогу (лікаря) або транспортувати потерпілого до найближчого медичного закладу.

Рятування потерпілого залежить від швидкості звільнення його від дії струму, а також від правильного і своєчасного надання йому допомоги.

У місцях постійного чергування працівникам необхідно мати аптечку з набором медикаментів і засобів для надання першої допомоги, а також плакати, що ілюструють правила надання першої допомоги. Вони мають розташовуватися на видних місцях.

Перша допомога при ураженні електричним струмом надається двома етапами: *звільнення потерпілого від дії струму й надання йому долікарської медичної допомоги.*

Оскільки результат ураження струмом залежить від тривалості проходження його через тіло людини, дуже важливо якнайшвидше звільнити потерпілого від струму й відразу ж надати йому допомогу. В усіх випадках ураження людини струмом необхідно, не припиняючи надання йому першої допомоги, викликати лікаря.

2.2. Звільнення людини від дії електричного струму

Звільнення потерпілого від дії струму можна здійснити кількома способами. ***Перша дія для звільнення потерпілого від струму – швидке вимкнення тієї частини електроустановки, якої він торкається.*** Вимкнення електроустановки здійснюється за допомогою найближчого рубильника, вимикача або іншого вимикального апарата, а також шляхом зняття або вивертання запобіжників (пробок), рознімання штепсельного з'єднання тощо. При цьому треба мати на увазі, що коли потерпілий перебуває на висоті, то вимкнення напруги може викликати його падіння. У такому випадку вживають заходів, що запобігають падінню або гарантують його безпеку. Крім того, при вимкненні установки може одночасно згаснути електричне освітлення, тому за відсутності денного освітлення необхідно мати наготові інше джерело освітлення – ліхтар, свічу, факел тощо, а за наявності аварійного освітлення – увімкнути його. ***При неможливості швидкого вимкнення установки*** (наприклад, через віддаленість або недосяжність вимикача тощо) необхідно вжити інших заходів звільнення потерпілого від дії струму. Так, у деяких випадках можна перервати коло струму через потерпілого шляхом

перерубання проводів або автоматичного вимкнення електроустановки, відмежування потерпілого від струмовідних частин, яких він торкається, тощо. Заходи залежать від напруги електроустановки, навколишніх умов, наявності придатних для цього пристроїв і предметів і, нарешті, від уміння й спритності того, хто надає допомогу. В усіх випадках той, хто надає допомогу, повинен швидко звільнити потерпілого від струму й стежити за тим, щоб самому не опинитися в контакті зі струмовідною частиною або тілом потерпілого, а також під напругою кроку.

При напрузі до 1000 В у деяких випадках можна перерубати проводи сокирою із сухою дерев'яною рукояткою (рис. 2.1) або перекусити їх інструментом з ізольованими рукоятками. Припустимо використовувати й звичайний інструмент із металевими рукоятками, при цьому той, хто надає допомогу, повинен надягти діелектричні рукавички й калоші. Перерубувати (перерізувати) потрібно кожний провід окремо, щоб не викликати коротке замикання між ними, у результаті якого може виникнути електрична дуга, здатна заподіяти тому, хто надає допомогу, серйозні опіки тіла й призвести до ушкодження очей.

Можна відтягнути потерпілого від струмовідних частин за його одяг, якщо він сухий й відстає від тіла, наприклад за поли піджака, пальто. При цьому не можна торкатися тіла потерпілого, його взуття (яке може виявитися струмопровідним внаслідок забруднення, наявності в ньому цвяхів тощо), вологого одягу, а також навколишніх заземлених металевих предметів. Рекомендується діяти одною рукою, тримаючи другу в кишені або за спиною (рис. 2.2).

За потреби доторкнутися до ділянок тіла потерпілого, не покритих сухим одягом, треба надягти на руки діелектричні рукавички або обмотати їх сухою тканиною (шарфом тощо), натягнути на руки рукава піджака або пальто тощо. Для ізоляції своїх рук можна також накинути на потерпілого піджак, плащ, гумовий килимок або просто суху тканину. Для більшої надійності можна також ізолювати себе від землі або струмопровідної підлоги, надягши гумові калоші або вставши на суху або яку-небудь іншу підстилку, що не проводить електричний струм.

Якщо потерпілий судорожно стискає рукою провід, що перебуває під напругою, то для звільнення його від дії струму

можна розтиснути його руку, відгинаючи кожний палець окремо. Для цього той, хто надає допомогу, повинен мати на руках діелектричні рукавички й стояти на ізолювальній основі – діелектричному килимку, сухій дошці або бути в калошах.

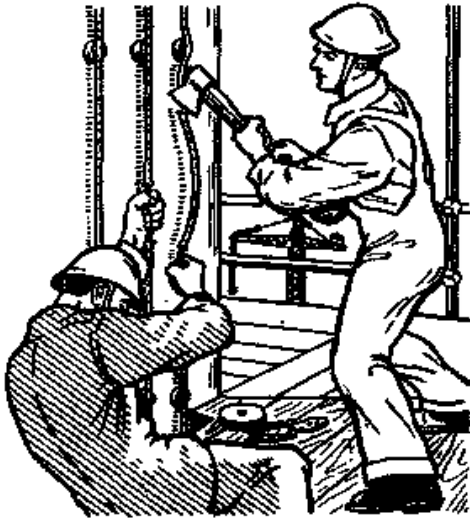


Рис. 2.1. Звільнення потерпілого від дії струму в установках до 1000 В – перерубування проводів (кожного окремо) сокирою з дерев'яною сухою рукояткою

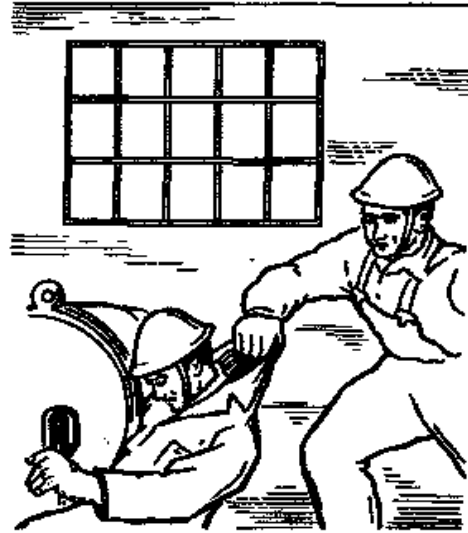


Рис. 2.2. Звільнення потерпілого від дії струму в установках до 1000 В – відтягання за сухий одяг

Можна відкинути провід, якого торкається потерпілий, користуючись сухою дерев'яною палицею, дошкою й іншими предметами, що не проводять електричний струм (рис. 2.3).

В установках напругою вище 1000 В для відмежування потерпілого від струмовідних частин необхідно надягти діелектричні рукавички й боти та діяти штангою або ізолювальними кліщами, розрахованими на напругу даної електроустановки (рис. 2.4). Застосування діелектричних бот у цьому випадку необхідне для захисту від можливої крокової напруги.

Автоматичне вимкнення електроустановки для звільнення потерпілого, що перебуває в контакті зі струмовідною частиною, від дії струму можна здійснити навмисним замиканням накоротко й заземленням фаз електроустановки. Цей спосіб більш ефективний в електроустановках напругою вище 1000 В, оскільки

такі установки завжди оснащуються надійним і швидкодіючим релейним захистом. Однак сама операція замикання накоротко й заземлення струмовідних частин, що перебувають під напругою, дуже небезпечна, тому даний спосіб звільнення потерпілого від струму застосовується у виняткових випадках, коли жодні інші способи не можуть бути використані. Таким винятковим випадком є ураження струмом на повітряній лінії електропередачі, коли потерпілий торкається проводів лінії, й цю лінію неможливо швидко вимкнути з пункту живлення через його віддаленість.

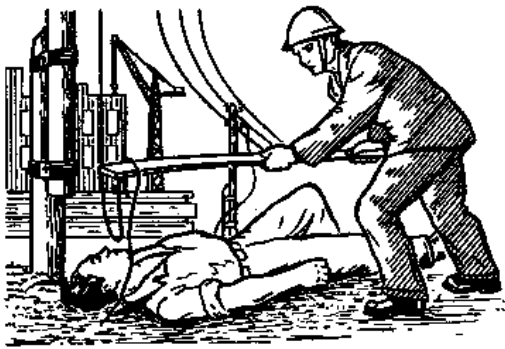


Рис. 2.3. Звільнення потерпілого від дії струму в установках до 1000 В – відкидання проводу сухою дерев'яною дошкою

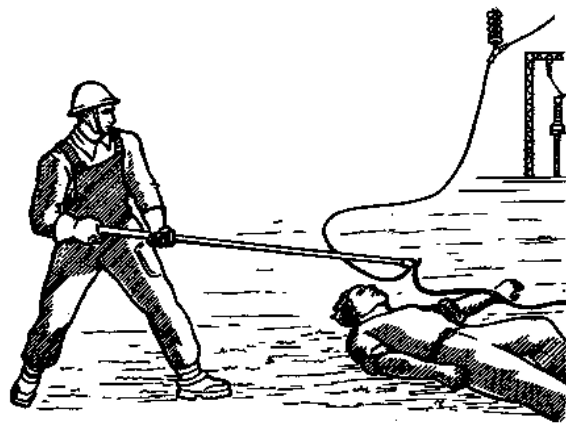


Рис. 2.4. Звільнення потерпілого від дії струму в установках вище 1000 В

Замикання й заземлення проводів повітряної лінії можна здійснити шляхом накидання на них заземленого одним кінцем неізолюваного провідника. Найбільш придатним для накидання провідником є мідний неізолюваний гнучкий провід відповідної довжини. Можна використовувати з цією метою й інший неізолюваний провід. Переріз провідника, що накидається, має бути достатнім, щоб він не перегорів при проходженні по ньому струмів короткого замикання. Найменший переріз його (по міді) в усіх випадках має бути 16 мм^2 для ліній напругою до 1000 В і 25 мм^2 для ліній напругою вище 1000 В. Перед накиданням один кінець провідника надійно заземлюють шляхом приєднання його до найближчого заземлювального пристрою підстанції, металевої опори або до спеціально забитого в землю стержневого

заземлювача. До другого кінця провідника для зручності накидання прикріплюють невеликий вантаж. Провідник накидають так, щоб він не торкнувся нікого з людей, у тому числі виконавця цієї операції та потерпілого. Якщо потерпілий торкається одного проводу, то часто достатньо заземлити тільки цій провід.

2.3. Заходи першої долікарської допомоги

Першу допомогу ураженому струмом повинен уміти робити кожен, хто працює в електроустановках. Чинні Правила безпечної експлуатації вимагають, щоб весь персонал, що обслуговує електроустановки, був навчений практичних заходів звільнення потерпілого від струму й способів надання йому першої долікарської допомоги.

Особа, яка надає допомогу, повинна діяти в такому порядку:

1. Звільнити потерпілого від дії електричного струму, забезпечивши попередньо особисту безпеку.
2. Звільнити потерпілого від обтяжливого для дихання одягу.
3. Оглянути порожнину рота потерпілого і очистити її від слизу, згустків крові, блювотної маси.
4. Без зволікання взятися за надання першої допомоги.

Особи, які не зайняті наданням першої допомоги, повинні:

1. Викликати лікаря.
2. Доповісти відповідному начальнику або енергодиспетчеру.
3. Послати за аптечкою першої допомоги і набором приладів і засобів для надання першої допомоги.
4. Випроводити з приміщення сторонніх людей.
5. Забезпечити потерпілому спокій і надходження свіжого повітря.

Перша медична допомога потерпілому від електричного струму надається негайно після звільнення його від дії струму саме тут, на місці. Переносити потерпілого в інше місце можна в тих випадках, коли небезпека продовжує загрожувати потерпілому або тому, хто надає допомогу, або при вкрай несприятливих умовах — темрява, дощ, тіснота тощо. Заходи першої долікарської допомоги потерпілому від електричного струму залежать від його стану.

Для визначення стану потерпілого необхідно покласти його на спину й перевірити наявність дихання й серцевих скорочень.

Наявність дихання у потерпілого визначається за підніманням й опусканням грудної клітки під час самотійного вдиху й видиху. Нормальне дихання характеризується чіткими й ритмічними підніманнями й опусканнями грудної клітки. У такому стані потерпілий не має потреби в штучному диханні. Порухене дихання характеризується нечітким або неритмічним підніманням грудної клітки при вдихах, рідкими, ніби хапаючими повітря вдихами або відсутністю видимих дихальних рухів грудної клітки. Всі ці випадки розладу дихання призводять до того, що кров у легенях недостатньо насичується киснем, у результаті чого настає кисневе голодування тканин і органів потерпілого. Тому в цих випадках потерпілий має потребу в штучному диханні.

Наявність серцевих скорочень свідчить про роботу серця, тобто про наявність в організмі кровообігу, його визначають шляхом вислуховування серцевих тонів, приклавши вухо до лівої половини грудей потерпілого, або перевіркою пульсу. Пульс – це поштовхоподібні ритмічні коливання стінок кровоносних судин, обумовлені рухом по них крові при роботі серця. Наявність пульсу перевіряють, як правило, на великих артеріях, де він більше виражений, – на променевій, стегновій й сонній.

При визначенні стану людини, ураженої електричним струмом, перевірку пульсу необхідно зробити на променевій артерії на руці приблизно біля основи великого пальця. Якщо на променевій артерії пульс не виявляється, його треба перевірити на сонній артерії на шиї із правої й лівої сторін виступу щитовидного хряща – адамова яблука. Відсутність пульсу й на сонній артерії вказує, як правило, на припинення руху крові в організмі, тобто на припинення роботи серця. Про відсутність кровообігу в організмі можна судити за станом очної зіниці, яка у цьому випадку розширена.

Перевірка стану потерпілого, включаючи надання його тілу відповідного положення, перевірка дихання, пульсу й стану зіниці, має проводитися швидко – протягом 15–20 с.

Якщо потерпілий у свідомості, але до цього мав непритомний стан або протягом тривалого часу перебував під струмом, необхідно його зручно покласти на суху підстилку, накрити зверху яким-небудь одягом, випровадити із приміщення сторонніх людей і до прибуття лікаря, що має бути викликаний негайно, забезпечити йому повний спокій, безупинно спостерігаючи за його диханням і пульсом. У жодному разі не можна дозволяти потерпілому рухатися, а тим більше продовжувати роботу, навіть якщо він почуває себе добре й не має видимих ушкоджень. Негативний вплив електричного струму на людину може позначитися не відразу, а через деякий час – за кілька хвилин, годин і навіть днів. Тому тільки лікар може правильно оцінити стан здоров'я потерпілого й вирішити питання про допомогу, яку потрібно надати йому на місці, а також про подальше його лікування.

У випадку неможливості швидко викликати лікаря, потерпілого терміново доставляють у лікувальну установу.

Якщо потерпілий перебуває в несвідомому стані, але зі збереженими стійкими диханням і пульсом, його необхідно зручно покласти на підстилку, розстебнути одяг і пояс, щоб вони не утруднювали його дихання, забезпечити приплив свіжого повітря й привести до притомності – піднести до носа вату, змочену нашатирним спиртом, оббризкати обличчя холодною водою, розтерти й зігріти тіло. Постраждалому необхідно забезпечити повний спокій, випровадивши сторонніх людей із приміщення, і безперервне спостереження за його станом до прибуття лікаря.

Якщо потерпілий погано дихає – рідко, судорожно, ніби зі схлипуванням або якщо дихання потерпілого поступово погіршується, але в нього прощупується пульс, необхідно робити штучне дихання.

За відсутності ознак життя, тобто коли в потерпілого відсутні дихання й пульс, а болісні подразнення не викликають жодних реакцій, зіниці очей розширені й не реагують на світло, треба вважати потерпілого таким, що перебуває в стані клінічної смерті й негайно розпочинати його оживлення, тобто штучне дихання й масаж серця.

Ніколи не слід відмовлятися від надання допомоги потерпілому й вважати його мертвим через відсутність дихання,

пульсу й інших ознак життя. Ураженого електричним струмом можна визнати мертвим тільки при явно видимих смертельних ушкодженнях, наприклад у випадку роздроблення черепа при падінні або при обгоранні всього тіла. В інших випадках **констатувати смерть має право тільки лікар.**

Досвід показує, що своєчасне й правильне надання першої допомоги людині, що перебуває в стані клінічної смерті, як правило, приводить до позитивного результату – оживлення уявно померлого. Тут вкотре доречно підкреслити, що спроби оживлення ефективні лише в тому випадку, якщо з моменту зупинки серця пройшло не більше 4–5 хв. Відомі випадки, коли особи, що були уражені електричним струмом і перебували в стані клінічної смерті, після вживання відповідних заходів видужували й верталися до звичайної роботи. Нерідко оживлення людей, уражених електричним струмом, досягається в результаті своєчасної й кваліфікованої долікарської допомоги. У більш важких випадках ця допомога забезпечує збереження життєздатності організму уявно померлого до прибуття лікаря, який може застосувати більш ефективні заходи оживлення. У цих випадках долікарська допомога має надаватися безупинно, навіть тоді, коли час допомоги відлічується годинами. Зареєстровано багато випадків оживлення людей, уражених струмом, після 3–4 год, а в окремих випадках після 10–12 год, протягом яких безупинно виконувалися штучне дихання й масаж серця.

Рішення про даремність подальших дій щодо оживлення людини, що перебуває в стані клінічної смерті, і висновок про її дійсну (біологічну) смерть має право винести тільки лікар.

2.4. Штучне дихання

Призначення штучного дихання, як і нормального природного дихання, – забезпечити газообмін в організмі, тобто насичення крові потерпілого киснем і видалення із крові вуглекислого газу. Крім того, штучне дихання, впливаючи рефлекторно на дихальний центр головного мозку, сприяє тим самим відновленню самостійного дихання потерпілого.

Способи штучного дихання. Існує безліч різних способів виконання штучного дихання. Усі вони поділяються на дві групи: апаратні й ручні.

Апаратні способи потребують застосування спеціальних апаратів, які забезпечують вдування й видалення повітря з легенів через гумову трубку, вставлену в дихальні шляхи, або через маску, накладену на обличчя потерпілого.

Найпростішими з апаратів є ручні портативні апарати РПА-1 і РПА-2, призначені для штучного дихання й аспірації (відсмоктування) рідини й слизу з дихальних шляхів. Основними частинами їх є невеликий дуттьовий міх, що приводиться в дію рукою, і маска, що накладається щільно на рот і ніс потерпілого. Під час стиснення міха відбувається активний вдих, тобто введення під деяким тиском у легені потерпілого атмосферного повітря в обсязі 0,25–1,5 л або повітря, збагаченого киснем. В останньому випадку до всмоктувального клапана апарата приєднується киснева подушка. Під час розтягання міха відбувається пасивний видих, при цьому повітря з апарата виходить через спеціальний клапан. Завдяки портативності й малій масі цей апарат застосовується не тільки в лікарняних, але й у виробничих умовах.

Прикладом більш досконалих апаратів з активним вдихом і видихом, тобто з позитивним тиском на вдиху й негативним на видиху, є портативний апарат ДП-2. Він працює автоматично, використовуючи енергію стислого кисню, що міститься в балоні, та забезпечує режим природного дихання. Апарат споряджений пристроєм, що регулює глибину й тривалість вдиху й видиху, частоту дихання, вміст у суміші кисню, вологість суміші тощо. Апарат може бути використаний для надання невідкладної допомоги на місці нещасного випадку, при транспортуванні потерпілого в медичну установу, а також у лікарняних умовах для тривалого проведення штучного дихання – протягом декількох годин і навіть днів.

Ручні способи значно менш ефективні й незрівнянно більш трудомісткі, ніж апаратні. Вони мають, однак, ту важливу перевагу, що можуть виконуватися без будь-яких пристроїв і приладів, тобто негайно після виникнення порушень дихання в потерпілого.

Серед великої кількості існуючих ручних способів найбільш ефективним є *спосіб «з рота в рот»*. Він полягає в тому, що той, хто надає допомогу, вдуває повітря зі своїх легенів у легені потерпілого через його рот або ніс. Установлено, що повітря, видихуване з легенів, містить достатню для дихання кількість кисню.

Переваги способу «з рота в рот» полягають у такому: як показала практика, він більш ефективний, ніж інші ручні способи; об'єм повітря, що вдувається в легені дорослої людини, досягає 1000–1500 мл, тобто в кілька разів більше, ніж при інших ручних способах; цей спосіб достатньо простий, і його може опанувати за короткий час кожна людина; при цьому способі виключено небезпеку ушкодження органів потерпілого; цей спосіб дає змогу просто контролювати надходження повітря в легені потерпілого – за розширенням грудної клітки; він значно менш стомливий.

Недоліком способу «з рота в рот» є те, що він може викликати почуття бридливості в того, хто надає допомогу. У зв'язку із цим вдування повітря здійснюються через марлю, носову хусточку й іншу нещільну тканину, а також через спеціальну трубку.

Підготовка до штучного дихання. Перш ніж розпочати штучне дихання, необхідно швидко виконати такі операції:

а) звільнити потерпілого від одягу, що стискає дихання, розстебнути комір, розв'язати краватку, розстебнути пояс штанів тощо;

б) покласти потерпілого на спину на горизонтальну поверхню – стіл або підлогу;

в) максимально закинути голову потерпілого, поклавши під потилицю долоню однієї руки, а другою надавлювати на чоло (рис. 2.5, а) доти, поки підборіддя потерпілого не опиниться на одній лінії із шиєю (рис. 2.5, б). При цьому положенні голови язик відходить від входу в гортань, забезпечуючи тим самим вільний прохід повітря в легені, рот звичайно відкривається. Для збереження досягнутого положення голови під лопатки необхідно підкласти валик зі згорненого одягу;

г) пальцями обстежити порожнину рота, і якщо в ньому виявиться сторонній вміст (кров, слиз тощо), видалити його, вийнявши одночасно зубні протези, якщо вони є. Для видалення

слизу й крові необхідно голову й плечі потерпілого повернути убік (можна підвести своє коліно під плечі потерпілого), а потім за допомогою носової хусточки або краю сорочки, намотаної на вказівний палець, вичистити порожнину рота й глотки (рис. 2.6). Після цього необхідно надати голові початкового положення й максимально закинути її, як зазначено вище (рис. 2.5).

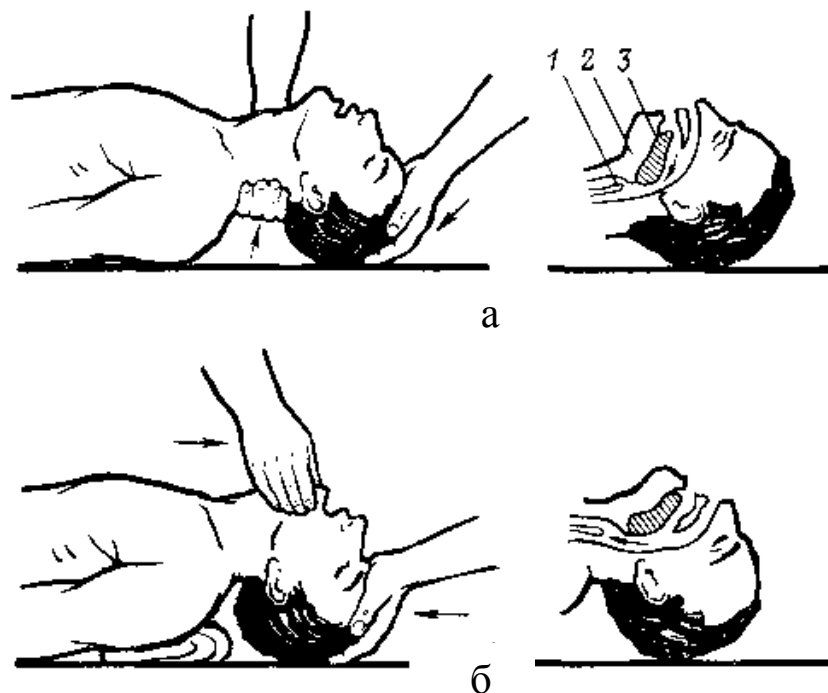


Рис. 2.5. Положення голови постраждалого перед проведенням штучного дихання способом «з рота в рот»: а – початкове положення голови: вхід у гортань 1 перекритий надгортанником 2 і запалим язиком 3; б – положення голови, при якому починають штучне дихання: голова закинута, нижня щелепа висунута (надгортанник піднявся, і язик відійшов від входу в гортань, завдяки чому забезпечений вільний прохід повітря в неї)

Виконання штучного дихання. Після закінчення підготовчих операцій той, хто надає допомогу, робить глибокий вдих і потім із силою видихає повітря в рот потерпілого. При цьому він повинен охопити своїм ротом весь рот потерпілого, а своєю щокою або пальцями затиснути йому ніс (рис. 2.7, а). Потім той, хто надає допомогу, відкидається назад, звільняючи рот і ніс потерпілого, і робить новий вдих. У цей період грудна клітка потерпілого опускається, й відбувається пасивний видих (рис. 2.7, б). Маленьким дітям вдування повітря можна робити одночасно в

рот і ніс, при цьому той, хто надає допомогу, повинен охопити своїм ротом рот і ніс потерпілого.

Контроль за надходженням повітря в легені потерпілого здійснюється за розширенням грудної клітки при кожному видиханні. Якщо після вдування повітря грудна клітка потерпілого не розправляється, це вказує на непрохідність дихальних шляхів. У такому випадку необхідно висунути нижню щелепу потерпілого вперед, для чого той, хто надає допомогу, повинен поставити чотири пальці кожної руки за кутами нижньої щелепи й, упираючись великими пальцями в її край, висунути нижню щелепу вперед так, щоб нижні зуби стояли поперед верхніх (рис. 2.8, а). Легше висунути нижню щелепу уведеним у рот великим пальцем, як показано на рис. 2.8, б.

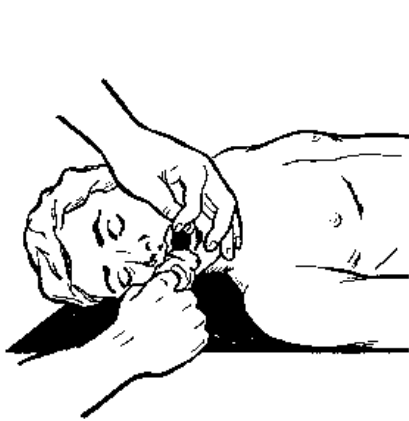


Рис. 2.6. Очищення порожнини рота й глотки від слизу, крові тощо

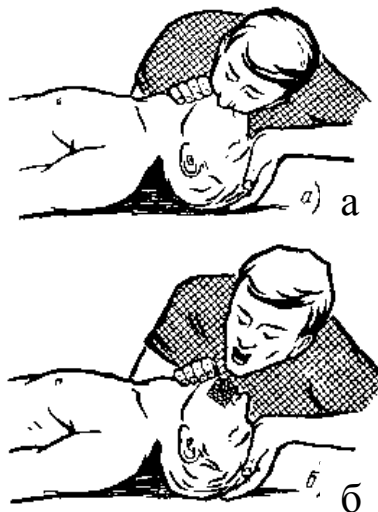


Рис. 2.7. Виконання штучного дихання способом «з рота в рот»: а – вдих; б – видих

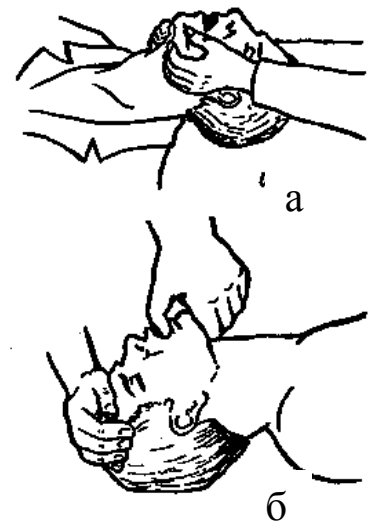


Рис. 2.8. Висування нижньої щелепи: а – двома руками; б – одною рукою

Найкраща прохідність дихальних шляхів потерпілого забезпечується при дотриманні трьох умов: максимальне відгинання голови назад, відкриття рота, висування вперед нижньої щелепи. Іноді виявляється неможливим відкрити рот потерпілого внаслідок судорожного зціплення щелеп. У цьому випадку штучне дихання необхідно робити способом «з рота в ніс», закриваючи рот потерпілого при вдуванні повітря в ніс.

Дорослій людині вдювання треба робити різко 10–12 разів за хвилину (тобто через 5–6 с), а дитині – 15–18 разів (тобто через 3–4 с). При цьому, оскільки у дитини місткість легенів менша, вдювання має бути неповним і менш різким. З появою у потерпілого перших слабких вдихів необхідно пристосовувати штучний вдих до початку самостійного вдиху. Штучне дихання необхідно проводити до відновлення глибокого ритмічного самостійного дихання.

2.5. Масаж серця

Під час надання допомоги ураженим струмом проводиться так званий *непрямий або зовнішній масаж серця* – ритмічне натискання на груди, тобто на передню стінку грудної клітки потерпілого. У результаті цього серце стискується між грудиною й хребтом і виштовхує зі своїх порожнин кров. Після припинення натискання грудна клітка й серце розпрямляються й серце заповнюється кров'ю, що надходить із вен. У людини, що перебуває в стані клінічної смерті, грудна клітка через втрату м'язової напруги легко зміщується (здавлюється) при натисканні на неї, забезпечуючи необхідний стиск серця.

Мета масажу серця – штучна підтримка кровообігу в організмі потерпілого й відновлення нормальних природних скорочень серця. Кровообіг, тобто рух крові по системі кровоносних судин, необхідний для того, щоб кров доставляла кисень до всіх органів і тканин організму. Отже, кров має бути збагачена киснем, що досягається штучним диханням. Таким чином, *одночасно з масажем серця має провадитися штучне дихання*.

Відновлення нормальних природних скорочень серця, тобто його самостійної роботи, під час масажу відбувається в результаті механічного подразнення серцевого м'яза (міокарда). Тиск крові в артеріях, що виникає в результаті непрямого масажу серця, досягає порівняно великого значення – 10–13 кПа (80 – 100 мм рт. ст.), і виявляється достатнім, щоб кров надходила до всіх органів і тканин тіла потерпілого. Це зберігає життя організму протягом усього часу, поки провадиться масаж серця (і штучне дихання).

Підготовка до масажу серця є одночасно підготовкою до штучного дихання, оскільки масаж серця має провадитися разом зі штучним диханням. Для виконання масажу необхідно покласти потерпілого на спину на тверду поверхню (лаву, підлогу або в крайньому разі підкласти під спину дошку). Необхідно також оголити його груди, розстебнути одяг, що стискує дихання.

При проведенні масажу серця той, хто надає допомогу, стає з будь-якого боку потерпілого й займає таке положення, при якому можливий більш-менш значний нахил над ним. Визначивши місце натискання (воно має бути приблизно на два пальці вище нижнього кінця грудини) (рис. 2.9), той, хто надає допомогу, повинен покласти на нього нижню частину долоні однієї руки, а потім поверх першої руки покласти під прямим кутом другу й надавлювати на грудну клітку потерпілого, злегка допомагаючи при цьому нахилом усього корпусу (рис. 2.10).

Передпліччя й плечові кістки рук того, хто надає допомогу, мають бути розігнуті до кінця. Пальці обох рук мають бути зведені разом і не торкатися грудної клітки потерпілого. Надавлювати потрібно швидким поштовхом, так щоб змістити нижню частину грудини вниз на 3–4, а в повних людей на 5–6 см. Зусилля при натисканні необхідно концентрувати на нижній частині грудини, яка більш рухлива. Необхідно уникати натискання на верхню частину грудини, а також на кінці нижніх ребер, тому що це може призвести до їхнього перелому. Не можна натискати нижче краю грудної клітки (на м'які тканини), тому що можна ушкодити розташовані тут органи, у першу чергу печінку.

Натискання (поштовх) на грудину необхідно повторювати приблизно 1 раз за секунду або трохи частіше, щоб створити достатній кровотік. Після швидкого поштовху положення рук не треба змінювати протягом приблизно 0,5 с. Після цього необхідно злегка випрямитися й розслабити руки, не віднімаючи їх від грудини. У дітей масаж виконують тільки однією рукою, надавлюючи 2 рази за секунду. Для збагачення крові потерпілого киснем одночасно з масажем серця необхідно проводити штучне дихання.

Якщо тих, хто надають допомогу, двоє, то один з них має провадити штучне дихання, а інший – масаж серця (рис. 2.11). Доцільно кожному з них робити штучне дихання й масаж серця по

черзі, змінюючи одне одного через кожні 5–10 хв. При цьому порядок надання допомоги має бути таким: після одного глибокого вдування виконується п'ять натискань на грудну клітку. Якщо виявиться, що після вдування грудна клітка потерпілого залишається нерухомою (а це може свідчити про недостатню кількість повітря, що вдувається), необхідно допомогу провадити в іншому порядку: після двох глибоких вдувань робити 15 натискань. Необхідно остерігатися надавлювати на грудину під час вдиху.

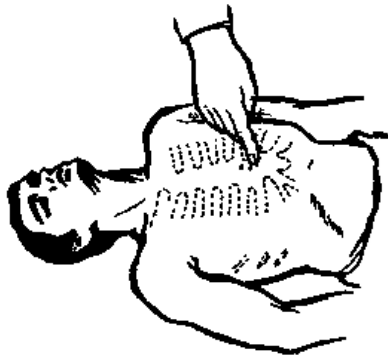


Рис. 2.9. Місце натискання на грудну клітку потерпілого при виконанні зовнішнього масажу серця

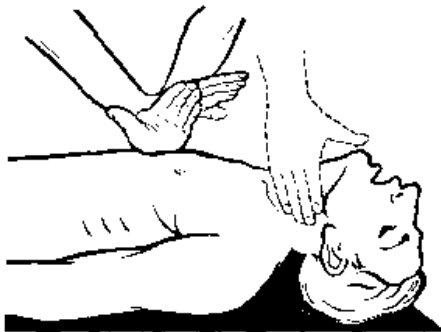


Рис. 2.10. Положення рук того, хто проводить масаж серця, й перевірка пульсу на сонній артерії

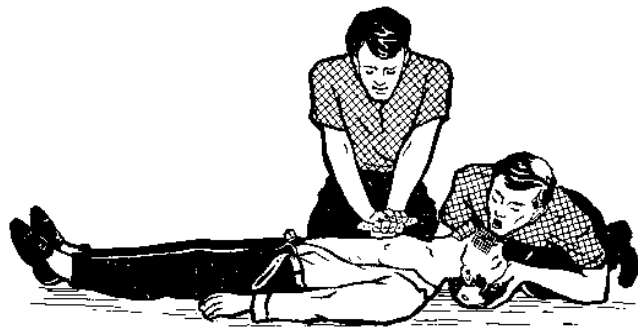


Рис. 2.11. Зовнішній масаж серця й штучне дихання «з рота в рот», виконувані двома особами

Якщо той, хто надає допомогу, проводить штучне дихання й зовнішній масаж серця один, потрібно чергувати проведення зазначених операцій у такому порядку: після двох глибоких вдувань у рот або ніс потерпілого той, хто надає допомогу, 15 разів натискає на грудну клітку, потім знову виконує два глибоких вдування й повторює 15 натискань для масажу серця й т. д.

Ефективність зовнішнього масажу серця проявляється в першу чергу в тому, що при кожному натисканні на грудину на сонній артерії чітко прощупується пульс. Для визначення пульсу вказівний і середній пальці накладають на адамове яблуко потерпадлого й, просуваючи пальці вбік, обережно обмацують поверхню ший до визначення сонної артерії (рис. 2.10). Іншими ознаками ефективності масажу є звуження зіниць, поява в потерпадлого самостійного дихання, зменшення синюшності шкіри й видимих слизових оболонок. Контроль за ефективністю масажу здійснює особа, що виконує штучне дихання. Для підвищення ефективності масажу рекомендується на час зовнішнього масажу серця підняти ноги потерпадлого. Таке положення ніг сприяє кращому припливу крові в серце з вен нижньої частини тіла.

Штучне дихання й зовнішній масаж серця необхідно виконувати до появи самостійного дихання й відновлення діяльності серця або до передачі потерпадлого медичному персоналу. Про відновлення діяльності серця потерпадлого судять з появи в нього власного, не підтримуваного масажем регулярного пульсу. Для перевірки пульсу через кожні 2 хв переривають масаж на 2–3 с. Збереження пульсу під час перерви вказує на відновлення самостійної роботи серця. За відсутності пульсу під час перерви необхідно негайно відновити масаж. Тривала відсутність пульсу з появою інших ознак оживлення організму (самостійного дихання, звуження зіниць, спроби потерпадлого рухати руками й ногами й ін.) служить ознакою фібриляції серця. У цьому випадку необхідно продовжувати надання допомоги потерпадлому до прибуття лікаря або до доставки потерпадлого в лікувальну установу, де буде зроблено дефібриляцію серця. У дорозі необхідно безперервно робити штучне дихання й масаж серця до самого моменту передачі потерпадлого медичному персоналу.

2.6. Навчання працівників надавати першу допомогу потерпадлому від електричного струму

Навчання і наступне тренування працівників надавати першу допомогу при ураженні електричним струмом найкраще проводити на установці для навчання реанімаційних заходів. Ця установка дає можливість практично відпрацьовувати надання

першої допомоги: штучне дихання та зовнішній масаж серця, здійснювати контроль за правильністю й інтенсивністю виконання цих операцій.

До комплекту установки входять манекен людини, що лежить на топчані, стояк контролю, пульт керівника занять і з'єднувальні кабелі. Манекен імітує людину, якій необхідно надати першу допомогу. На ньому можна проводити при виконанні штучного дихання всі необхідні операції: задирати голову, вдихати повітря способом «з рота в рот», імітувати рух грудної клітки при вдихуванні повітря й можливе закупорювання дихальних шляхів, а при непрямому масажі серця визначити місце прикладення зусилля і здавлювати грудну клітку.

Рухома рентгенограма, яка імітує роботу серця й легенів потерпілого, відтворюється на екрані стояка контролю. У стояку змонтовані елементи електричної та пневмонічної схем, а на лицьовому боці, крім екрана, розміщені транспаранти, які показують режим роботи. Навчання реанімаційних заходів проводиться при роботі установки в режимі «Тренаж». У цьому режимі є можливість підказати тому, хто навчається, порядок роботи при проведенні штучного дихання або масажу серця.

У режимі «Залік» проводиться автоматично цілковитий контроль за діями того, хто навчається. Ввімкнення установки, вибір режиму роботи й контроль за правильністю дій того, хто навчається, проводиться з пульта керівника занять, на лицьовій панелі якого змонтовані органи керування та транспаранти.

2.7. Перша допомога при опіках, пораненнях, кровотечі

Опіки бувають:

- термічні – викликані вогнем, парою, гарячими предметами й речовинами;
- хімічні – викликані кислотами й лугами;
- електричні – викликані дією електричного струму або електричної дуги.

За глибиною ураження опіки поділяються на **чотири ступені**: перший (шкіра почервоніла й набрякла); другий (водяні пухирі); третій (змертвіння поверхневих і глибинних шарів

шкіри); четвертий (обвуглено шкіру, уражено м'язи, сухожилля і кістки).

У разі опіків необхідно обережно зняти з потерпілого одяг та взуття (у разі сильних опіків краще їх розрізати) і, не торкаючись руками опечених ділянок тіла й не змазуючи їх мазями або розчинами, вкрити опечене місце стерильним матеріалом з індивідуального перев'язувального пакета (чистою прасованою ганчіркою), зверху накласти шар вати та закріпити бинтом. Після цього потерпілого направити до найближчої лікувальної установи. Під час надання першої допомоги при опіках **забороняється**:

- розрізати пухирі;
- видаляти мастику, каніфоль та інші смолисті речовини, які прилипли до опечених місць (для запобігання здиранню шкіри та зараженню рани мікробами);
- віддирати одяг, який обгорів та прилип до рани (за потреби шматки одягу, що прилипли, відрізаються гострими ножицями).

У разі *опіку очей електричною дугою* необхідно накласти на очі холодні примочки з 5 %-го розчину борної кислоти й терміново направити потерпілого до лікаря.

У випадку *опіку кислотою* (сірчаною, азотною, соляною) уражене місце необхідно ретельно, впродовж 10–15 хв, промити під струменем води з-під крана або з відра (допускається опускати кінцівку, яка була опечена, в бак або відро з чистою водою та робити нею інтенсивні рухи), а потім – 5 %-м розчином марганцевокислого калію або 10 %-м розчином питної соди (одна чайна ложка на стакан води) та прикрити стерильною пов'язкою або марлею, просоченою сумішшю рослинної олії та вапняної води в рівних кількостях. У разі потрапляння кислоти або її пари в очі або в порожнину рота необхідно промити очі або прополоскати рот 5 %-м розчином питної соди, а у разі потрапляння кислоти у дихальні шляхи – дихати цим розчином, розпиленим за допомогою пульверизатора.

У разі *опіків їдкими лугами* (каустичною содою, негашеним вапном) необхідно промити уражену ділянку тіла струменем води протягом 10–15 хв. Потім уражене місце промивається 5 %-м розчином оцтової або борної кислоти (одна чайна ложка на стакан води). Після промивання уражені місця накриваються марлею, просоченою 5 %-м розчином оцтової кислоти. У разі потрапляння

їдкого лугу або його пари в очі чи в порожнину рота необхідно промити очі або прополоскати рот 5 %-м розчином борної кислоти.

У разі *поранень склом* з одночасною дією кислоти або лугу насамперед треба впевнитись, що у рані немає осколків скла, змазати краї рани розчином йоду та перев'язати рану, використовуючи стерильну вату й бинт.

Ознаками **отруєння відпрацьованими газами** є: головний біль, запаморочення, шум у вухах, нудота, блювання. Під час більш тяжких отруєнь: загальна слабкість, сонливість, втрата свідомості. Під час появи вищевказаних ознак потерпілого терміново виносять на свіже повітря, дають нюхати вату, змочену нашатирним спиртом, та забезпечують подачу повітря для дихання. У цьому разі необхідно забезпечити потерпілому повний спокій та давати пити міцний чай. У випадках нападів кашлю, викликаних газом, необхідно давати потерпілому протидимну суміш з ампули. Якщо потерпілий у непритомному стані або у нього слабке й переривчасте дихання, то необхідно терміново почати робити йому штучне дихання. Одночасно потрібно викликати лікаря.

У разі **переломів й вивихів** необхідно забезпечити спокійне та найбільш зручне положення пошкодженої кінцівки після накладення шини. При цьому, якщо травма відкрита, в рану можуть легко потрапити мікроби, які є і на предметі, через який відбулось поранення, і на шкірі потерпілого, а також у пилу, землі, на руках того, хто надає допомогу, і на брудному перев'язувальному матеріалі. Якщо рана забруднена землею, то для запобігання зараженню правцем необхідно терміново звернутися до лікаря для введення протиправцевої сироватки. Щоб не забруднити рану під час перев'язування, той, хто надає першу допомогу, повинен начисто вимити руки, а якщо це зробити не можна, змазати пальці настойкою йоду. Не допускати дотику до рани навіть вимитими руками. При цьому необхідно суворо дотримуватися таких правил:

- не промивати рану водою чи навіть будь-якою лікарською речовиною, засипати порошком і покривати мазями;

- не вилучати з рани частинок піску, землі; вичистити рану може тільки лікар;

- не вилучати з рани згустків крові, бо це може викликати сильну кровотечу;
- не замотувати рану ізоляційною стрічкою.

Щоб надати **першу допомогу при пораненні**, слід розірвати індивідуальний пакет, що є в аптечці першої допомоги, накласти стерильний перев'язувальний матеріал, який міститься в ньому, на рану й зав'язати бинтом. Індивідуальний пакет потрібно розкрити так, щоб не дотикатися руками до тієї частини пов'язки, яку треба буде накласти безпосередньо на рану. Якщо індивідуального пакета немає, для перев'язки необхідно використати чисті хусточку, тканину і т.ін. На місце тканини, яка прилягає безпосередньо до рани, бажано накапати кілька крапель йодної настойки, щоб пляма за розміром була більшою за рану, а потім накласти тканину на рану. Особливо важливо застосовувати йодну настойку при забруднених ранах.

Кровотечу зупиняють притисканням пальцями кровоточивої судини, згинанням кінцівки в суглобах (якщо нема перелому її кісток), накладанням джгута або закрутки. Кровотеча може бути артеріальною і венозною. При артеріальній кровотечі кров яскраво-червоного кольору і витікає пульсуючим струменем (поштовхами); при венозній кровотечі кров темного кольору і витікає безперервно. Більш небезпечною є артеріальна кровотеча.

Для того щоб зупинити кровотечу, потрібно:

- підняти поранену кінцівку;
- рану, яка кровоточить, закрити перев'язувальним матеріалом з індивідуального пакета, що складений у вигляді тампона, і притиснути зверху, не торкаючись пальцями самої рани; в такому положенні тримати протягом 4–5 хвилин. Якщо кровотеча припиниться, то, не знімаючи тампона, поверх нього накласти ще одну подушечку з іншого пакета або ще шматок вати і забинтувати рану;
- при сильній кровотечі, якщо кров не зупиняється, необхідно стиснути кровоносні судини, які живлять поранену частину, згинаючи кінцівки в суглобах, а також пальцями, джгутом або закруткою. Джгут може бути накладено на час, що не перевищує 1,5–2 години, оскільки можливе омертвіння знекровленої кінцівки.

При кровотечі з носа потерпілого слід покласти або посадити, злегка відкинути назад голову, розстебнути комір, покласти на перенісся й на ніс холодну примочку, затиснути пальцями м'які частини (крила) носа, увести в ніс тампон вати або марлі, змочених перекисом водню.

В усіх випадках необхідно викликати лікаря або доставити потерпілого до медичної установи.

Контрольні питання

1. Що таке перша допомога?
2. Основні принципи надання першої долікарської допомоги.
3. Що має знати людина, яка надає першу долікарську допомогу?
4. Послідовність надання першої допомоги.
5. Засоби для надання першої долікарської допомоги.
6. Умови правильної організації надання першої долікарської допомоги.
7. Що таке втрата свідомості?
8. Причини втрати свідомості.
9. Ознаки втрати свідомості.
10. Допомога при втраті свідомості.
11. Що таке клінічна смерть? Її тривалість.
12. Ознаки біологічної смерті.
13. Хто має право констатувати смерть людини?
14. З якою метою виконується штучне дихання?
15. Як підготувати потерпілого до виконання штучного дихання? На що треба звернути увагу?
16. Частота виконання штучного дихання.
17. Гігієна та методика виконання штучного дихання.
18. Тривалість виконання штучного дихання.
19. Коли виконується зовнішній масаж серця?
20. Як знайти місце стискання грудини при виконанні зовнішнього масажу серця?
21. Положення рук і сила стискання грудини при виконанні зовнішнього масажу серця.

22. З якою частотою виконується зовнішній масаж серця?
23. Як координуються дії реаніматорів, коли вони вдвох виконують паралельно штучне дихання та зовнішній масаж серця потерпілого?
24. Дії реаніматора, коли він один надає допомогу потерпілому за відсутності в нього дихання та серцебиття.
25. Як перевірити наявність дихання та серцебиття у потерпілого?
26. Назвіть етапи надання першої долікарської допомоги.
27. Назвіть способи звільнення потерпілого від дії електричного струму.

Розділ 3

ФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ ПІД ЧАС СТІКАННЯ СТРУМУ В ЗЕМЛЮ

3.1. Загальні положення

Стікання струму в землю відбувається через провідник, що перебуває з нею в безпосередньому контакті. Такий контакт може бути випадковим чи навмисним. В останньому випадку провідник або група з'єднаних між собою провідників, що перебуває у контакті із землею, називається *заземлювачем*. Одиночний провідник, що перебуває в контакті із землею, називається *одиночним заземлювачем*, або заземлювальним електродом (іноді просто *електродом*), а заземлювач, що складається з кількох паралельно з'єднаних електродів, називається *груповим* чи *складним заземлювачем*.

Причинами стікання струму в землю є замикання струмовідної частини на заземлений корпус електричного устаткування, падіння проводу на землю, використання землі як проводу тощо. В усіх цих випадках відбувається різке зниження потенціалу φ_3 (тобто напруги відносно землі*) заземленої струмовідної частини до значення, рівного добутку струму I_3 , що стікає в землю, на опір, який цей струм зустрічає на своєму шляху, тобто на опір заземлювача розтіканню струму R_3 :

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R_3 . \quad (3.1)$$

Це явище, дуже сприятливе за умовами безпеки, використовують як засіб захисту від ураження струмом з випадковою появою напруги на металевих неструмовідних частинах, які з цією метою заземлюють. Однак поряд зі зниженням потенціалу заземленої струмовідної частини, при стіканні струму в землю виникають і негативні явища, а саме поява потенціалів на

* *Напругою відносно землі* називається напруга відносно точки землі, що розташована поза зоною розтікання струму замикання на землю, тобто точки, потенціал якої може бути умовно прийнятий рівним нулю.

заземлювачі і металевих частинах, що перебувають у в контакті з ним, а також на поверхні ґрунту навколо місця стікання струму в землю. Різниці потенціалів окремих точок кола струму, що виникають при цьому, у тому числі точок на поверхні землі, можуть досягати великих значень і становити небезпеку для людини. Значення потенціалів, а отже, і обумовлена ними небезпека ураження людини струмом залежать від багатьох факторів: величини струму, що стікає в землю; форми, розмірів, кількості і взаємного розташування електродів, що складають груповий заземлювач; питомого опору ґрунту тощо. Впливаючи на деякі з цих факторів, можна знизити різниці потенціалів, що діють на людину, до безпечних значень. Розглянемо ці питання більш докладно.

3.2. Стікання струму в землю через одиночний заземлювач

3.2.1. Розподіл потенціалу на поверхні землі

Стікання струму в землю супроводжується виникненням потенціалів на заземлювачі і на поверхні землі навколо нього. Розглянемо, від чого залежить величина цих потенціалів і яким є характер їх розподілу на поверхні землі на прикладі стікання струму в землю через найпростіший заземлювач – півкулю радіусом r . Через цю півкулю в землю стікає струм I_3 , який подається на заземлювач за допомогою ізолюваного провідника (рис. 3.1).

Слід зазначити, що такі заземлювачі в практиці майже не застосовуються. Але вони зручні при викладанні питання, яке розглядається, оскільки при цьому значно спрощуються математичні викладки. Для спрощення будемо вважати, що земля в усьому своєму об'ємі однорідна, тобто має в будь-якій точці однаковий питомий опір ρ . У цьому випадку струм у землі буде розтікатися від півкулі рівномірно і симетрично в усі боки (по радіусах) і густина його в землі буде зменшуватися з віддаленням від заземлювача (зі збільшенням перерізу шару землі, через який проходить струм).

На відстані x від центра півкулі густина електричного струму складає:

$$j = \frac{I_3}{2 \cdot \pi \cdot x^2} \cdot \quad (3.2)$$

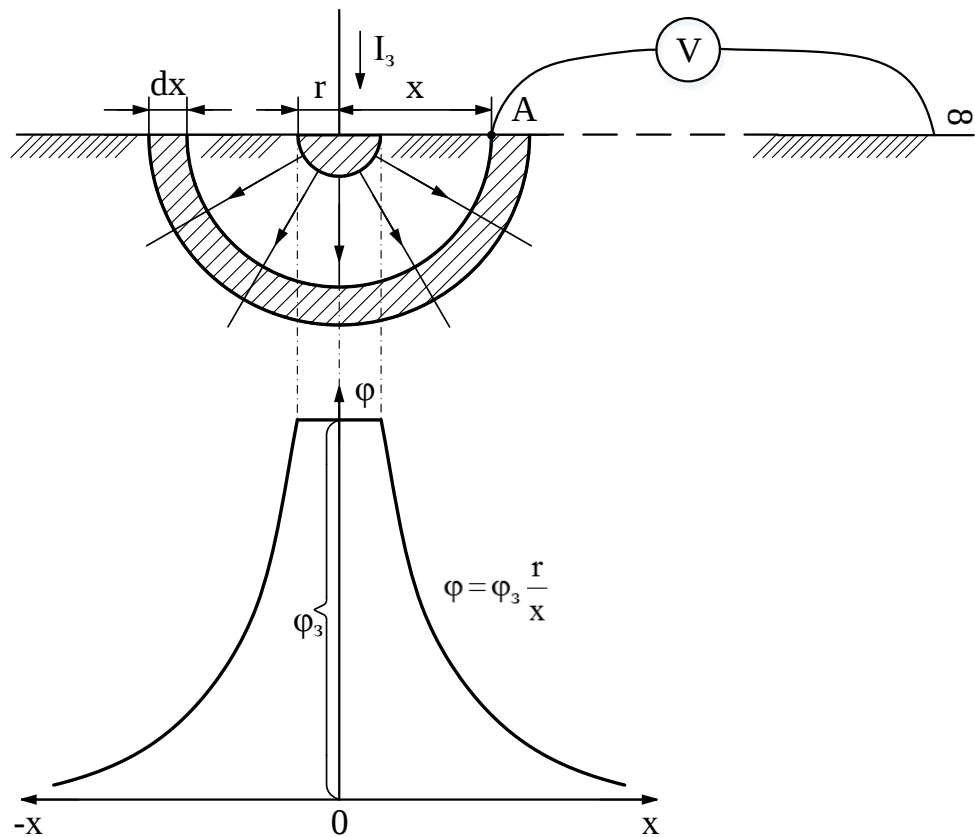


Рис. 3.1. Розподіл потенціалу на поверхні землі навколо півкульового заземлювача

В землі, де проходить струм, виникає так зване поле розтікання струму. Теоретично воно поширюється до безмежності. Проте в реальних умовах уже на відстані 20 м від заземлювача переріз шару землі, через який проходить струм, виявляється настільки великим, що густина струму тут практично дорівнює нулю.

При постійному струмі, а також при змінному струмі частотою 50 Гц поле розтікання можна розглядати як стаціонарне електричне поле, в якому густина електричного струму прямо пропорційна напруженості електричного поля:

$$\vec{j} = \frac{\vec{E}}{\rho}. \quad (3.3)$$

Неважко помітити, що це співвідношення є законом Ома в диференційній формі. При цьому лінії напруженості збігаються з лініями густини електричного струму, які у випадку, що розглядається, збігаються з радіусами заземлювача. Як відомо, напруженість електричного поля дорівнює спаду напруги, віднесеного до одиниці довжини лінії напруженості поля, тобто на одиниці шляху, що збігається з лінією напруженості поля. У даному випадку:

$$E = \frac{dU}{dx}, \quad (3.4)$$

де dU – спад напруги в елементарному шарі землі товщиною dx .

На підставі сказаного легко визначити потенціал будь-якої точки на поверхні землі, наприклад, точки A , що розташована на відстані x від центра заземлювача. Величина потенціалу дорівнює спаду напруги в ґрунті на ділянці від x до безмежності:

$$\varphi = \int_x^{\infty} dU, \quad (3.5)$$

$$\text{де } dU = E \cdot dx = j \cdot \rho \cdot dx = \frac{I_z \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot x^2} dx.$$

Розв'язавши цей інтеграл, отримуємо **рівняння для потенціалу точки A , тобто рівняння потенціальної кривої:**

$$\varphi = \frac{I_z \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot x}. \quad (3.6)$$

Мінімальний потенціал, тобто $\varphi = 0$, буде мати точка, що розташована від заземлювача на відстані $x = \infty$. Практично область нульового потенціалу починається на відстані 20 м від

заземлювача. Максимальний потенціал буде при найменшому значенні x , яке дорівнює радіусу заземлювача, тобто безпосередньо на заземлювачі:

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot r} . \quad (3.7)$$

Це потенціал півкульового заземлювача. Поділивши (3.6) на (3.7), отримаємо:

$$\frac{\varphi}{\varphi_3} = \frac{I_3 \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot x} \bigg/ \frac{I_3 \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot r} , \quad (3.8)$$

$$\text{або } \varphi = \varphi_3 \cdot r \cdot \frac{1}{x} .$$

Зазначивши добуток постійних $\varphi_3 \cdot r$ через k , отримаємо рівняння рівнобічної гіперболи:

$$\varphi = k \cdot \frac{1}{x} . \quad (3.9)$$

Отже, потенціал на поверхні землі навколо півкульового заземлювача змінюється за законом гіперболи, зменшуючись від максимального значення φ_3 до нуля з віддаленням від заземлювача (рис. 3.1). Очевидно, що для цього випадку екіпотенціальні лінії на поверхні землі являють собою концентричні кола, центром яких є центр заземлювача. В реальних умовах, коли ґрунт навколо заземлювача неоднорідний, екіпотенціальні лінії можуть значно відрізнятись від концентричних кіл, і при віддаленні від заземлювача потенціал буде змінюватися не за гіперболою, а за якоюсь іншою кривою.

Застосовуючи аналогічні міркування для заземлювачів будь-якої форми, отримаємо важливий висновок, а саме: потенціальна крива заземлювача будь-якої форми на відносно великій від нього відстані (у порівнянні з розмірами заземлювача) наближається до потенціальної кривої півкульового заземлювача і описується її рівнянням:

$$\varphi = \frac{I_3 \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot x},$$

де x – відстань від заземлювача.

Важливо зазначити також і те, що потенціал землі на відстані більше 20 м від заземлювача будь-якої форми, як і у випадку з півкульовим заземлювачем, можна вважати практично рівним нулю.

3.2.2. Опір одиночного півкульового заземлювача розтіканню електричного струму

Струм, що проходить через заземлювач в землю, переборює опір, який називається опором заземлювача розтіканню струму або просто опором розтіканню. Він охоплює три складові: опір самого заземлювача, перехідний опір між заземлювачем та ґрунтом і опір ґрунту. Найбільш значною є остання складова, тому під опором заземлювача розтіканню електричного струму розуміють опір ґрунту розтіканню струму.

Опір розтіканню одиночного півкульового заземлювача можна визначити таким чином.

Раніше вже наводився вираз для спаду напруги в елементарному шарі товщиною dx :

$$dU = \frac{I_3 \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot x^2} \cdot dx. \quad (3.10)$$

Спад напруги можна розглядати як добуток струму I_3 , що проходить через заземлювач, на елементарний опір розтіканню dR , тобто:

$$dU = I_3 \cdot dR. \quad (3.11)$$

Підставляючи значення dU з (3.11) до (3.10), отримаємо:

$$I_3 \cdot dR = \frac{I_3 \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot x^2} \cdot dx, \text{ або } dR = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot x^2} \cdot dx. \quad (3.12)$$

Очевидно, опір електричному струму, що стікає із заземлювача, чинить уся маса землі, починаючи з ділянок, що прилягають до заземлювача. Тому загальний опір розтіканню електричному струму при півкульовому заземлювачі складатиме:

$$R_3 = \int_r^{\infty} \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot x^2} \cdot dx = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{\rho}{\pi \cdot D}, \quad (3.13)$$

де r , D – радіус і діаметр півкульового заземлювача.

Опори розтіканню одиночних заземлювачів інших типів (стержневих, смугових та інших, які широко застосовуються в практиці) так само визначаються за допомогою розрахунку, але більш складним шляхом.

Формули для розрахунку опорів деяких заземлювачів наведено в табл. 3.1. З них випливає, що опір розтіканню струму залежить не лише від властивостей ґрунту, але й від форми та геометричних розмірів заземлювача. Цим і пояснюється правомочність терміна «опір заземлювача розтіканню струму», хоча в оцінці його величини опір самого заземлювача участі не бере. Наближені значення питомого електричного опору різних ґрунтів і води наведено в табл. 3.2.

Оскільки густина електричного струму в землі на відстані понад 20 м від заземлювача практично дорівнює нулю, можна вважати, що опір струму, що стікає, чинить лише відповідний об'єм землі, тобто півкуля радіусом 20 м. Але при різних формах і розмірах заземлювача опір цього об'єму землі буде різний.

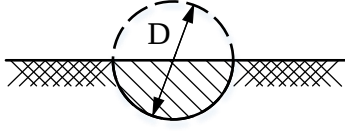
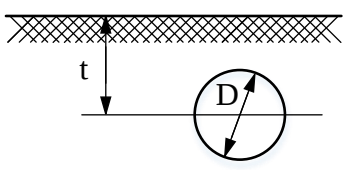
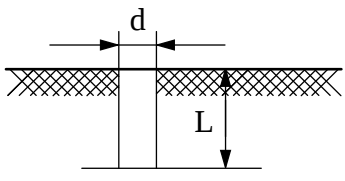
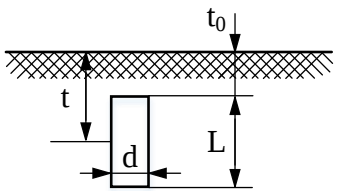
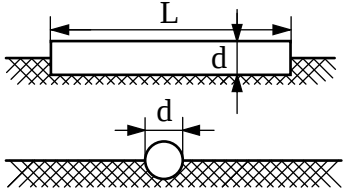
Між опором заземлювача розтіканню електричного струму R_3 , потенціалом заземлювача ϕ_3 і струмом I_3 , що стікає через нього в землю, існує залежність

$$R_3 = \frac{\phi_3}{I_3},$$

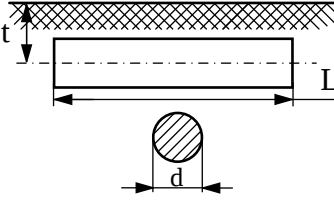
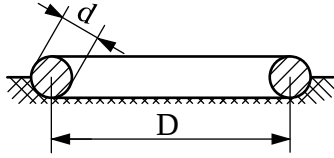
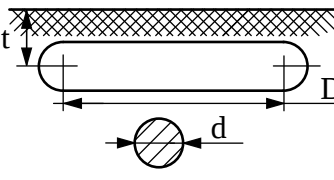
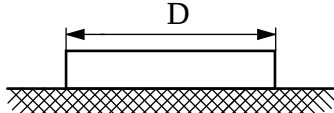
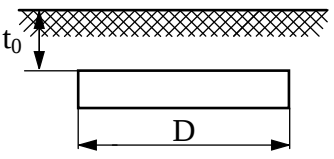
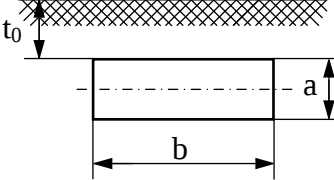
яка дійсна для будь-яких одиночних і групових заземлювачів.

Таблиця 3.1

Формули для обчислення опору одиночних заземлювачів
розтіканню електричного струму

№ з/п	Тип заземлювача	Схема	Формула	Умови застосування
1	2	3	4	5
1	Півкуля біля поверхні землі		$R = \frac{\rho}{\pi \cdot D}$	
2	Куля у землі		$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot D} \left(1 + \frac{D}{4t} \right)$	$2t \gg D$
3	Трубчатий або стержневий біля поверхні землі		$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \ln \frac{4L}{d}$	$L \gg d$ Для кутника з шириною полиці b $d = 0,95b$
4	Те саме у землі		$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \left(\ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + L}{4t - L} \right)$	$L \gg d$; $t_0 \geq 0,5\text{м}$ Для кутника з шириною полиці b $d = 0,95b$
5	Довгий круглого перерізу – стержень, труба, кабель тощо на поверхні землі		$R = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{d}$	$L \gg d$ Для смуги шириною b $d = 0,5b$

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
6	Те саме у землі		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{dt}$	$L \gg 4t \gg d$ Для смуги шириною b $d = 0,5b$
7	Кільцевий круглого перерізу на поверхні землі		$R = \frac{\rho}{\pi^2 D} \ln \frac{8D}{d}$	Для смуги шириною b $d = 0,5b$
8	Те саме у землі		$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{4\pi D^2}{dt}$	$D \gg d;$ $D \gg 2t$ Для смуги шириною b $d = 0,5b$
9	Кругла пластина на поверхні землі		$R = \frac{\rho}{2D}$	D – діаметр пластин
10	Те саме у землі		$R = \frac{\rho}{4D} \left(1 + \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{D}{\sqrt{16t_0^2 + D^2}} \right)$	$2t_0 \gg D$
11	Пластинчатий у землі (пластина поставлена на ребро)		$R = \frac{\rho}{2\pi a} \left(\ln \frac{4a}{b} + \frac{a}{4t_0} \right)$	$2t_0 \gg a$

Примітка. У формулах: ρ – питомий опір ґрунту, Ом·м. Усі розміри – у метрах, при цьому R – в омах.

Таблиця 3.2

Наближені значення питомого електричного опору різних ґрунтів і води, Ом·м

Ґрунт	Можливі межі коливань	Вода	Можливі межі коливань
Глина	8 – 70	Морська	0,2 – 1
Чорнозем	9 – 53	Струмкова	10 – 60
Торф	10 – 30	Річна	10 – 100
Садова земля	30 – 60	Ґрунтова	20 – 70
Суглинок	40 – 150	Ставкова	40 – 50
Супісок	150 – 400		
Пісок	400 – 700		
Кам'янистий	500 – 800		
Скелястий	$10^4 - 10^7$		

3.3. Стікання струму в землю через груповий заземлювач

За умовами безпеки заземлення має бути порівняно малого опору, забезпечити який можна шляхом збільшення геометричних розмірів одиночного заземлювача (електрода) або застосуванням декількох паралельно з'єднаних електродів, які у сукупності складають груповий заземлювач.

Елементарний розрахунок показує, що другий шлях у багато разів більш економічний за витратою металу й іншими умовами. Крім того, при декількох електродах можна вирівняти потенціальну криву на території, де вони розміщуються, що в ряді випадків відіграє вирішальну роль у гарантуванні безпеки. Тому на практиці застосовують, як правило, групові заземлювачі.

3.3.1. Розподіл потенціалу на поверхні землі

При великих відстанях між електродами групового заземлювача (звичайно більше 40 м) поля розтікання струмів навколо них практично не взаємодіють, тобто струм кожного електрода проходить «своєю» окремою ділянкою землі, якою струми інших заземлювачів не проходять. У цьому випадку навколо кожного електрода виникають самостійні потенціальні криві, що взаємно не перетинаються (рис. 3.2). При цьому

потенціали всіх електродів однакові, навіть якщо електроди мають різні розміри, а отже, через них проходять струми різного значення і їхні потенціальні криві мають різну форму.

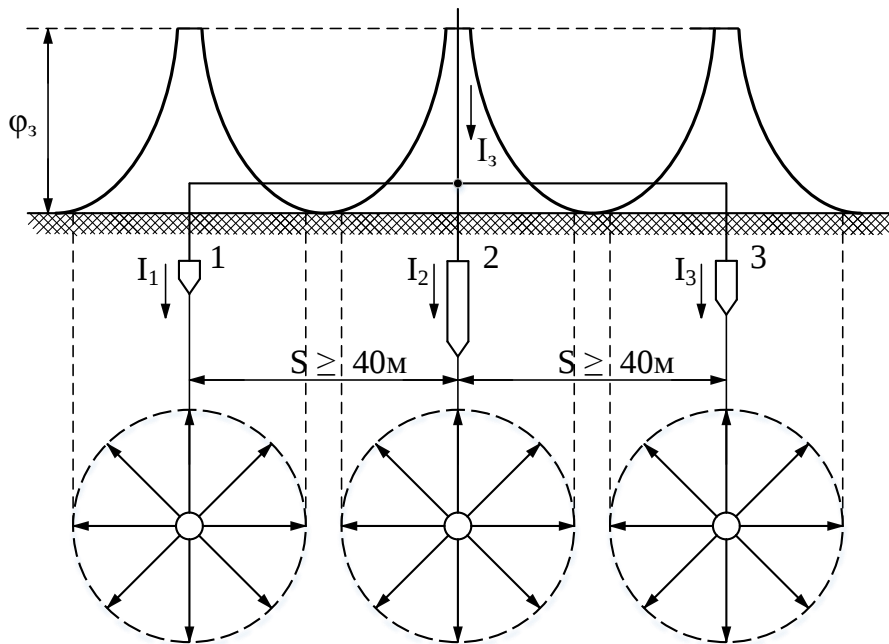


Рис. 3.2. Потенціальні криві й поля розтікання струму групового заземлювача при відстанях між електродами $S \geq 40$ м:
1, 2, 3 – електроди

При малих відстанях між електродами групового заземлювача (менш 40 м) поля розтікання струмів ніби накладаються одне на одне, а потенціальні криві електродів взаємно перетинаються й, складаючись, утворюють безперервну сумарну потенціальну криву групового заземлювача (рис. 3.3).

У результаті поверхня землі на ділянках між електродами набуває деякого потенціалу. При цьому форма сумарної потенціальної кривої залежить від відстані між електродами, їх взаємного розташування, кількості, форми й розмірів.

Потенціальна крива найпростішого групового заземлювача, що складається із двох однакових півкульових електродів, показана на рис. 3.4 жирною лінією. Вона отримана додаванням потенціальних кривих обох електродів. Неважко визначити рівняння цієї кривої й, зокрема, найцікавішої її ділянки – між електродами. Оскільки ці електроди однакові й перебувають в однакових умовах, струм, що стікає в землю,

ділиться між ними порівну й, отже, їхні потенціальні криві ідентичні.

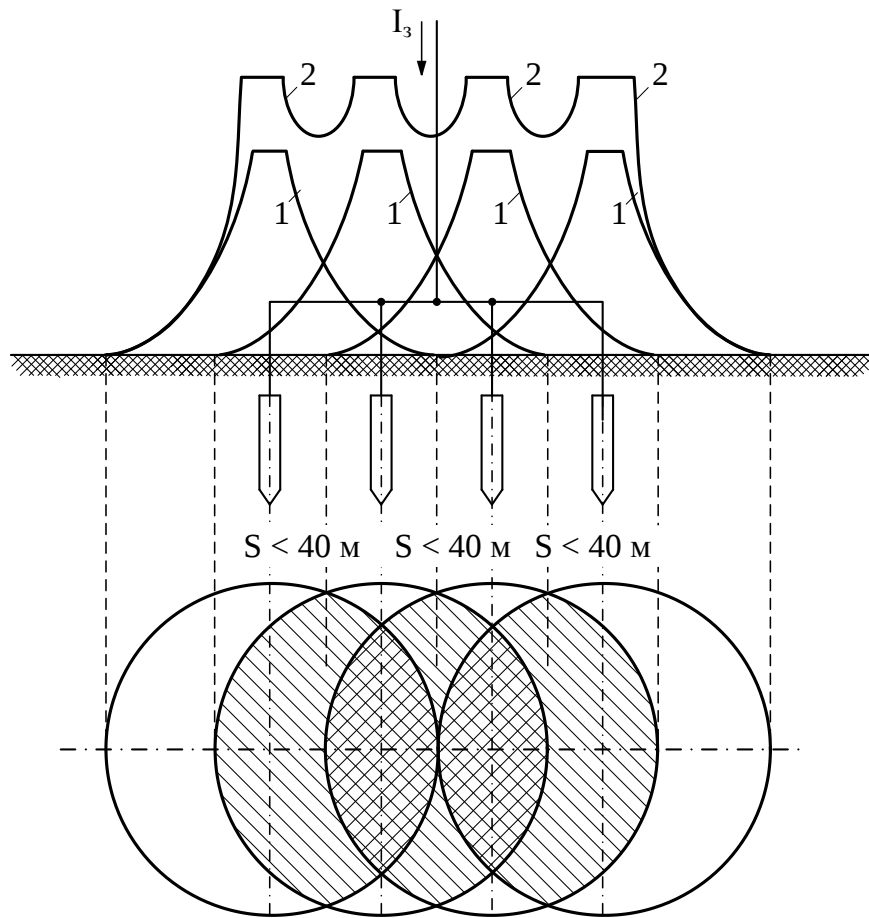


Рис. 3.3. Потенціальна крива й поле розтікання струму групового заземлювача при відстанях між електродами $S < 40$ м:
1 – власні потенціальні криві електродів; 2 – сумарна потенціальна крива

Для нашої задачі важливо знати стан ділянки між електродами, тобто розподіл потенціалів φ_1 й φ_2 , який у системі прямокутних координат φ , x з ординатою, що проходить через центр лівої півкулі, описується рівняннями:

$$\varphi_1 = \frac{\varphi_0 \cdot r}{x}; \quad (3.14)$$

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_0 \cdot r}{(s - x)}, \quad (3.15)$$

де φ_0 – власний потенціал півкулі, визначений за формулою (3.7);
 r – радіус півкулі;
 s – відстань між центрами півкуль.

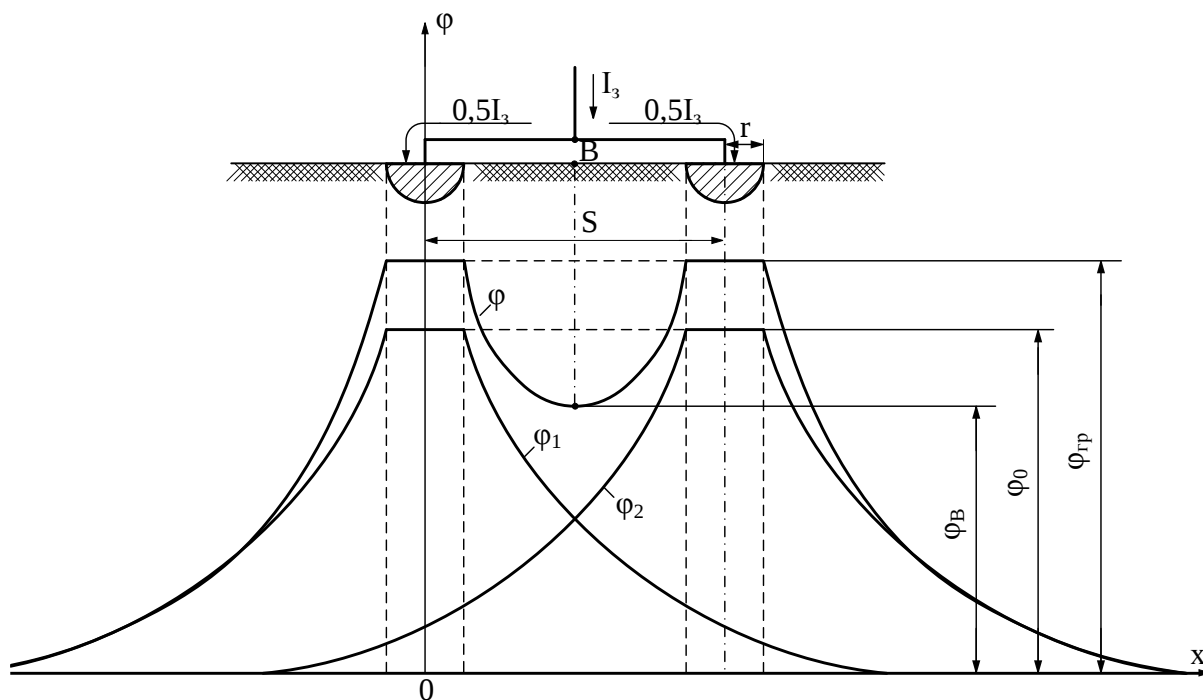


Рис. 3.4. Потенціальна крива групового заземлювача, що складається із двох однакових півкульових електродів

Шукане рівняння сумарної потенціальної кривої φ на ділянці між заземлювачами визначається підсумовуванням рівнянь (3.14) і (3.15):

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = \varphi_0 \cdot r \frac{s}{(s-x)}. \quad (3.16)$$

Найбільший потенціал на поверхні землі буде при найменшому значенні x , тобто при $x=r$. Це – потенціал кожного із двох півкульових електродів, що входять до складу розглянутого групового заземлювача, або (що те саме) потенціал групового заземлювача,

$$\varphi_{гр} = \frac{\varphi_0 \cdot s}{(s-r)}. \quad (3.17)$$

Поділивши (3.16) на (3.17), одержимо рівняння тієї самої кривої, але виражене через потенціал групового заземлювача:

$$\varphi = \varphi_{\text{гр}} \cdot \frac{r \cdot (s - r)}{x \cdot (s - x)}. \quad (3.18)$$

Найменший потенціал на поверхні землі буде між електродами в точці В, що лежить на середині відрізка s , тобто при $x = 0,5 \cdot s$:

$$\varphi_{\text{в}} = \frac{\varphi_0 \cdot 4r}{s}, \quad (3.19)$$

або

$$\varphi_{\text{в}} = \frac{\varphi_{\text{гр}} \cdot 4r \cdot (s - r)}{s^2}. \quad (3.20)$$

З формули (3.20) зрозуміло, що зі зменшенням s потенціал $\varphi_{\text{в}}$ зростає, наближаючись до потенціалу групового заземлювача (найменше значення $s = 2 \cdot r$). Одночасно збільшується й $\varphi_{\text{гр}}$ (див. (3.17)), наближаючись до $2 \cdot \varphi_0$. При великому значенні s , наприклад при $s \geq 40$ м, $\varphi_{\text{в}} \approx 0$, а $\varphi_{\text{гр}} \approx \varphi_0$.

Таким чином, зі зменшенням відстані між електродами групового заземлювача (починаючи від 40 м) відбувається вирівнювання потенціалу на поверхні землі між електродами. Подібний ефект спостерігається й при інших групових заземлювачах, тобто при іншій формі електродів, більшій за їх кількість й будь-якому взаємному розміщенні.

3.3.2. Потенціал групового заземлювача

Оскільки електроди групового заземлювача зв'язані між собою електрично, вони мають однаковий потенціал, що є потенціалом групового заземлювача $\varphi_{\text{гр}}$.

Цілком очевидно, що потенціал кожного електрода групового заземлювача складається із власного потенціалу, обумовленого стіканням через нього струму, і потенціалів, наведених на ньому полями інших електродів:

$$\varphi_{\text{гр}} = \varphi_{01} + \sum_2^n \varphi_n, \quad (3.21)$$

де φ_{01} – власний потенціал першого електрода, він дорівнює добутку струму I_1 , що стікає через цей електрод у землю, на опір його розтіканню R_1 :

$$\varphi_{01} = I_1 \cdot R_1, \quad (3.22)$$

де n – кількість електродів у груповому заземлювачі;

φ_n – потенціал, наведений на першому електроді одним із сусідніх; φ_n визначається за рівнянням потенціальної кривої цього сусіднього електрода з урахуванням відстані між ними.

Наприклад, якщо електродом, який наводить потенціал, є півкуля радіусом r , то потенціал φ_n , що наводиться ним на іншому електроді будь-якої форми, визначається рівнянням (3.14):

$$\varphi_n = \frac{\varphi_0 \cdot r}{x}, \quad (3.23)$$

де φ_0 – власний потенціал півкулі;

x – найближча відстань від центра півкулі до поверхні електрода, на якому визначається φ_n .

Наприклад, для випадку, показаного на рис. 3.4, одна півкуля наводить на інший потенціал:

$$\varphi_n = \frac{\varphi_0 \cdot r}{(s-r)}. \quad (3.24)$$

У загальному випадку власні потенціали електродів не однакові, як не однакові й потенціали, що наводяться іншими електродами. Однак сума власного й усіх наведених на електроді потенціалів для всіх електродів однакова й дорівнює $\varphi_{\text{гр}}$. Інакше кажучи, кожний електрод, що входить до складу групового заземлювача, буде мати потенціал, що дорівнює потенціалу

групового заземлювача $\varphi_{\text{гр}}$ (рис. 3.5). Якщо груповий заземлювач складається з однакових електродів, розміщених у вершинах правильного багатокутника, то в електродів однаковими виявляються струми, що стікають через них у землю, а отже, і власні потенціали φ_0 й сума наведених на кожному з них потенціалів.

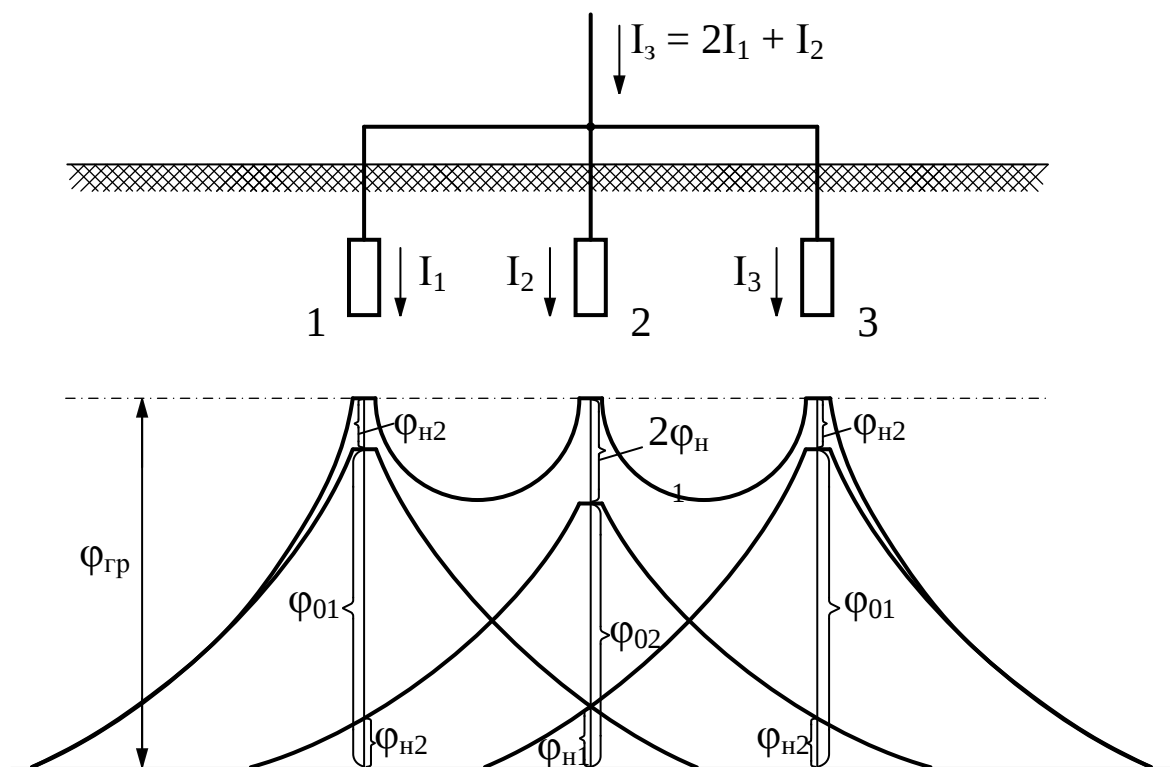


Рис. 3.5. Потенціальна крива групового заземлювача, що складається з трьох однакових електродів, розміщених на одній прямій: φ_{01} , φ_{02} – власні потенціали електродів; $\varphi_{н1}$, $\varphi_{н2}$ – потенціали, наведені іншими електродами

У цьому випадку рівняння (3.21) може бути записане так:

$$\varphi_{\text{гр}} = \varphi_0 + \sum_{n=1} \varphi_n. \quad (3.25)$$

Якщо однакові електроди групового заземлювача розташовані на однакових відстанях один від одного (а це може бути тільки при двох електродах або трьох, розміщених у вершинах рівнобічного трикутника), то в них виявляються

однаковими не тільки власні потенціали φ_0 , але й потенціали, що наводяться кожним з них на інших електродах φ_n . Для цих окремих випадків рівняння (3.25) набуває вигляду:

$$\varphi_{\text{гр}} = \varphi_0 + (n-1) \cdot \varphi_n. \quad (3.26)$$

де n – кількість електродів (2 або 3).

При великих відстанях між електродами (більше 40 м) кожний з них перебуває поза полями розтікання струму з інших електродів. Тому наведені потенціали на електродах відсутні, а потенціал групового заземлювача має найменше значення, що дорівнює значенню власного потенціалу будь-якого електрода, що входить до складу групового заземлювача:

$$\varphi_{\text{гр}} = \varphi_{01} = \varphi_{02} = \varphi_{03} = \dots \varphi_{0n}. \quad (3.27)$$

Якщо електроди однакові й розміщені симетрично, то й струми, що стікають через них в землю, однакові: $I_1 = I_2 = \dots I_n = I_3/n$.

Тоді потенціал групового заземлювача:

$$\varphi_{\text{гр}} = \frac{I_3}{n} \cdot R_0, \quad (3.28)$$

де R_0 – опір розтіканню одного електрода;

I_3 – струм, що стікає через груповий заземлювач.

3.3.3. Опір групового заземлювача розтіканню електричного струму

При дуже великих відстанях між електродами групового заземлювача (практично більше 40 м) опір усієї групи R_∞ визначається, як і у випадку паралельного з'єднання активних опорів, таким виразом:

$$R_\infty = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_0}}.$$

Якщо електроди однакові, а отже, однакові і їхні опори розтіканню R_0 , то опір групового заземлювача складатиме

$$R_{\infty} = \frac{R_0}{n}.$$

При відстанях між електродами менших 40 м відбувається взаємодія полів розтікання струму, у результаті чого на загальних ділянках землі, якими проходять струми, що стікають із декількох електродів, збільшується густина струму (див. рис. 3.3) і, отже, на цих ділянках збільшується падіння напруги. Це явище, рівноцінне нібито зменшенню перерізу землі, яким проходить струм від заземлювача, приводить до збільшення опору розтіканню як окремих електродів, що складають груповий заземлювач, так і заземлювача в цілому. Тому дійсне значення провідності $1/R_{\text{гр}}$ групового заземлювача і відповідно його дійсний опір $R_{\text{гр}}$ можна записати так:

$$\frac{1}{R_{\text{гр}}} = \eta \cdot \frac{1}{R_{\infty}}, \text{ звідки } R_{\text{гр}} = \frac{R_{\infty}}{\eta},$$

де η – коефіцієнт, що характеризує зменшення провідності заземлювачів. Він називається коефіцієнтом використання провідності групового заземлювача або просто коефіцієнтом використання. Іноді η називається коефіцієнтом екранування.

Таким чином, опір групового заземлювача у загальному випадку виражається таким рівнянням:

$$R_{\text{гр}} = \frac{1}{\eta \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_0}}.$$

При однаковості опорів розтіканню всіх електродів це рівняння набуде вигляду:

$$R_{\text{гр}} = \frac{R_0}{\eta \cdot n}. \quad (3.29)$$

3.3.4. Коефіцієнт використання групового заземлювача

Коефіцієнт використання провідності заземлювача, або просто коефіцієнт використання, – це відношення дійсної провідності групового заземлювача $1/R_{\text{гр}}$ до найбільш можливої його провідності, тобто при нескінченно великих відстанях між його електродами $1/R_{\infty}$:

$$\eta = R_{\infty} / R_{\text{гр}}.$$

Коефіцієнт використання η може бути виражений також відношенням відповідних потенціалів групового заземлювача:

$$\eta = \frac{I_3 \cdot R_{\infty}}{I_3 \cdot R_{\text{гр}}} = \frac{\Phi_{\infty}}{\Phi_{\text{гр}}}.$$

Оскільки $\Phi_{\infty} = \Phi_{01}$ й з урахуванням (3.21),

$$\eta = \frac{\Phi_{01}}{\Phi_{01} + \sum_n \Phi_n}. \quad (3.30)$$

Для окремого випадку, коли груповий заземлювач складається з однакових електродів, розміщених у вершинах правильного багатокутника, рівняння (3.30) має вигляд

$$\eta = \frac{\Phi_0}{\Phi_0 + \sum_{n=1} \Phi_n}. \quad (3.31)$$

Значення коефіцієнта використання залежить від форми, розмірів і розміщення електродів, що складають груповий заземлювач, а також від їхнього числа n й відстані s між сусідніми електродами. Так, зі збільшенням s зменшується взаємодія полів одиночних заземлювачів і η зростає; при $s \geq 40\text{ м}$ провідність заземлювачів використовується повністю й $\eta = 1$. Зі збільшенням

кількості заземлювачів (при незмінному s) підвищується взаємодія полів і, отже, знижується η .

Як приклад визначимо вирази для розрахунку коефіцієнта використання найпростіших групових заземлювачів, що складаються із двох і трьох однакових півкульових електродів.

При двох електродах і відстані між ними s (рис. 3.4) коефіцієнт використання згідно з виразами (3.30) і (3.23) буде дорівнювати

$$\eta = \frac{\varphi_0}{\varphi_0 + \varphi_H} = \frac{\varphi_0}{\varphi_0 + \varphi_0 \cdot \frac{r}{s-r}} = \frac{s-r}{s}.$$

При трьох електродах того самого радіуса, розташованих у вершинах рівнобічного трикутника зі стороною s , коефіцієнт використання буде меншим, а саме:

$$\eta = \frac{\varphi_0}{\varphi_0 + 2 \cdot \varphi_H} = \frac{\varphi_0}{\varphi_0 + 2 \cdot \varphi_0 \cdot \frac{r}{s-r}} = \frac{s-r}{s+r}.$$

При іншій формі електродів і більшій їх кількості визначати коефіцієнт використання розрахунковим шляхом складно. Тому при розрахунку заземлювальних пристроїв значення η беруться з таблиць і кривих, складених на підставі досліджень і наведених у довідковій літературі.

Для захисного заземлення часто застосовують електроди двох типів – стержневі, що забиваються в землю вертикально, і смугові, що укладаються в ґрунт горизонтально й призначені для з'єднання вертикальних електродів; нерідко горизонтальні електроди використовують як самостійні заземлювачі, тобто без вертикальних електродів. При цьому виникає взаємодія полів розтікання струму вертикальних електродів не тільки між собою, але й з полями горизонтальних електродів. Однак ступінь цієї взаємодії різний для цих типів заземлювачів і враховується двома коефіцієнтами використання – вертикальних і горизонтальних електродів η_v і η_r (табл. 3.3 і 3.4).

Таблиця 3.3

Коефіцієнти використання η_v вертикальних електродів групового заземлювача (труб, кутників тощо) без урахування впливу смуги зв'язку

Відношення відстані між вертикальними електродами до їх довжини	Число електродів n							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Електроди, розміщені в ряд								
1	0,85	0,73	0,65	0,59	0,48	—	—	—
2	0,91	0,83	0,77	0,74	0,67	—	—	—
3	0,94	0,89	0,85	0,81	0,76	—	—	—
Електроди, розміщені по контуру								
1	—	0,69	0,61	0,56	0,47	0,41	0,39	0,36
2	—	0,78	0,73	0,68	0,63	0,58	0,55	0,52
3	—	0,85	0,80	0,76	0,71	0,66	0,64	0,62

Коефіцієнт використання такого групового заземлювача може бути визначено з виразу:

$$\eta_{\text{гр}} = \frac{R_v \cdot \eta_{\Gamma} + R_{\Gamma} \cdot n \cdot \eta_v}{R_v + R_{\Gamma} \cdot n}, \quad (3.32)$$

де R_v , R_{Γ} – опори розтіканню вертикального й горизонтального електродів;

n – число вертикальних електродів.

Для розрахунків заземлювача значення цього коефіцієнта звичайно не потрібно, тому що можна відразу визначити опір групового заземлювача:

$$R_{\text{гр}} = \frac{R_v \cdot R_{\Gamma}}{R_v \cdot \eta_{\Gamma} + R_{\Gamma} \cdot n \cdot \eta_v}. \quad (3.33)$$

Таблиця 3.4

Коефіцієнти використання η_g горизонтального смугового електрода, що з'єднує вертикальні електроди (труби, кутники тощо) групового заземлювача

Відношення відстаней між вертикальними електродами до їхньої довжини	Число вертикальних електродів							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Вертикальні електроди, розміщені в ряд								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	—	—	—
2	0,94	0,80	0,84	0,75	0,56	—	—	—
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	—	—	—
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	0,23
3	—	0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

3.4. Напруга дотику

Напругою дотику U_d називається напруга між двома точками кола струму, яких одночасно торкається людина, або, інакше кажучи, падіння напруги в опорі тіла людини,

$$U_d = I_h \cdot R_h, \quad (3.34)$$

де I_h – струм, що проходить через людину шляхом рука – ноги;
 R_h – опір тіла людини.

У зоні захисних заземлень та занулень одна із цих точок має потенціал заземлювача φ_3 , а інша – потенціал основи в тому місці, де стоїть людина, $\varphi_{осн}$. У цьому випадку напруга дотику складатиме:

$$U_d = \varphi_3 - \varphi_{осн} \quad (3.35)$$

або

$$U_d = \varphi_3 \cdot \alpha_1$$

де α_1 – коефіцієнт, що називається коефіцієнтом напруги дотику або просто коефіцієнтом дотику, що враховує форму потенціальної кривої:

$$\alpha_1 = \left(1 - \frac{\varphi_{\text{осн}}}{\varphi_3} \right) \leq 1. \quad (3.36)$$

3.4.1. Напруга дотику при одиночному заземлювачі

Нехай ми маємо устаткування, наприклад електродвигуни, корпуси яких заземлені за допомогою одиночного заземлювача (електрода) (рис. 3.6). При замиканні на корпус* одного з цих двигунів на заземлювачі й усіх приєднаних до нього металевих частинах, у тому числі на корпусах двигунів, з'явиться потенціал φ_3 . Поверхня землі навколо заземлювача також буде мати потенціал, що змінюється по кривій, яка залежить від форми й розмірів заземлювача (електрода).

Напруга дотику для людини, що торкається заземленого корпусу двигуна й стоїть на землі (див. випадок 2 на рис. 3.6), характеризується відрізком АВ і залежить від форми потенціальної кривої й відстані x між людиною й заземлювачем: чим далі від заземлювача перебуває людина, тим більше U_d , й навпаки.

Так, при найбільшій відстані від заземлювача, тобто при $x \rightarrow \infty$, а практично при $x \geq 20$ м (випадок 1 на рис. 3.6) напруга дотику має найбільше значення: $U_d = \varphi_3$; при цьому $\alpha_1 = 1$. Це – **найнебезпечніший випадок дотику**.

При найменшому значенні x , тобто коли людина стоїть безпосередньо на заземлювачі (випадок 3 на рис. 3.6), $U_d = 0$ і $\alpha_1 = 0$. Це – **безпечний випадок дотику**.

*Замикання на корпус – це випадкове електричне з'єднання струмовідної частини з металевими частинами електроустановки, які не є струмовідними і нормально не перебувають під напругою. Замикання на корпус може бути результатом, наприклад, пошкодження ізоляції, випадкового торкання струмовідної частини і корпусу машини, падіння проводу, що перебуває під напругою, на неструмовідні металеві частини тощо. Замикання на корпус показано на рисунку блискавкоподібною стрілкою.

При інших значеннях x у межах 0–20 м (випадок 3) U_d плавно зростає від 0 до φ_3 , а α_1 – від 0 до 1.

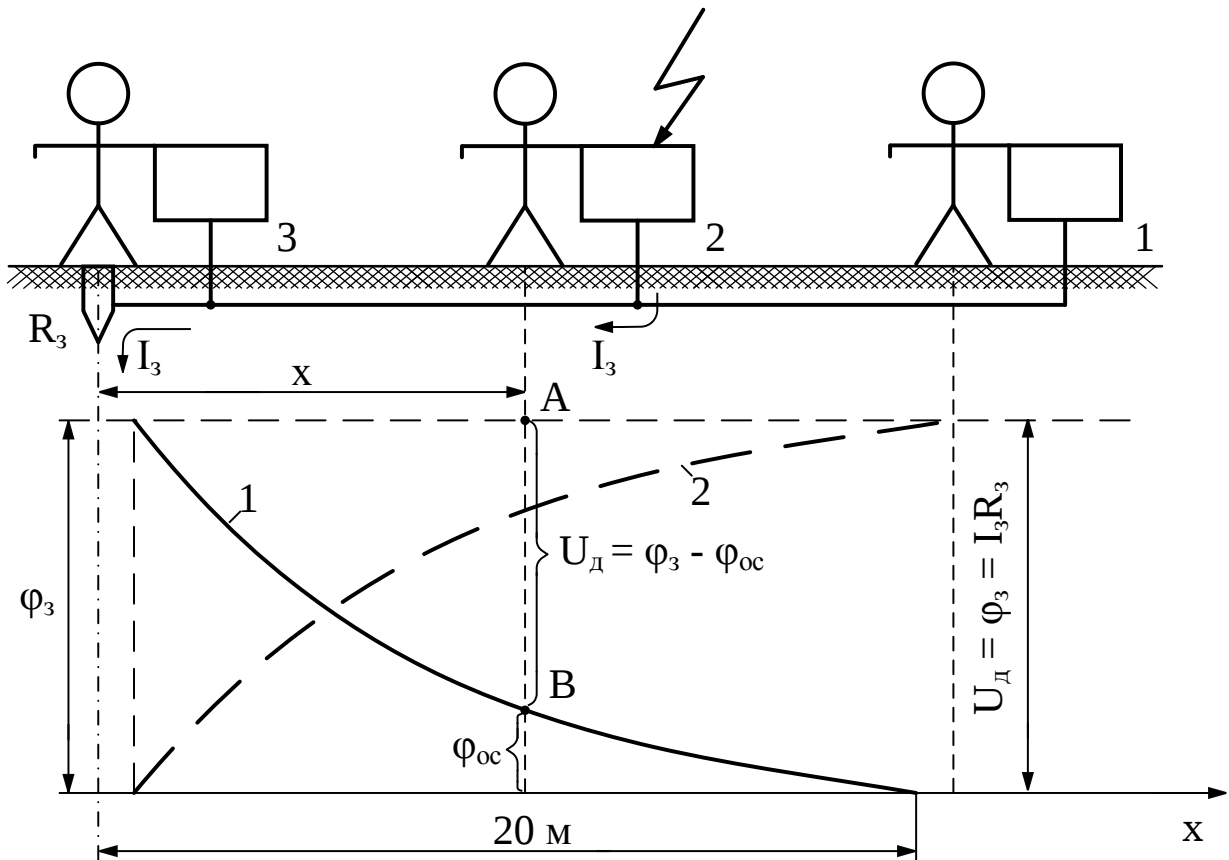


Рис. 3.6. Напруга дотику при одиночному заземлювачі:
1 – потенціальна крива; 2 – крива, що характеризує зміну U_d при зміні x

Для прикладу розглянемо, як змінюються U_d і α_1 при одиночному півкульовому заземлювачі радіусом r . У цьому випадку нам відомий вираз потенціалу будь-якої точки на поверхні землі навколо заземлювача (3.8), тому напруга дотику

$$U_d = \varphi_3 - \frac{\varphi_3 \cdot r}{x} = \varphi_3 \left(1 - \frac{r}{x} \right), \quad (3.37)$$

а коефіцієнт дотику

$$\alpha_1 = 1 - \frac{r}{x}. \quad (3.38)$$

При $x = \infty$, а практично при $x \geq 20$ м (випадок 1 на рис. 3.6) $r/x \approx 0$, тому напруга дотику і коефіцієнт дотику будуть мати максимальне значення:

$$U_{д\max} = \varphi_3; \quad \alpha_{1\max} = 1.$$

При $x = r$ (випадок 3) $r/x = 1$, тому $U_{д} = 0$ і $\alpha_1 = 0$.
При проміжних значеннях x від r до 20 м $U_{д}$ і α_1 визначаються з виразів (3.37) і (3.38). Так, якщо $x = 10r$ (випадок 2), то $\alpha_1 = 1 - r/10r = 0.9$, а $U_{д} = \varphi_3 \alpha_1 = 0.9\varphi_3$.

3.4.2. Напруга дотику при груповому заземлювачі

Відомо, що коли поля розтікання струмів електродів групового заземлювача накладаються одне на одне, то всі точки поверхні землі на ділянці між електродами мають потенціали, відмінні від нуля. Тому в будь-якому місці цієї ділянки $U_{д} < \varphi_3$ й $\alpha_1 < 1$.

Як і у випадку одиночного заземлювача, $U_{д} = 0$ і $\alpha_1 = 0$ тоді, коли людина, торкаючись заземленого предмета, стоїть безпосередньо на електроді, що входить до складу групового заземлювача.

Найбільші значення $U_{д}$ й α_1 будуть на певній відстані від електродів, що залежить від їхньої форми й взаємного розташування.

Розглянемо ці питання стосовно до заземлювача, який складається із двох однакових півкульових електродів радіусом r , з відстанню між ними s (рис. 3.7).

Знаючи рівняння потенціальної кривої такого заземлювача (3.18), виражене через $\varphi_{гр}$, ми маємо право записати:

$$\varphi_{осн} = \varphi_{гр} \frac{r \cdot (s-r)}{x \cdot (s-x)}. \quad (3.39)$$

Тоді

$$U_{д} = \varphi_{гр} - \varphi_{осн} = \varphi_{гр} \left[1 - \frac{r \cdot (s-r)}{x \cdot (s-x)} \right];$$

$$\alpha_1 = 1 - \frac{r \cdot (s - r)}{x \cdot (s - x)}.$$

Як видно із цих виразів, U_d і α_1 будуть мати найменші значення у двох випадках – при найменшому й найбільшому значеннях x , а саме при $x = r$ й $x = (s - r)$, тобто коли людина стоїть на одному з електродів. У цьому випадку $U_d = 0$ й $\alpha_1 = 0$.

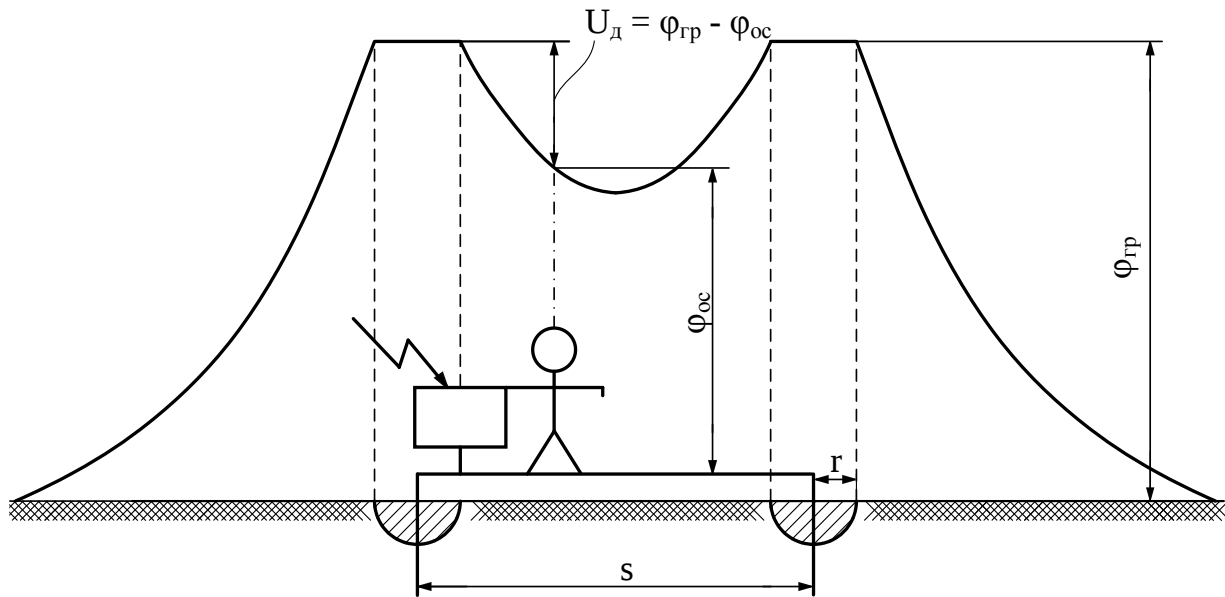


Рис. 3.7. Напряга дотику при груповому заземлювачі

Найбільші значення U_d й α_1 будуть при $x = 0,5 \cdot s$, коли людина стоїть точно посередині між електродами. Тоді з урахуванням виразу (3.20):

$$U_{d\max} = \varphi_{\text{гр}} \left(1 - 4r \cdot \frac{s-r}{s^2} \right); \alpha_{1\max} = 1 - 4r \cdot \frac{s-r}{s^2}.$$

Наприклад, при $s = 20 \cdot r$ одержимо $U_{d\max} = 0,81 \cdot \varphi_{\text{гр}}$, а $\alpha_1 = 0,81$. Якщо електроди не кульові, а іншої форми, то обчислення U_d й α_1 виявляється більше складним, а при великій кількості електродів – практично неможливим.

При розрахунку захисних заземлень потрібно знати найбільше в даній конструкції заземлювача значення напруги дотику. З цією метою користуються максимальними значеннями

α_1 , отриманими дослідним шляхом і наведеними в довідковій літературі.

При зменшенні s , тобто при більш частому розташуванні електродів, U_d і α_1 зменшуються – відбувається вирівнювання потенціалів на поверхні землі.

У межах площі, на якій розміщені електроди групового заземлювача, U_d і $\alpha_{1\max}$ спостерігаються, як правило, у точках, найбільш віддалених від електродів. Наприклад, при розміщенні електродів по вершинах або боках правильного багатокутника $U_{d\max}$ й $\alpha_{1\max}$ виявляються в центрі цих фігур (рис. 3.8). Якщо електроди утворюють сітку, що складається із квадратних або прямокутних клітинок, то усередині кожної такої клітинки найбільші значення U_d й α_1 будуть точно в центрі її, причому в кутових клітинках $U_{d\max}$ й $\alpha_{1\max}$ будуть більші, ніж в інших (рис. 3.9).

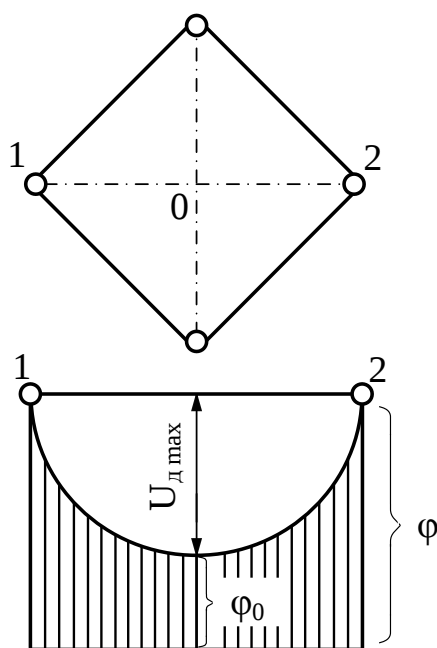


Рис. 3.8. Потенціальна крива контуру групового заземлювача з вертикальними електродами, розміщеними по вершинах правильного багатокутника та з'єднаними горизонтальними електродами

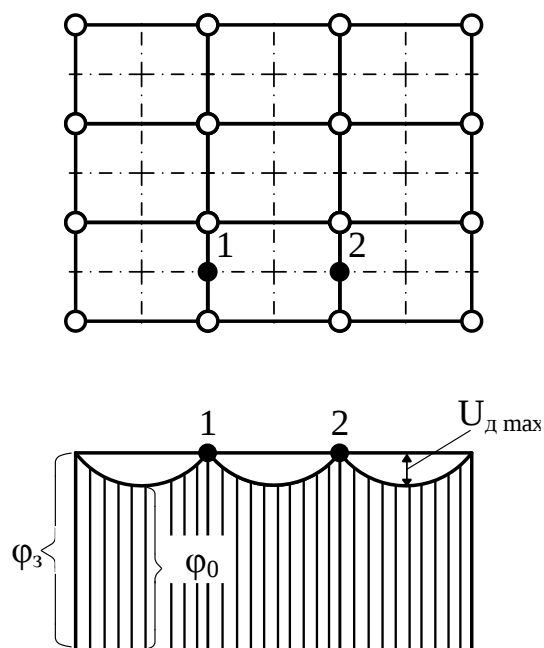


Рис. 3.9. Потенціальна крива контуру групового заземлювача у вигляді горизонтальної сітки з чарунками однакового розміру

3.5. Напруга кроку

Напругою кроку, або кроковою напругою $U_{кр}$, називається напруга між двома точками кола струму, на яких одночасно стоїть людина, що розташовані одна від одної на відстані кроку. Величина напруги кроку дорівнює падінню напруги в опорі тіла людини:

$$U_{кр} = I_h \cdot R_h, \quad (3.40)$$

де I_h – струм, що проходить через людину шляхом нога – нога;
 R_h – опір тіла людини.

В області дії захисних пристроїв від ураження струмом (заземлення, занулення тощо) напругою кроку буде різниця потенціалів φ_x і φ_{x+a} двох точок на поверхні землі в зоні розтікання струму, які перебувають на відстані x й $(x+a)$ від заземлювача, тобто на відстані кроку одна від іншої, і на яких одночасно стоїть людина (рис. 3.10). При цьому довжина кроку a приймається рівною 0,8 м. Таким чином, напруга кроку складатиме:

$$U_{кр} = \varphi_x - \varphi_{x+a}. \quad (3.41)$$

Оскільки φ_x і φ_{x+a} є частинами потенціалу заземлювача φ_3 , різниця їх також є частиною цього потенціалу. Тому вираз (3.41) ми можемо записати так:

$$U_{кр} = \varphi_3 \cdot \beta_1, \quad (3.42)$$

де β_1 – коефіцієнт напруги кроку або просто коефіцієнт кроку, що враховує форму потенціальної кривої:

$$\beta_1 = \frac{\varphi_x - \varphi_{x+a}}{\varphi_3} < 1. \quad (3.43)$$

3.5.1. Напруга кроку при одиночному заземлювачі

Напруга кроку визначається відрізком АВ (рис. 3.10), довжина якого залежить від форми потенціальної кривої, тобто від типу заземлювача, і змінюється від деякого максимального значення до нуля зі змінюю відстані від заземлювача.

Найбільші значення $U_{кр}$ й β_1 будуть при найменшій відстані від заземлювача, коли людина однією ногою стоїть безпосередньо на заземлювачі, а іншою – на відстані кроку від нього. Пояснюється це тим, що потенціал навколо заземлювачів розподіляється по ввігнутих кривих і, отже, найбільший перепад виявляється, як правило, на початку кривої.

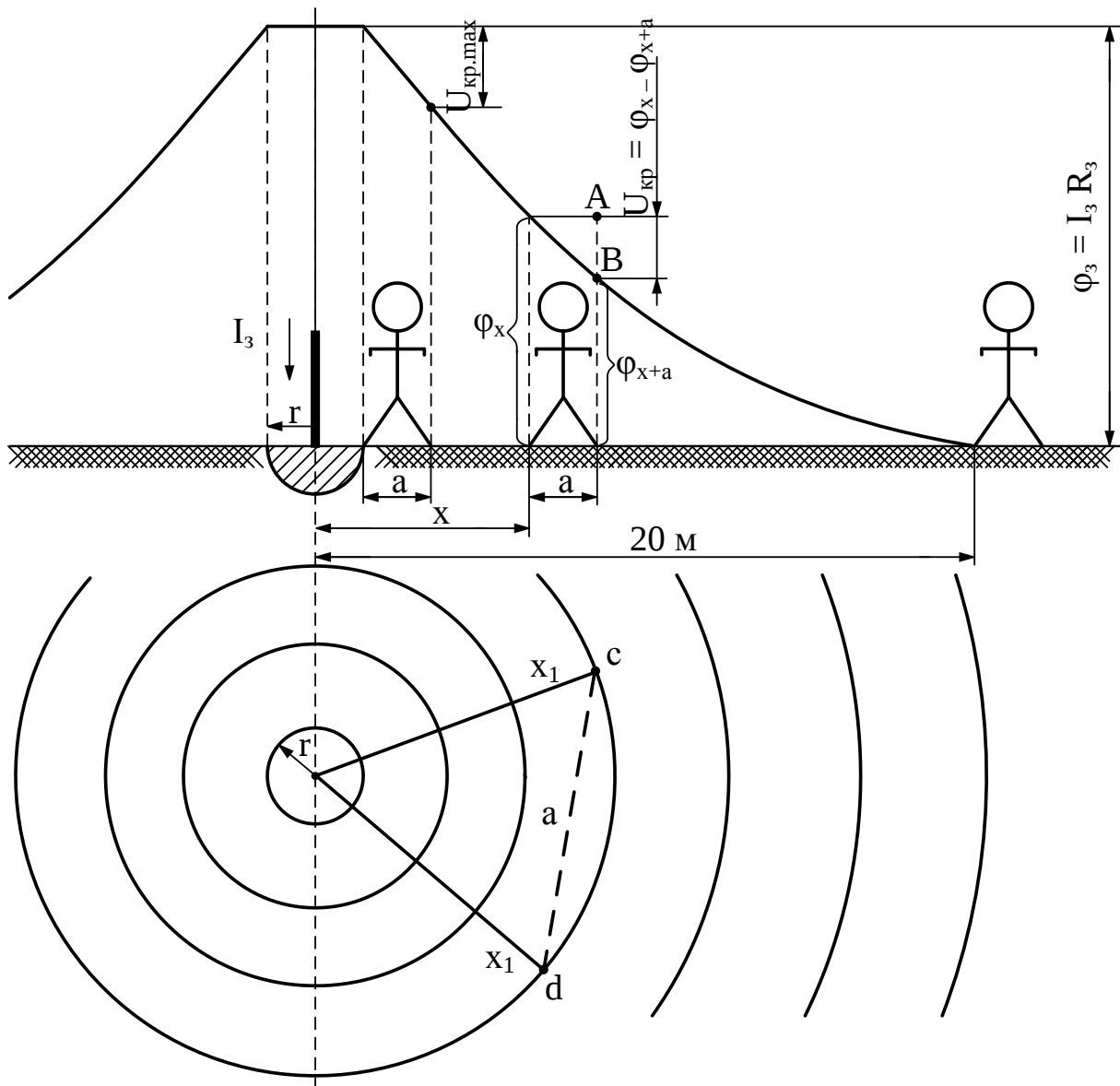


Рис. 3.10. Напруга кроку при одиночному заземлювачі

Найменші значення $U_{кр}$ й β_1 будуть при нескінченно великому віддаленні від заземлювача, тобто за межами поля розтікання струму, а практично далі 20 м. У цьому місці $U_{кр} \approx 0$ й $\beta_1 \approx 0$.

На відстанях менше 20 м $U_{кр}$ і β_1 будуть мати проміжні значення, що залежать від типу заземлювача.

При одиночному півкульовому заземлювачі радіусом r (рис. 3.10) напруга кроку з урахуванням (3.8) складатиме:

$$U_{кр} = \varphi_3 \cdot \frac{r}{x} - \varphi_3 \cdot \frac{r}{x+a} = \varphi_3 \cdot \frac{r \cdot a}{x \cdot (x+a)},$$

а коефіцієнт кроку

$$\beta_1 = \frac{r \cdot a}{x \cdot (x+a)},$$

де x – відстань від центра заземлювача;

a – довжина кроку.

При $x = \infty$ (практично при $x > 20$ м) $U_{кр} = 0$ і $\beta_1 = 0$. Цей самий результат одержимо й у будь-якій області заземлювача, якщо $a=0$, тобто коли ступні ніг людини розташовані поруч або на одній еквіпотенціальній лінії, а отже, на однаковій відстані від заземлювача (точки c і d на рис. 3.10).

При найменшому значенні x (при $x=r$), тобто коли людина однією ногою стоїть на заземлювачі, а іншою – на відстані $(r+a)$ від його центра, одержимо максимальні значення $U_{кр}$ і β_1 :

$$U_{кр. \max} = \varphi_3 \cdot \frac{a}{r+a}; \quad \beta_{1\max} = \frac{a}{r+a}.$$

3.5.2. Напруга кроку при груповому заземлювачі

У межах площі, на якій розміщені електроди групового заземлювача, напруга кроку менша, ніж при одиночному заземлювачі, але також змінюється від деякого максимального значення до нуля при віддаленні від електродів (рис. 3.11).

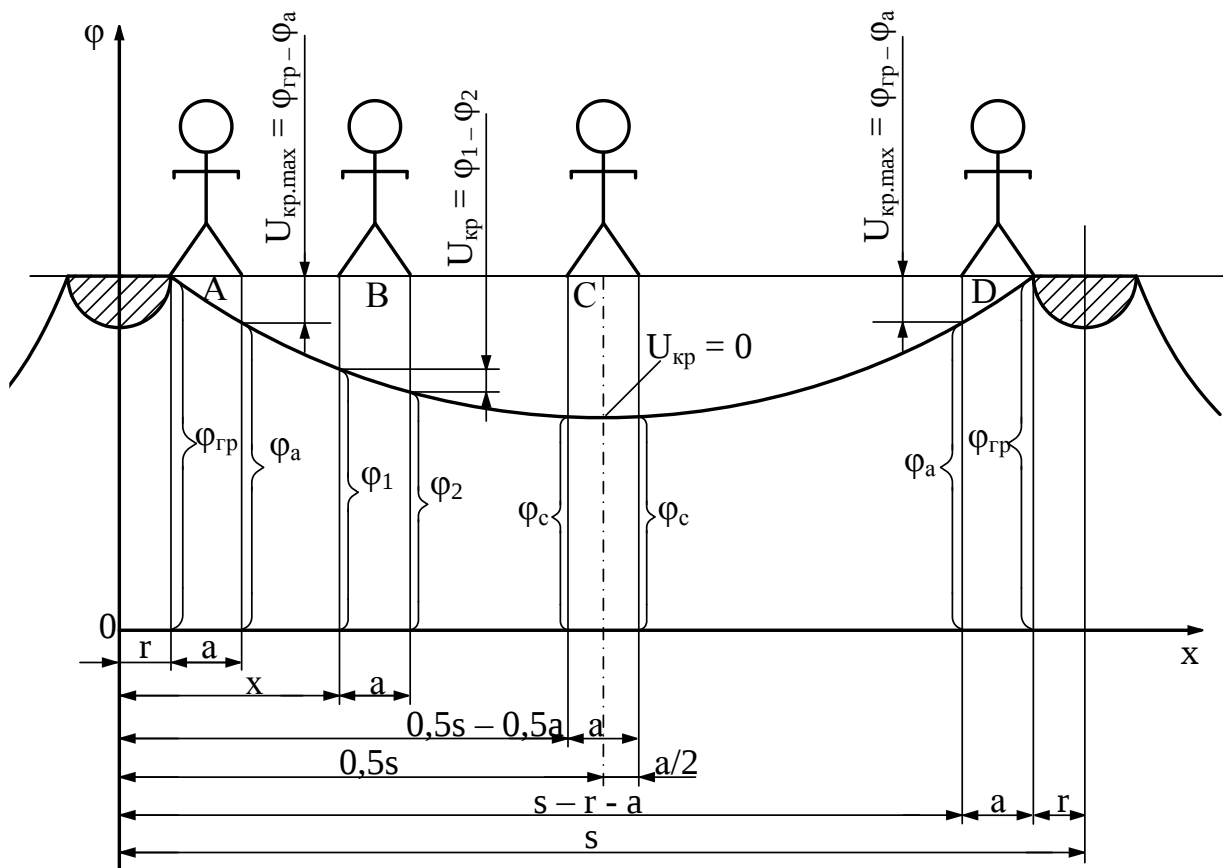


Рис. 3.11. Напряга кроку при груповому заземлювачі

Найбільша напруга кроку буде, як і при одиночному заземлювачі, на початку потенціальної кривої, тобто коли людина однією ногою стоїть безпосередньо на електроді (або на ділянці землі, під якою заритий електрод), а іншою – на відстані кроку від електрода (положення A і D на рис. 3.11).

Найменша напруга кроку відповідає випадку, коли людина стоїть на «точках» з однаковими потенціалами (положення C); у цьому випадку $U_{кр} = 0$.

Перевіримо ці висновки на прикладі групового заземлювача, що складається із двох одиночних півкульових електродів (рис. 3.11).

Знаючи вираз для потенціальної кривої (3.18), напишемо вираз для $U_{кр}$:

$$U_{кр} = \varphi_x - \varphi_{x+a} = \varphi_{гр} \cdot r \cdot (s-r) \cdot \left[\frac{1}{x \cdot (s-x)} - \frac{1}{(x+a) \cdot (s-x-a)} \right].$$

Із цього виразу видно, що абсолютне значення $U_{кр. max}$ буде при найменшому й найбільшому значеннях x , тобто при $x=r$ й $x=s-(r+a)$:

$$U_{кр. max} = \varphi_{гр} \cdot \left[1 - \frac{r \cdot (s-r)}{(r+a) \cdot (s-r-a)} \right].$$

Найменше значення $U_{кр} = 0$ буде при $x = \frac{s}{2} - \frac{a}{2}$.

Контрольні питання

1. Стікання струму в землю через одиночний заземлювач.
2. Стікання струму в землю через груповий заземлювач.
3. Стікання струму в землю через півкульовий заземлювач.
4. Що собою являє потенціальна крива заземлювача будь-якої форми?
5. Опір розтіканню струму одиночного півкульового заземлювача.
6. Опір розтіканню струму групового заземлювача.
7. Коефіцієнт використання групового заземлювача.
8. Напруга дотику при одиночному заземлювачі.
9. Напруга дотику при груповому заземлювачі.
10. Як визначається потенціал групового заземлювача?
11. Потенціальна крива групового заземлювача.
12. Пояснити характер розподілу потенціалів у землі при замиканні на землю струмовідних частин електроустановок.
13. Чому груповий заземлювач забезпечує вирішальну роль у гарантуванні електробезпеки?

Розділ 4

АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕКИ УРАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ У РІЗНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

4.1. Загальні положення

Всі випадки ураження людини струмом у результаті електричного удару, тобто проходження струму через людину, є наслідком її доторкання не менше ніж до двох точок електричного кола, між якими існує деяка різниця потенціалів. Небезпека такого доторкання оцінюється величиною струму, що проходить через тіло людини I_h , або напругою, під якою вона опиняється (напругою дотику U_d). Небезпека дотику залежить від ряду факторів:

- схеми вмикання людини в електричне коло;
- напруги мережі;
- схеми самої мережі;
- режиму її нейтралі;
- ступеня ізоляції струмовідних частин від землі;
- ємності струмовідних частин відносно землі.

Зазначена небезпека не однозначна: в одних випадках вмикання людини в електричне коло буде супроводжуватися проходженням через неї малих струмів і виявиться безпечним, в інших – струми можуть досягати великих значень, здатних спричинити смертельне ураження.

У даному підрозділі визначимо залежність небезпеки вмикання людини в електричне коло, тобто значення напруги дотику і струму, що протікає через людину, від перелічених факторів. Цю залежність необхідно знати при оцінці будь-якої мережі за умовами безпеки, вибору і розрахунку відповідних засобів захисту, зокрема заземлення, занулення, захисного вимикання, пристроїв контролю ізоляції мережі і т.п. При цьому у всіх випадках, крім особливо застережених, будемо вважати, що опір тієї основи, на якій стоїть людина (грунт, підлога і ін.), а також опір її взуття малі і тому прийняті такими, що дорівнюють 0.

Матеріал цього підрозділу розповсюджується на мережі всіх напруг.

4.1.1. Мережі змінного струму

Мережі змінного струму бувають однофазними і трифазними. В промисловості застосовують переважно трифазні мережі, однофазні мережі – на електрифікованому транспорті, в комунальному господарстві.

Однофазні мережі можуть бути двопроводовими ізольованими від землі або із заземленим проводом та однопроводовими, коли роль другого проводу виконує земля, рейка і т.п. (рис. 4.1).

Двопроводові мережі використовують для живлення малою напругою – 12, 24, 36 і 42 В – ручних переносних ламп, електрифікованих інструментів і подібних їм споживачів, а при більш високих напругах – 127, 220, 380 В і вище – для живлення зварювальних трансформаторів, випробувальних установок і інших однофазних споживачів.

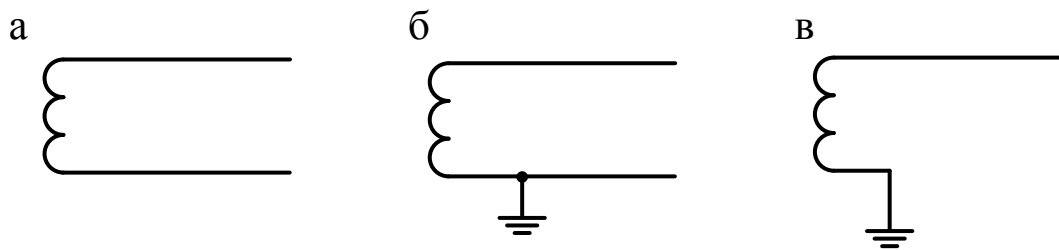


Рис. 4.1. Схеми однофазних мереж:

а – двопроводова ізольована від землі; б – двопроводова з заземленим проводом; в – однопроводова

Однопроводові мережі застосовуються на електрифікованому транспорті, у випробувальних установках і т.п.

4.1.2. Режими нейтралі мереж різних напруг

Трифазні мережі в залежності від режиму нейтралі джерела живлення можуть бути виконані за різними схемами.

Нейтраль, а точніше, нейтральна точка джерела живлення – спільна точка з'єднаної в зірку багатofазної системи або заземлена точка однофазної системи.

В трифазних системах звичайно розуміють, що нейтралі трансформаторів трифазних електроустановок, до обмоток яких

підімкнені електричні мережі, можуть бути або заземлені (безпосередньо чи через настроєні на ємність мережі індуктивні опори), або ізолювані від землі.

Якщо нейтраль обмотки трансформатора приєднана до заземлювального пристрою безпосередньо або через малий опір, то така нейтраль називається глухозаземленою, а мережі, приєднані до даної обмотки, мережами з глухозаземленою нейтраллю.

Нейтраль, не приєднана до заземлювального пристрою або приєднана до нього через великий опір приладів сигналізації, виміру і т.п., називається ізолюованою нейтраллю. Мережі, що працюють у цьому режимі нейтралі, належать до мереж з ізолюованою нейтраллю.

Нейтраль генератора або трансформатора, що приєднана до заземлювального пристрою через дугогасильні реактори для компенсації ємнісного струму в мережі при однофазних замиканнях на землю, називається компенсованою нейтраллю, а мережі, приєднані до даної обмотки – мережами з компенсованою нейтраллю.

Електрична мережа з ефективно заземленою нейтраллю – трифазна електрична мережа напругою вище 1 кВ, в якій коефіцієнт замикання на землю не перевищує 1,4. Коефіцієнт замикання на землю – відношення різниці потенціалів між непошкодженою фазою і землею в точці замикання на землю іншої або двох інших фаз до різниці потенціалів між фазою і землею в цій точці до замикання.

При однофазному замиканні на землю порушується симетрія електричної системи: змінюються напруги фаз відносно землі, з'являються струми замикання на землю, виникають перенапруги в мережах. Ступінь зміни симетрії залежить від режиму нейтралі, тобто від способу її заземлення.

Вибір режиму нейтралі в електричних мережах до 1000 В визначається головним чином безпекою обслуговування мереж, а в мережах високої напруги – безперебійністю електропостачання, надійністю роботи та економічністю електроустановок.

Розглянемо це питання стосовно до мереж різних напруг.

4.1.3. Електричні мережі напругою до 1000 В

Згідно з “Правилами улаштування електроустановок” (ПУЕ) електроустановки напругою до 1000 В допускається виконувати як з глухозаземленою, так і з ізольованою нейтраллю. Для найбільш поширених чотирипроводових мереж трифазного струму напругою 380/220 або 220/127 В (чисельник відповідає лінійній напрузі, знаменник – фазній), з якими стикається широке коло осіб, ПУЕ вимагають глухого заземлення нейтралі (рис. 4.2). Такий режим нейтралі виключає значне перевищення номінальної напруги мережі відносно землі.

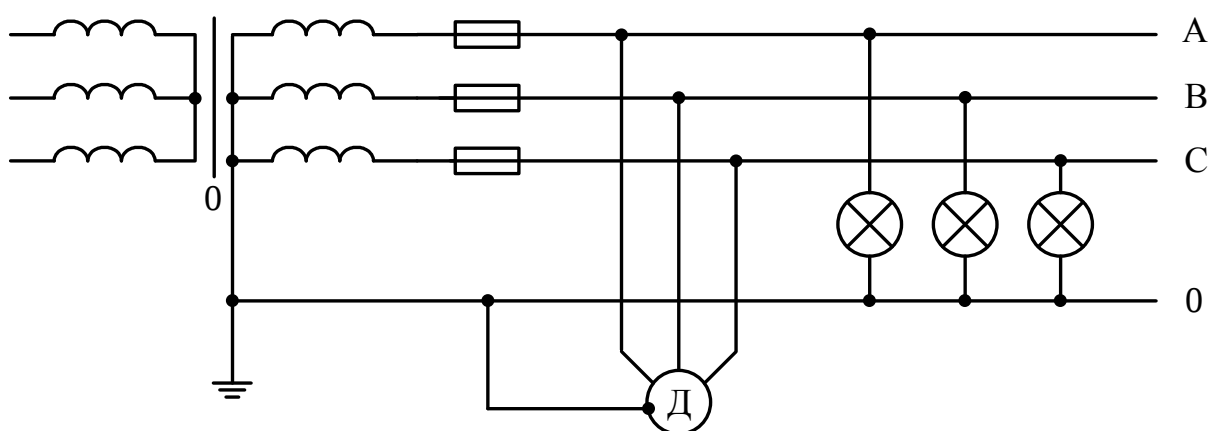


Рис. 4.2. Схема мережі 380/220 або 220/127 В з глухозаземленою нейтраллю

Корпуси електрообладнання, приєднаного до чотирипроводнової мережі, металеві каркаси розподільних щитів, приводи до електричних апаратів та інші частини електроустановок, розташованих в приміщеннях з підвищеною небезпекою (залізобетонні і цегляні підлоги, висока вологість, наявність інших ознак підвищеної небезпеки) або на відкритому повітрі, повинні мати металевий зв'язок із заземленою нейтраллю установки. Цей зв'язок здійснюється через нульовий провід, який прокладається на тих самих опорах повітряної лінії, що і фазні. У цьому разі замикання на корпус будь-якої лінії приведе до короткого замикання з досить великим струмом, запобіжник пошкодженої фази перегорить, і мережа буде продовжувати

роботу в неповнофазному режимі. Напруга відносно землі двох інших фаз, які залишились в роботі, не перевищить фазну.

При застосуванні трифазного струму з номінальною напругою 660 В, а також за підвищених вимог безпеки (наприклад на вугільних шахтах), коли протікання струму короткого замикання через землю в результаті пошкодження фазної ізоляції мережі або обладнання є небезпечним, електроустановки виконуються з ізольованою нейтраллю. Умови безпеки в цьому разі досягаються швидкою ліквідацією ненормальних режимів, що виникають у мережі.

У мережі з ізольованою нейтраллю (рис. 4.3, а) замикання фази на землю не викликає короткого замикання і не приводить до вимкнення пошкодженої фази. Мережа буде продовжувати роботу в повнофазному режимі, проте напруги двох здорових фаз по відношенню до землі збільшаться до лінійних значень (рис. 4.3, б). Оскільки це створює небезпеку для персоналу, то на всіх електроустановках з ізольованою нейтраллю напругою до і вище 1000 В має бути забезпечений контроль ізоляції, швидке виявлення персоналом мережі замикань на землю і швидка їх ліквідація, а за умови підвищених вимог безпеки – автоматичне відмикання пошкодженої ділянки від мережі.

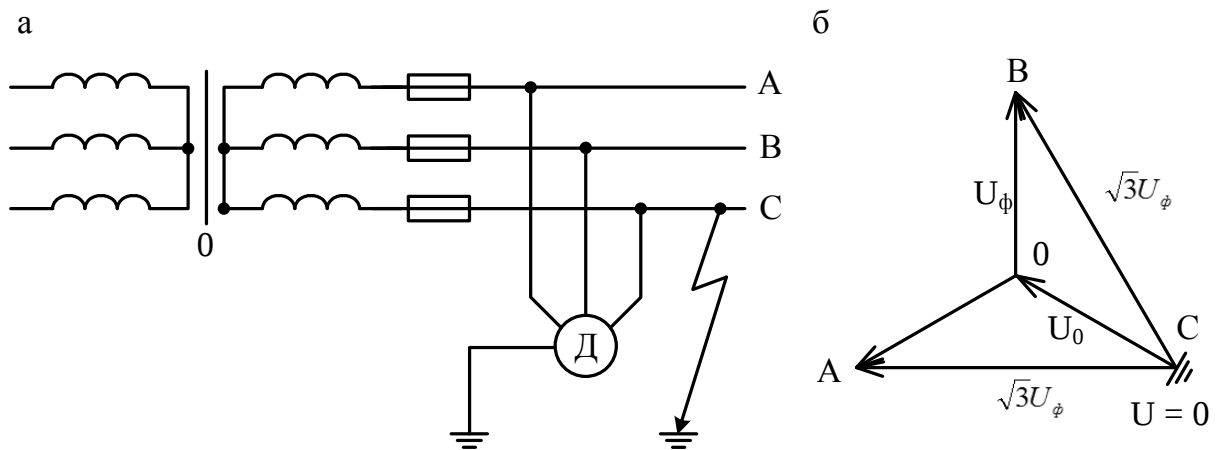


Рис. 4.3. Мережа низької напруги з ізольованою нейтраллю:
а – схема; б – векторна діаграма напруг при замиканні фази на
землю

4.1.4. Електричні мережі напругою вище 1000 В

Електроустановки напругою вище 1000 В, згідно з ПУЕ, розподіляються на електроустановки з малими струмами замикання на землю ($I_3 \leq 500$ А), до яких належать мережі, що працюють з ізольованою або компенсованою нейтраллю, та електроустановки з великими струмами замикання на землю ($I_3 > 500$ А), які працюють з глухозаземленою нейтраллю.

Струм однофазного замикання в мережах з ізольованою нейтраллю визначається частковими ємностями фаз мережі по відношенню до землі і залежить від напруги, конструкції і протяжності мережі. В мережах з компенсованою нейтраллю струм замикання на землю обмежується до мінімально можливих значень відповідним настроюванням дугогасильної котушки.

У мережах з глухозаземленою нейтраллю при замиканні на землю або на заземлені частини електроустановок протікають дуже великі струми замикання і тому має бути забезпечене надійне автоматичне відмикання пошкодженої ділянки мережі. Навпаки, мережі з ізольованою або компенсованою нейтраллю мають важливу перевагу – вони не вимагають негайного відмикання пошкодженої ділянки мережі при однофазних замиканнях на землю, які найчастіше зустрічаються в практиці, і можуть працювати із заземленою фазою протягом декількох годин, доки споживач не буде переведений на резервне живлення або підготовлений до припинення подачі електроенергії.

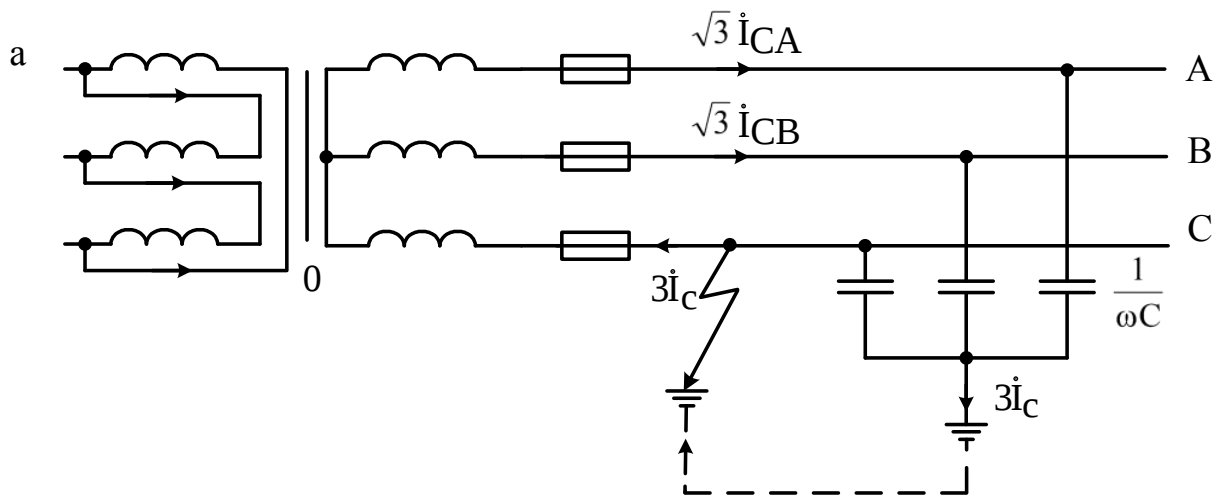
Мережі напругою до 35 кВ включно, як правило, працюють з ізольованою або компенсованою нейтраллю, а мережі напругою 110 кВ і більше – з глухозаземленою нейтраллю.

Розглянемо особливості роботи мереж при різних способах заземлення нейтралі.

Мережі з ізольованою нейтраллю. При замиканні на землю однієї фази, наприклад, фази С (рис. 4.4, а), напруга цієї фази по відношенню до землі буде дорівнювати нулю, а напруга двох інших фаз збільшиться в $\sqrt{3}$ разів, і кут зсуву між векторами цих напруг буде 60° (рис. 4.4, б).

Ємнісний струм пошкодженої фази ($U_{\text{ФС}} = 0$) буде дорівнювати нулю, а ємнісні струми кожної непошкодженої фази

збільшаться пропорційно збільшенню напруги на ємності і відповідно будуть дорівнювати $\sqrt{3}I_{CA}$ і $\sqrt{3}I_{CB}$.



б

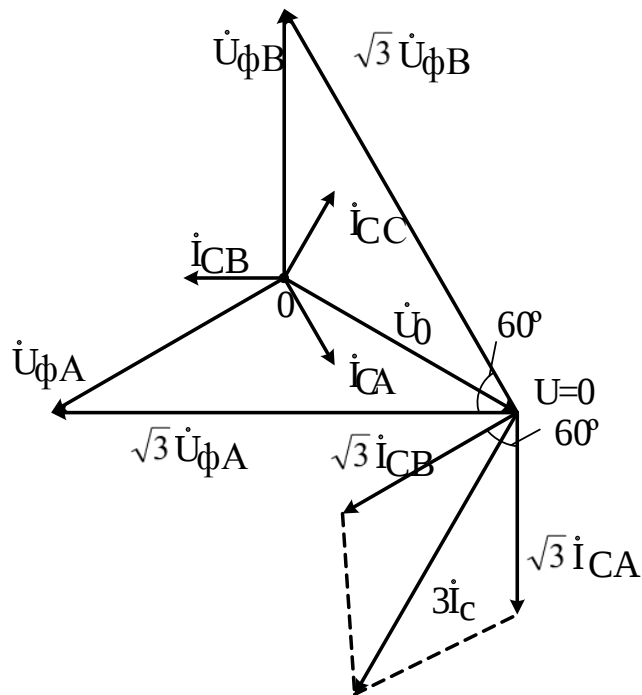


Рис. 4.4. Мережа високої напруги з ізолюваною нейтраллю:
а – схема протікання ємнісних струмів при замиканні фази на землю; б – векторна діаграма напруг та ємнісних струмів в нормальному режимі та при замиканні фази С на землю

Сумарний струм через ємності здорових фаз $3I_C$, який дорівнює геометричній сумі струмів цих фаз

$$\sqrt{3}I_{CA} + \sqrt{3}I_{CB} = 3I_C,$$

буде проходити через місце замикання фази С на землю, замикаючись через джерело живлення мережі.

При неметалічному замиканні на землю ($U_{\text{фс}} \neq 0$) в місці замикання виникає дуга, яка супроводжується повторними гасіннями і запалюваннями. Між ємністю й індуктивністю мережі в цьому разі з'являються вільні електричні коливання високої частоти, внаслідок чого в мережі виникають перенапруги. Амплітуда дугових перенапруг у мережах 6-35 кВ при відсутності ферорезонансних явищ може досягати значень $3,2U_{\text{ф}}$ на непошкоджених фазах і $2,2U_{\text{ф}}$ на пошкодженій.

Короткочасні дугові перенапруги такої величини безпечні для нормальної ізоляції обладнання. Однак тривала дія перенапруг на ізоляцію (наприклад, кабельних ліній) може привести до іонізації і теплового пробою її у будь-якій точці мережі. Крім того, наявність значного струму в дузі розвинених кабельних мереж приводить до переходу однофазних замикань в дво- та трифазні короткі замикання і до відмикання споживачів.

Мережі з компенсованою нейтраллю. Прагненню підвищити надійність роботи мереж і приєднаного до них обладнання відповідає вимога ПУЕ про те, щоб розвинені мережі напругою 6-35 кВ працювали з компенсацією ємнісного струму замикання на землю за допомогою дугогасильних котушок.

Компенсація повинна здійснюватись у мережах напругою 6 і 10 кВ при струмах замикання на землю в них відповідно більше 30 і 20 А і в мережах напругою 20 і 35 кВ при струмах 15 і 10 А.

На рис. 4.5 подана схема найпростішої компенсованої мережі з ємнісним опором $1/\omega C$ на фазу. Нейтраль первинної обмотки одного з мережних трансформаторів заземлюється через регульований індуктивний опір – дугогасильну котушку – заземлювальний реактор однофазний масляний (ЗРОМ) або дугогасильний реактор (ДРГ).

При замиканні на землю однієї фази в такій мережі напруга двох непошкоджених фаз по відношенню до землі, як і в мережі з ізольованою нейтраллю, збільшується в $\sqrt{3}$ разів, а напруга нейтралі буде дорівнювати фазній напрузі (рис. 4.4, б).

Під дією цієї напруги через дугогасильну котушку піде струм. Опір котушки підбирають таким чином, щоб індуктивний струм I_L , що проходить через котушку, був за величиною рівний

сумарному ємнісному струму $3\dot{I}_C$, який проходить через фазові ємності мережі.

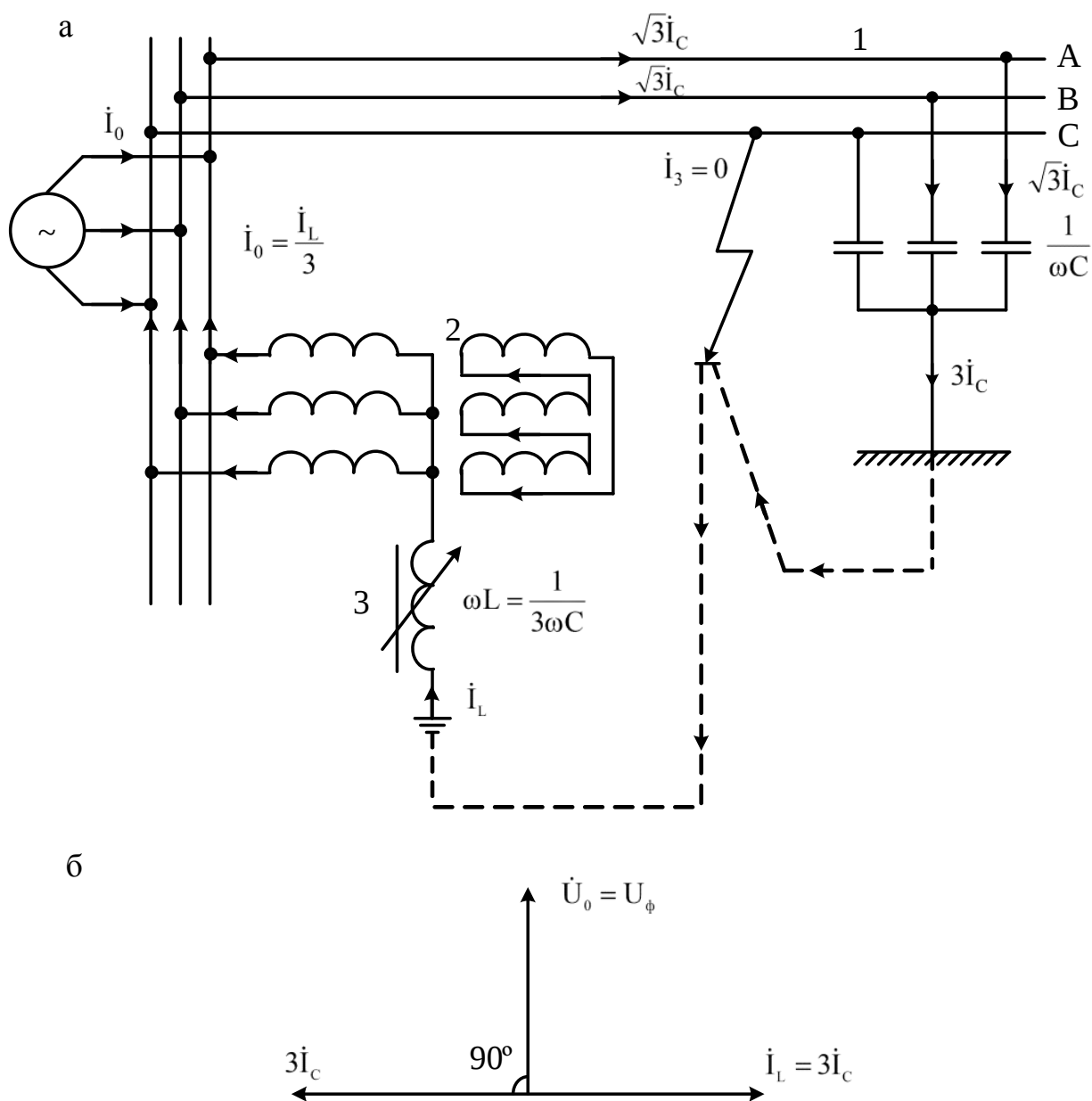


Рис. 4.5. Мережа з компенсованою нейтраллю:

- а – схема протікання струмів в мережі при замиканні фази на землю: в пошкодженій фазі $\dot{I}_C = 0$; в здорових фазах $\dot{I}_C + \dot{I}_0 = \sqrt{3}\dot{I}_C$; в обмотках трансформатора $\dot{I}_0 = \dot{I}_L/3$; в місці замикання $\dot{I}_3 = 0$;
 б – векторна діаграма струмів в місці замикання; 1 – лінія мережі; 2 – заземлювальний трансформатор; 3 – дугогасильна котушка

У цьому разі струм у місці замикання фази на землю, який являє собою геометричну суму цих двох струмів, буде рівний нулю (рис. 4.5, б) і отже, дуга, що виникла, погасне. Таке настроювання котушки з повною компенсацією ємнісного струму називається резонансним.

Практично, однак, через місце замикання протікає залишковий струм, який складається з активної і реактивної складових. Перша з них зобов'язана своїм існуванням активному опору котушки і мережі, а друга – неточному настроюванню котушки. Цей залишковий струм малий за величиною. Тому у тих випадках, коли ізоляційна міцність дугового проміжку перевищує робочу напругу мережі, дуга гасне і знову не відновлюється (наприклад, при грозових перекриттях лінійної ізоляції). У разі ж порушення ізоляції (поломка ізоляторів, накиди на лінію) дуга набуває переміжного характеру, і мережа продовжує роботу в режимі однофазного замикання, однак, на відміну від некомпенсованої мережі, з малим струмом у дузі.

У компенсованих мережах перенапруги при дугових замиканнях на землю не перевищують $(2,6 - 2,8)U_{\phi}$, а ймовірність появи перенапруг вищої кратності менша, ніж у некомпенсованих. Дугогасильні котушки повинні мати, як правило, резонансне настроювання або невелику перекомпенсацію ($I_L \geq 3I_C$).

Компенсувальні пристрої установлюють звичайно в центрах живлення компенсованої мережі.

Мережі з глухозаземленою нейтраллю. Це, як правило, мережі 110 кВ і вище. При таких напругах ємнісні струми досягають великих значень. Застосування дугогасильних пристроїв не усунуло б основний недолік, який властивий системам з малими струмами замикання на землю: підвищення напруги в непошкоджених фазах в $\sqrt{3}$. Глухе заземлення нейтралі усуває цей недолік, оскільки замикання однієї фази на землю є однофазним коротким, при якому здійснюється автоматичне відмикання пошкодженої лінії. При цьому рівень ізоляції апаратів нижче, оскільки напруга фаз по відношенню до землі при будь-яких режимах не вище U_{ϕ} . Виключаються також переміжні дуги. Нема необхідності в пристроях контролю стану ізоляції. Однак такі мережі мають і недоліки.

Перший недолік – перерви в електропостачанні. Слід зазначити, що однофазні замикання на землю в повітряних мережах 110 кВ і вище мають випадковий характер і самоліквідуються. Це дозволяє ефективно застосовувати автоматичне повторне вмикання (АПВ), яке зводить ці перерви до мінімуму.

Другий недолік. Значне ускладнення та збільшення вартості заземлювальних пристроїв. Для систем з великими струмами замикання на землю ПУЕ рекомендують $R_3 \leq 0,5$ Ом. Тобто кількість заземлювальних електродів повинна бути значною.

Третій недолік. Великі струми однофазного короткого замикання, які в окремих випадках можуть навіть перевищувати струми трифазного короткого замикання. Щоб зменшити їх величину, частину нейтралей трансформаторів в системі виконують незаземленими, збільшуючи тим самим опір для струмів однофазних замикань на землю.

4.1.5. Системи заземлення трифазних електричних мереж змінного струму напругою до 1000 В відповідно до вимог МЕК

Світовий досвід із забезпечення електробезпеки узагальнений в стандартах Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК). Вимоги цих стандартів враховані в останній редакції ПУЕ. Згідно з ГОСТ 30 331.2–95 (МЕК 364-3-93), системи заземлення трифазних електричних мереж змінного струму напругою до 1000 В поділяються на типи TN, TT та IT.

Буквені позначення типу заземлення системи означають:

перша буква – характер заземлення джерела живлення:

T (від лат. «terra» – земля) – безпосереднє приєднання однієї точки струмовідних частин джерела живлення до заземлювального пристрою. У трифазних мережах такою точкою, як правило, є нейтраль джерела живлення, в трипроводових мережах однофазного струму та постійного струму – середня точка, у двопроводових мережах – один з виводів джерела однофазного струму або один з полюсів джерела постійного струму;

I (від англ. «isolated» – ізольований) – всі струмовідні частини джерела живлення ізольовані від землі або одна точка заземлена

через великий опір (наприклад, через опір приладів контролю ізоляції);

друга буква – характер заземлення відкритих провідних частин електроустановки;

N (від англ. «neutral» – нейтраль) – безпосередній зв'язок відкритих провідних частин електроустановки з точкою заземлення джерела живлення;

T – безпосередній зв'язок відкритих провідних частин із землею незалежно від характеру зв'язку джерела живлення із землею.

Наступні букви в системі TN означають улаштування нейтрального N і захисного PE- провідників:

S (від англ. «separate» – роз'єднувати) – функції N- і PE- провідників виконують окремі провідники;

PE (від англ. «protective earthing» – захисне заземлення) – захисний провідник в електроустановках напругою до 1кВ, призначений для захисту від ураження електричним струмом;

C (від англ. «combine» – об'єднувати) – функції N- і PE- провідників виконує один PEN- провідник;

PEN- провідник – провідник в електроустановках напругою до 1кВ, який об'єднує в собі функції захисного (PE-) і нейтрального (N-) провідників. Термін «нейтральний» та «захисний» провідники в системі TN є синонімами відповідних термінів «нульовий робочий» та «нульовий захисний» провідники, які використовувались в попередніх редакціях ПУЕ. Вони не відповідають термінам міжнародних стандартів.

Система заземлення TN. Це система, в якій мережа живлення має глухе заземлення однієї точки струмовідних частин джерела живлення, а всі відкриті провідні частини електроустановки, які доступні торканню, приєднуються до цієї точки за допомогою N- або PE- провідників (рис. 4.6).

В залежності від улаштування нейтрального і захисного провідників розрізняють три модифікації такої системи:

TN-C – система TN, в якій N- і PE- провідники, об'єднані в одному PEN- провіднику уздовж всієї мережі (рис. 4.6, а);

TN-S – система TN, в якій N- і PE- провідники працюють роздільно уздовж всієї мережі (рис. 4.6, б, в);

TN-C-S – система TN, в якій N- і PE- провідники об'єднані в одному провіднику в частині мережі, починаючи від джерела живлення (рис. 4.6, г).

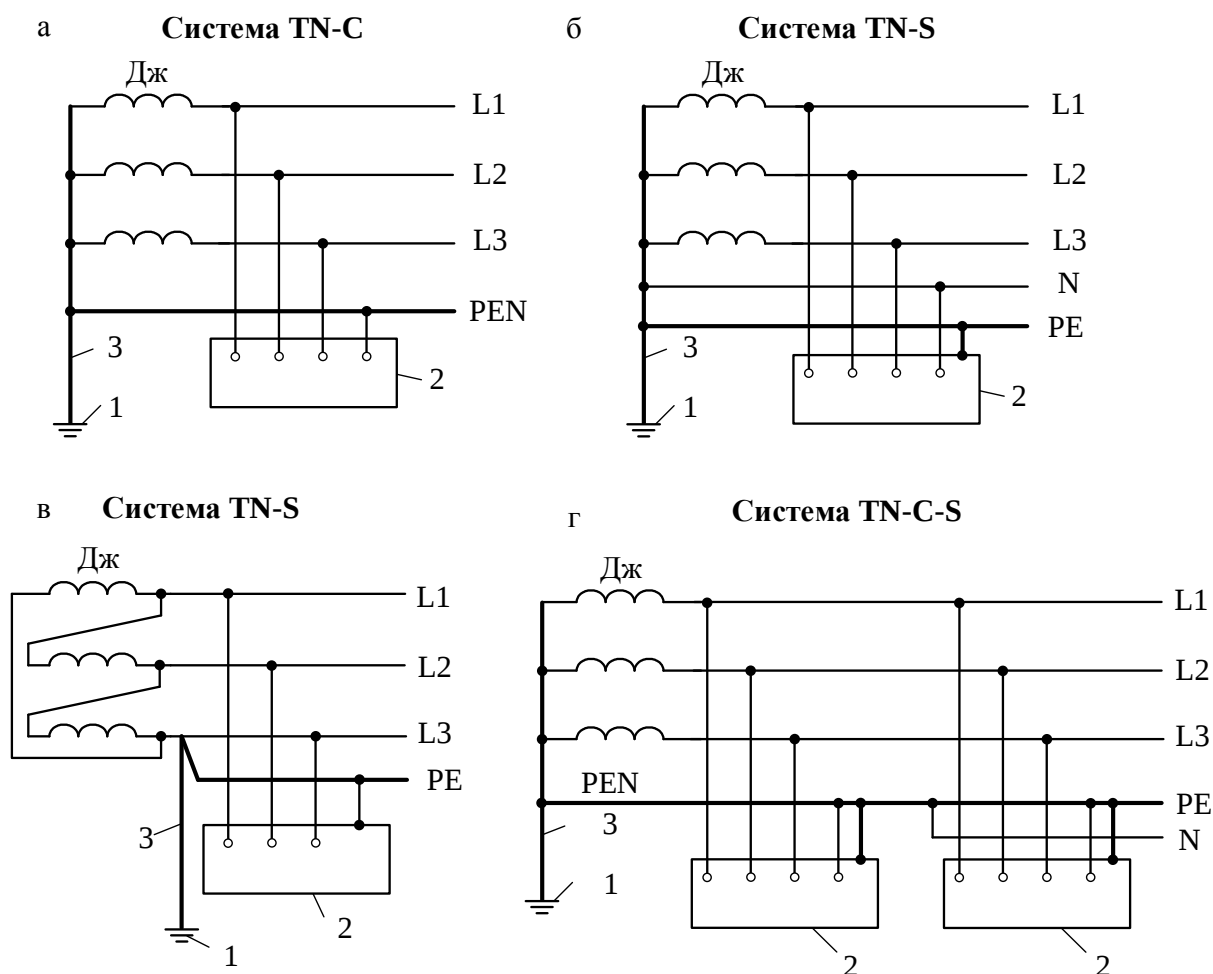


Рис. 4.6 Схеми виконання систем TN-C, TN-S, TN-C-S в електроустановках трифазного струму: 1 – заземлювач джерела живлення; 2 – відкриті провідні частини; 3 – захисний заземлювальний провідник (заземлення системи позначено потовщеними лініями)

Системи заземлення типу TN є найбільш поширеними. При цьому їх модифікація TN-C найбільш розповсюджена, оскільки вона є найдешевшою. Це обумовлено тим, що прокладається тільки один провідник, який виконує функції одночасно захисного і робочого провідників. Однак в теперішній час необхідно застосовувати мережі з системою заземлення TN-C-S або TN-S.

У стаціонарних електроустановках функцію нейтрального N та захисного PE провідників можна поєднувати в одному

провіднику PEN (система TN-C або частина системи TN-C-S), якщо переріз провідника PEN не менше 10 мм^2 – для міді, 16 мм^2 – для алюмінію.

Якщо, починаючи з якої-небудь точки мережі, захисний і нейтральний провідники розділені (система TN-S або частина системи TN-C-S), забороняється об'єднувати їх за цією точкою. PEN- провідник, що поєднує функції робочого і захисного провідників, повинен підмикатися до затискача, призначеного для захисного провідника PE. Використання сторонніх провідних частин як PEN- провідник заборонено.

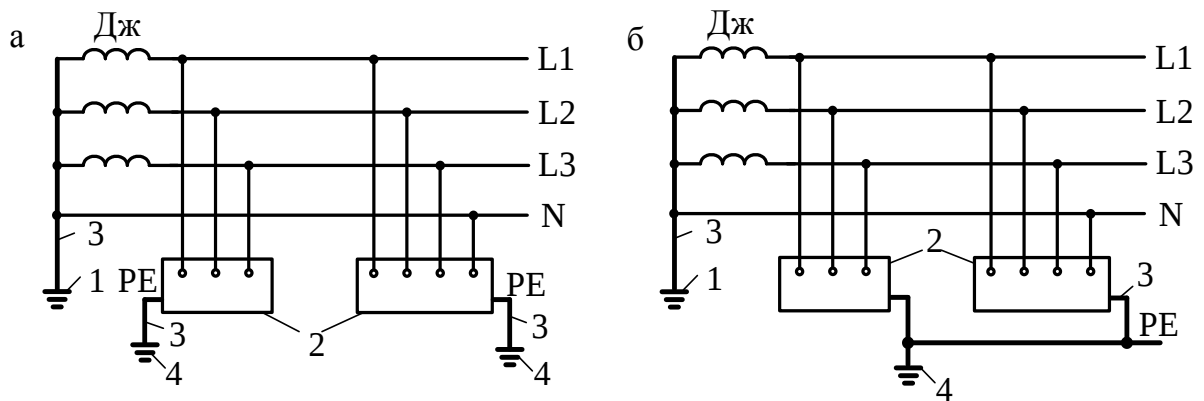
Застосування системи заземлення TN-S не тільки підвищує рівень електробезпеки, але й дозволяє широко використовувати пристрої захисного відмикання, що керуються диференційними струмами.

Система заземлення TT – система, в якій одна точка струмовідних частин джерела живлення заземлена, а відкриті провідні частини електроустановки приєднані до PE- провідника, який з'єднаний із заземлювачем. Причому цей заземлювач електрично незалежний від заземлювача, до якого підімкнена точка струмовідних частин джерела живлення (рис. 4.7, а, б).

Система заземлення IT – система, у якій мережа живлення ізольована від землі або заземлена через прилади з великим опором, а відкриті провідні частини електроустановки приєднано до заземленого PE-провідника (рис. 4.7, в, г).

Вимоги цього підрозділу до електроустановок напругою до 1000 В стосуються також електроустановок напругою до 1500 В постійного та випрямленого струму, змінна складова якого не перевищує 10 % діючого значення.

Система ТТ



Система ІТ

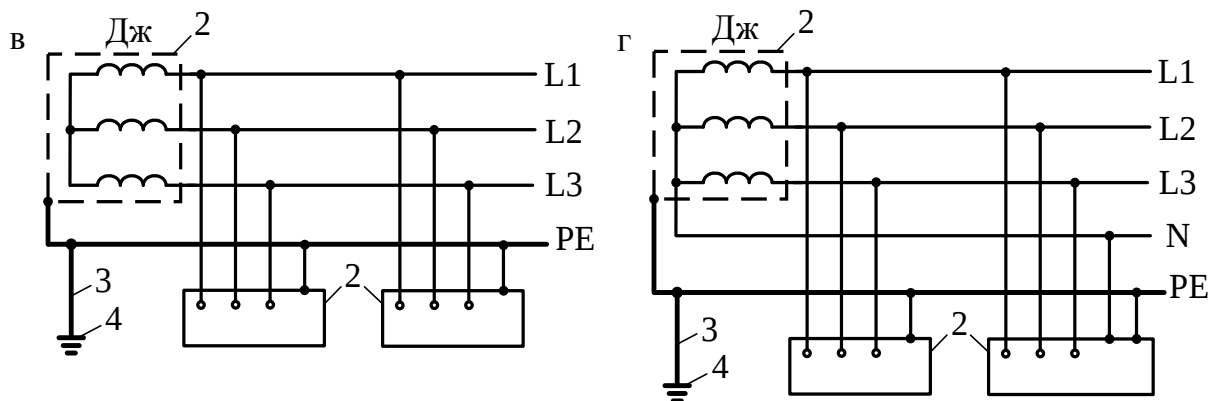


Рис. 4.7. Схеми виконання систем ТТ, ІТ в електроустановках трифазного струму: 4 – заземлювач відкритих провідних частин (решта позначень та сама, що і на рис. 4.6)

4.1.6. Схеми вмикання людини в коло струму

Схеми вмикання людини в коло струму можуть бути різними. Однак найбільш характерні дві схеми вмикання: між двома фазами електричної мережі й між одною фазою й землею (рис. 4.8). Зрозуміло, у другому випадку припускається електричний зв'язок між мережею й землею. Такий зв'язок може бути обумовлений недосконалістю ізоляції проводів відносно землі, наявністю ємності між проводами й землею й, нарешті, заземленням нейтралі джерела струму, що живить дану мережу.

Стосовно до мереж змінного струму перша схема відповідає двофазному дотику, а друга – однофазному.

Двофазний дотик, як правило, більш небезпечний, оскільки до тіла людини прикладається найбільша в даній мережі напруга – лінійна, а струм, що проходить через людину, виявляється не

залежним від схеми мережі, режиму її нейтралі й інших факторів і має найбільше значення

$$I_h = \frac{U_{\text{л}}}{R_h} = \frac{\sqrt{3}U_{\phi}}{R_h},$$

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

U_{ϕ} – фазна напруга;

R_h – опір тіла людини.

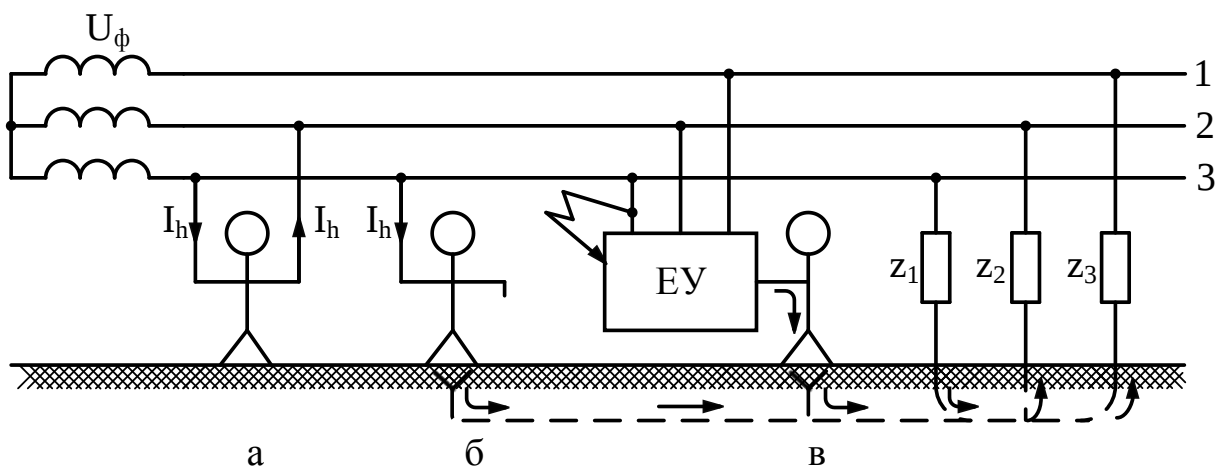


Рис. 4.8. Випадки дотику людини до проводів трифазної електричної мережі: а – двофазний дотик; б і в – однофазні дотики; z_1 , z_2 , z_3 – повні опори проводів відносно землі

Випадки двофазного дотику відбуваються рідко. Вони є, як правило, результатом роботи під напругою в електроустановках до 1000 В – на щитах, повітряних лініях електропередачі (наприклад, при заміні згорілого запобіжника на ввіді в будівлю) тощо; застосування несправних електрозахисних засобів – діелектричних рукавичок із проколами або розривами гуми, монтерського інструмента з пошкодженою ізоляцією рукояток та ін.; експлуатації устаткування з необгородженими неізольованими струмовідними частинами (відкриті рубильники, пошкоджені штепсельні розетки, провід з пошкодженою ізоляцією, незахищені затискачі зварювальних трансформаторів і т.п.).

Однофазний дотик, як правило, менш небезпечний, ніж двофазний, оскільки струм, що проходить через людину, обмежується впливом багатьох факторів. Однак однофазний дотик виникає набагато частіше. Тому в розглянутих нами мережах аналізуються лише випадки однофазного дотику. При цьому з метою спрощення приймаємо, що тіло людини має лише активний опір, а опір розтіканню ніг людини й опір його взуття приймаємо рівними нулю (за винятком особливо обговорених випадків).

Розглянемо декілька схем електричних мереж з різними режимами нейтралі й визначимо залежність небезпеки вмикання людини в електричне коло цих мереж, тобто напруг дотику та струмів через людину, від перелічених факторів. Ці залежності необхідно знати при оцінці небезпеки тієї чи іншої мережі за умовою ураження струмом, при виборі та розрахунку певних способів і засобів захисту й, зокрема, заземлення, занулення, захисного вимикання, пристроїв контролю ізоляції тощо.

При аналізі небезпеки дотику до струмовідних частин у мережах різного типу роботу мережі при відсутності замикання на землю називають нормальним режимом, а при замиканні будь-якої фази на землю – аварійним режимом. Небезпеку однофазного дотику звичайно аналізують для нормального і аварійного режимів роботи мережі.

4.2. Однофазні мережі

4.2.1. Мережа, ізольована від землі

Розглянемо одну з найпростіших мереж – однофазну двопроводову, ізольовану від землі, у якій ємність проводів відносно землі можна прийняти рівною нулю (рис. 4.9). Такою може бути, наприклад, повітряна мережа напругою до 1000 В невеликої довжини. Потрібно оцінити небезпеку дотику людини до одного із проводів цієї мережі, тобто визначити напругу U_d , під якою опиниться людина, і струм I_h , що проходитиме через неї, як при нормальному режимі роботи мережі, так і при аварійному (тобто при замиканні якого-небудь проводу на землю). Вважаємо, що нам відомі напруга мережі U і опори ізоляції проводів відносно землі r_1 й r_2 , тіла людини R_h й замикання проводу на землю $r_{зм}$.

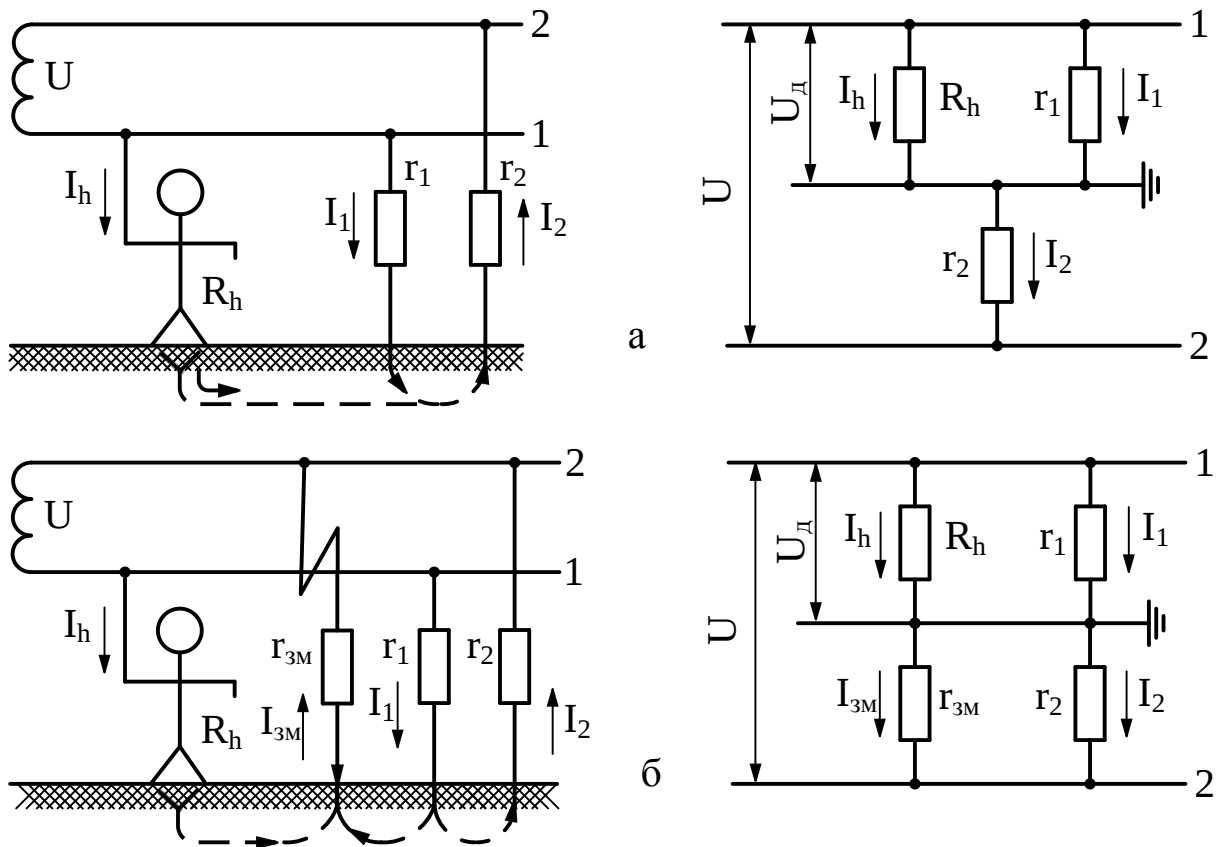


Рис. 4.9. Дотик людини до проводу однофазної двопроводової мережі: а – при нормальному режимі її роботи; б – при аварійному режимі; 1, 2 – номери проводів

При нормальному режимі роботи мережі напругу дотику, тобто напругу, під якою опиняється людина, що доторкнулася до одного із проводів мережі, наприклад до проводу 1 (рис. 4.9, а), можна визначити в такий спосіб. Зі схеми заміщення можна написати

$$U = U_d + I_2 \cdot r_2 = U_d + (I_h + I_1) \cdot r_2,$$

де I_1 й I_2 – струми, що проходять через опори ізоляції r_1 й r_2 відповідно. З огляду на те, що

$$I_h = \frac{U_d}{R_h} \text{ і } I_1 = \frac{U_d}{r_1},$$

отримаємо

$$U = U_{\text{д}} + \left(\frac{U_{\text{д}}}{R_{\text{h}}} + \frac{U_{\text{д}}}{r_1} \right) \cdot r_2 = U_{\text{д}} + \left(\frac{U_{\text{д}} \cdot r_1 + U_{\text{д}} \cdot R_{\text{h}}}{R_{\text{h}} \cdot r_1} \right) \cdot r_2 =$$

$$= U_{\text{д}} \cdot \frac{r_1 \cdot r_2 + r_1 \cdot R_{\text{h}} + r_2 \cdot R_{\text{h}}}{r_1 \cdot R_{\text{h}}}.$$

Звідки напруга, прикладена до тіла людини,

$$U_{\text{д}} = U \cdot \frac{r_1 \cdot R_{\text{h}}}{r_1 \cdot r_2 + r_1 \cdot R_{\text{h}} + r_2 \cdot R_{\text{h}}}, \quad (4.1)$$

а струм, що проходить через людину,

$$I_{\text{h}} = \frac{U_{\text{д}}}{R_{\text{h}}} = U \cdot \frac{r_1}{r_1 \cdot r_2 + r_1 \cdot R_{\text{h}} + r_2 \cdot R_{\text{h}}}. \quad (4.2)$$

Із цих виразів можна зробити такі висновки:

1. Чим краще ізоляція проводів відносно землі, тим менше небезпека однофазного дотику до проводу. Цей висновок буде особливо очевидний, якщо покласти $r_1 = r_2 = r$. Тоді (4.1) і (4.2) набудуть вигляду

$$U_{\text{д}} = U \cdot \frac{R_{\text{h}}}{r + 2R_{\text{h}}};$$

$$I_{\text{h}} = U \cdot \frac{1}{r + 2R_{\text{h}}}. \quad (4.3)$$

2. Дотик людини до проводу з більшим опором ізоляції більш небезпечний.

Необхідно підкреслити, що ці висновки справедливі й для інших мереж, у тому числі трифазних.

При аварійному режимі, коли один із проводів мережі, наприклад 2, замкнений на землю через опір $r_{\text{зм}}$ (рис. 4.9,б), напруга дотику й струм, що протікає через людину, яка доторкнулася до справного проводу, визначаються виразами (4.1) і (4.2), у яких r_2 повинний бути замінений на еквівалентний опір

паралельно ввімкнених опорів r_2 і $r_{зм}$. Однак оскільки $r_{зм}$ звичайно малий в порівнянні з r_2 , він шунтує опір ізоляції r_2 , і у виразах (4.1) і (4.2) опір r_2 може бути прийнятий рівним нулю. Тоді відповідно до зазначених виразів напруга U_d й струм I_h будуть мати найбільші можливі значення

$$U_d \approx U; I_h \approx \frac{U}{R_h}.$$

Таким чином, при замиканні проводу на землю людина, що доторкнулася до справного проводу, опиняється під напругою, рівною майже повній напрузі лінії незалежно від опору ізоляції проводів. Тобто в аварійному режимі однофазний дотик еквівалентний двофазному дотику і в електроустановках напругою вище 42 В надзвичайно небезпечний. Отже, при аварійному режимі захисна роль ізоляції проводів практично повністю втрачена, і тому небезпека ураження людини струмом значно вище, ніж у випадку дотику до того ж проводу мережі в період її нормальної роботи.

4.2.2. Мережа із заземленим проводом

Розглянемо однофазну двопроводову мережу із заземленим проводом, ємністю якого відносно землі можна знехтувати. Такі мережі мають невелику довжину й отримують живлення від однофазних трансформаторів: вимірювальних, зварювальних, знижувальних і т.п.

При дотику до незаземленого проводу цієї мережі (рис. 4.10, а) через людину проходить струм

$$I_h = \frac{U}{R_h + r_0}, \quad (4.4)$$

а напруга дотику дорівнює

$$U_d = \frac{U \cdot R_h}{R_h + r_0}, \quad (4.5)$$

де r_0 – опір заземлення проводу.

Із цих виразів видно, що при $r_0 \ll R_h$ людина опиняється практично під повною напругою мережі, а струм, що проходить через неї, має найбільше значення. У цьому випадку ми не враховуємо опорів ізоляції r_1 й r_2 , вплив яких дуже незначний.

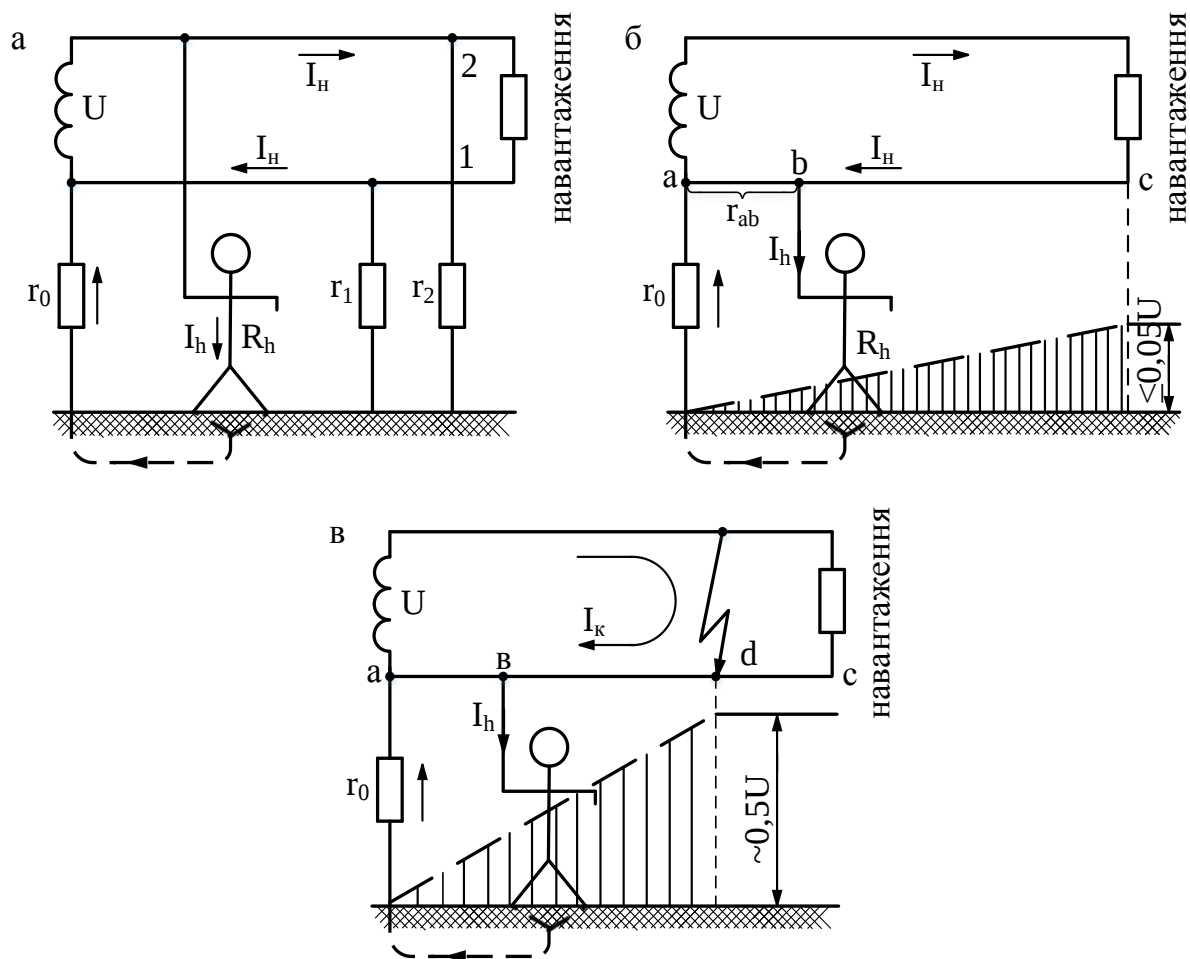


Рис. 4.10. Дотик людини до проводів однофазної двопроводової мережі із заземленим проводом: а – дотик до незаземленого проводу; б – дотик до заземленого проводу при нормальному режимі роботи мережі; в – дотик до заземленого проводу при короткому замиканні між проводами

Тут доречно відзначити винятково велике значення ізолювальних підлог і взуття для забезпечення безпеки людей від ураження струмом. Дійсно, опори підлоги r_{Π} й взуття $r_{вз}$ вмикаються послідовно з опором тіла людини R_h . З урахуванням цього вираз (4.4) буде мати вигляд

$$I_h = \frac{U}{R_h + r_n + r_{вз} + r_0}. \quad (4.6)$$

Дотик до заземленого проводу нерідко вважають безпечним, думаючи, що напруга цього проводу щодо землі незначна. У дійсності це не завжди так. Справді, при дотику до заземленого проводу (рис. 4.10, б) людина опиняється під напругою U_d , рівною втраті напруги в заземленому проводі на ділянці від місця його заземлення а до місця торкання б:

$$U_d = I_n \cdot r_{ab},$$

де I_n – струм навантаження, що проходить проводом;
 r_{ab} – опір проводу на ділянці ab.

У нормальних умовах напруга U_d невелика; найбільше її значення відповідає дотику людини до точки с й становить не більше 5 % напруги мережі U (оскільки перерізи проводів вибираються з умови втрати напруги не більше 10 %).

При короткому замиканні між проводами (рис. 4.10, в) струм різко зростає, і втрата напруги в проводах досягає майже 100 % U . При однаковому перерізі обох проводів напруга в точці d близька до половини напруги мережі.

Очевидно, що U_d зростає практично пропорційно збільшенню струму в проводі, і при коротких замиканнях може досягати небезпечних для людини значень.

4.3. Трифазні мережі

4.3.1. Трифазна чотирипроводова мережа з нейтраллю, заземленою через активний та індуктивний опори

Визначення напруги дотику й струму, що проходить через тіло людини, у випадку дотику її до однієї з фаз трифазної мережі, виявляється більш складним, ніж у розглянутих вище випадках.

Для спрощення розрахунків скористаємося символічним методом. Спочатку розглянемо дотик людини до фазного проводу

трифазної чотирипроводнової мережі, у якій нейтраль заземлена через активний й індуктивний опори r_0 й x_L (рис. 4.11), а опори ізоляції проводів r , так само як і ємності проводів C щодо землі, не рівні між собою:

$$r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq r_H; C_1 \neq C_2 \neq C_3 \neq C_H \neq 0.$$

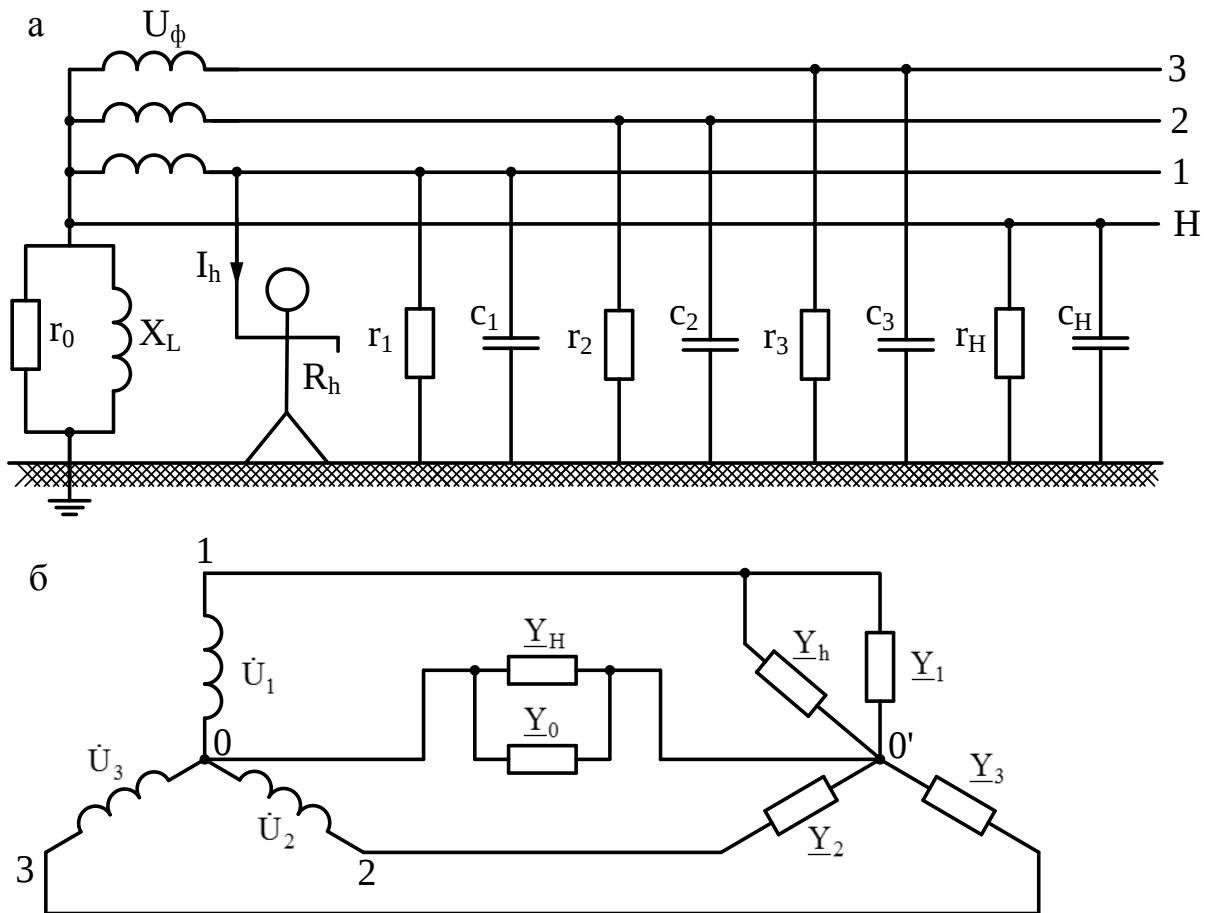


Рис. 4.11. Дотик людини до фазного проводу трифазної чотирипроводнової мережі з нейтраллю, заземленою через активний й індуктивний опори:

а – схема мережі; б – еквівалентна схема; 1, 2, 3 – номери фазних проводів; Н – нульовий провід

Це загальний і в той же час найбільш складний випадок, однак висновки, отримані при його розгляді, можуть бути поширені шляхом найпростіших перетворень на інші трифазні мережі.

На рис. 4.11 показані розглянута мережа і її еквівалентна схема в момент дотику людини до фазного проводу.

Повні провідності ізоляції фазних і нульового проводів щодо землі $\underline{Y}_1$, $\underline{Y}_2$, $\underline{Y}_3$, $\underline{Y}_H$ і заземлення нейтралі $\underline{Y}_0$ в комплексній формі будуть такими:

$$\begin{aligned}\underline{Y}_1 &= \frac{1}{r_1} + j\omega C_1 = \frac{1}{r_1} + \frac{j}{x_{C_1}}; \\ \underline{Y}_2 &= \frac{1}{r_2} + j\omega C_2 = \frac{1}{r_2} + \frac{j}{x_{C_2}}; \\ \underline{Y}_3 &= \frac{1}{r_3} + j\omega C_3 = \frac{1}{r_3} + \frac{j}{x_{C_3}}; \\ \underline{Y}_H &= \frac{1}{r_H} + j\omega C_H = \frac{1}{r_H} + \frac{j}{x_{C_H}}; \\ \underline{Y}_0 &= \frac{1}{r_0} - j\frac{1}{\omega L} = \frac{1}{r_0} - \frac{j}{x_L},\end{aligned}$$

а повна провідність тіла людини

$$\underline{Y}_h = \frac{1}{R_h},$$

де $\omega = 2\pi f$ – кутова частота;

f – частота струму;

$X_c = 1/\omega C$ – ємнісний опір проводу відносно землі;

L – індуктивність кола заземлення нейтралі;

$X_L = \omega L$ – індуктивний опір заземлення нейтралі;

R_h – опір тіла людини.

При дотику людини до однієї з фаз, наприклад фази 1 (рис. 4.11), напруга дотику визначиться виразом

$$\dot{U}_D = \dot{U}_1 - \dot{U}_0, \quad (4.7)$$

а струм, що проходить через тіло людини, дорівнює

$$\dot{I} = \dot{U}_d \cdot \underline{Y}_h = (\dot{U}_1 - \dot{U}_0) \cdot \underline{Y}_h,$$

де $\dot{U}_1$ – комплексна напруга фази 1 (фазна напруга);

$\dot{U}_0$ – комплексна напруга між нейтраллю джерела струму й землею (тобто між точками ОО' на еквівалентній схемі).

Відповідно до відомого методу двох вузлів напругу $\dot{U}_0$ можна виразити такою залежністю:

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{U}_1 \cdot (\underline{Y}_1 + \underline{Y}_h) + \dot{U}_2 \cdot \underline{Y}_2 + \dot{U}_3 \cdot \underline{Y}_3}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + \underline{Y}_h + \underline{Y}_0 + \underline{Y}_h}.$$

Оскільки для симетричної трифазної системи

$$\dot{U}_1 = U_\phi; \quad \dot{U}_2 = a^2 \cdot U_\phi; \quad \dot{U}_3 = a \cdot U_\phi,$$

де a – фазний оператор трифазної системи, що враховує зсув фаз, рівний

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2},$$

отримаємо

$$\dot{U}_0 = U_\phi \frac{\underline{Y}_1 + a^2 \cdot \underline{Y}_2 + a \cdot \underline{Y}_3 + \underline{Y}_h}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + \underline{Y}_h + \underline{Y}_0 + \underline{Y}_h}.$$

Підставивши це значення в (4.7), одержимо в комплексній формі вираз для напруги, прикладеної до тіла людини, що доторкнулася до фази 1 трифазної чотирипроводової мережі з нейтраллю, заземленою через активний й індуктивний опори

$$\dot{U}_d = U_\phi \frac{(1 - a^2) \cdot \underline{Y}_2 + (1 - a) \cdot \underline{Y}_3 + \underline{Y}_h + \underline{Y}_0}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + \underline{Y}_h + \underline{Y}_0 + \underline{Y}_h}. \quad (4.8)$$

Струм, що проходить через людину, отримаємо, якщо помножимо вираз (4.8) на $\underline{Y}_h$:

$$\dot{I}_h = \dot{U}_d \cdot \underline{Y}_h = U_\phi \cdot \underline{Y}_h \frac{(1-a^2) \cdot \underline{Y}_2 + (1-a) \cdot \underline{Y}_3 + \underline{Y}_h + \underline{Y}_0}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + \underline{Y}_h + \underline{Y}_0 + \underline{Y}_h}. \quad (4.9)$$

Таким чином, аналіз найбільш складної мережі з тих, які можуть зустрітися, дозволив отримати вирази для напруги дотику і струму через людину при її дотику до однієї з фаз цієї мережі, тобто одержаний «інструмент» для аналізу будь-якої трифазної мережі.

Користуючись отриманими співвідношеннями (4.8) і (4.9), визначимо U_d й I_h при дотику людини до фази найпоширеніших трифазних мереж: чотирипроводової з нейтраллю, заземленою через малий активний опір, тобто із глухозаземленою нейтраллю, і трипроводовою з ізольованою нейтраллю.

4.3.2. Трифазна чотирипроводова мережа з глухозаземленою нейтраллю

Загальний вигляд мережі показаний на рис. 4.12, а.

Вирази для U_d й I_h у випадку дотику людини до фази цієї мережі аналогічні (4.8) і (4.9); лише повна провідність заземлення нейтралі має інше значення, а саме: $\underline{Y}_0 = \frac{1}{r_0}$.

При нормальному режимі роботи мережі провідності фазних і нульових проводів щодо землі в порівнянні з $\underline{Y}_0$ мають малі значення й з деяким допущенням можуть бути прирівняні до нуля, тобто

$$\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = \underline{Y}_3 = \underline{Y}_h = 0. \quad (4.10)$$

У цьому випадку (4.8) і (4.9) значно спростяться. Так, вираз для напруги дотику у дійсній формі набуде вигляду

$$U_d = U_\phi \frac{\underline{Y}_0}{\underline{Y}_0 + \underline{Y}_h} \text{ або } U_d = U_\phi \frac{R_h}{R_h + r_0}, \quad (4.11)$$

а вираз для струму, що протікає через людину, виглядатиме таким чином:

$$I_h = U_\phi \frac{1}{R_h + r_0}. \quad (4.12)$$

Звичайно в електричних мережах із глухозаземленою нейтраллю найбільше значення r_0 становить 10 Ом; опір же тіла людини R_h не опускається нижче декількох сотень Ом. Отже, без великої помилки в (4.11) і (4.12) можна знехтувати значенням r_0 і вважати, що при дотику до однієї з фаз трифазної чотирипроводової мережі із глухозаземленою нейтраллю людина опиняється практично під фазною напругою U_ϕ , а струм, що проходить через неї, дорівнює частці від ділення U_ϕ на R_h .

З виразу (4.12) виходить ще один висновок: струм, що проходить через людину, яка доторкнулася до фази трифазної мережі із глухозаземленою нейтраллю в період нормальної її роботи, практично не змінюється зі зміною опору ізоляції і ємності проводів щодо землі, якщо зберігається умова, що повні провідності проводів щодо землі досить малі в порівнянні із провідністю заземлення нейтралі.

При аварійному режимі, коли одна з фаз мережі, наприклад фаза 3 (рис. 4.12, а), замкнена на землю через відносно малий активний опір $r_{зм}$, вираз (4.8) має такий вигляд:

$$\dot{U}_d = U_\phi \frac{(1-a) \cdot \underline{Y}_{зм} + \underline{Y}_0}{\underline{Y}_{зм} + \underline{Y}_0 + \underline{Y}_h}.$$

Тут також прийнято, що $\underline{Y}_1$, $\underline{Y}_2$, і $\underline{Y}_h$ малі в порівнянні з $\underline{Y}_0$.

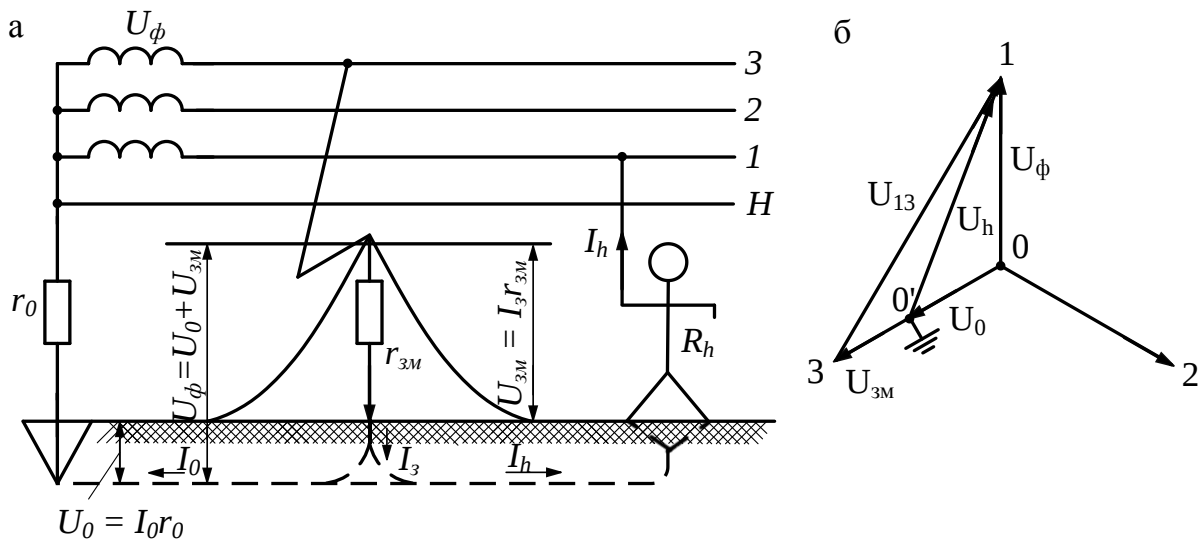


Рис. 4.12. Дотик людини до фазного проводу трифазної чотирипроводової мережі із заземленою нейтраллю при аварійному режимі: а – схема мережі; б – векторна діаграма напруг

Виконавши відповідні перетворення й урахувавши, що $\underline{Y}_{3M} = 1/r_{3M}$, $\underline{Y}_0 = 1/r_0$, $\underline{Y}_h = 1/R_h$, одержимо напругу дотику в дійсній формі

$$U_d = U_\phi \cdot R_h \frac{\sqrt{r_{3M}^2 + 3 \cdot r_{3M} \cdot r_0 + (r_0 \cdot \sqrt{3})^2}}{r_{3M} \cdot r_0 + R_h \cdot (r_{3M} + r_0)}.$$

З метою спрощення цього виразу зробимо допущення, що $3 \cdot r_{3M} \cdot r_0 \approx 2 \cdot \sqrt{3} \cdot r_{3M} \cdot r_0$. У результаті отримаємо

$$U_d = U_\phi \cdot R_h \frac{r_{3M} + r_0 \cdot \sqrt{3}}{r_{3M} \cdot r_0 + R_h \cdot (r_{3M} + r_0)}. \quad (4.13)$$

Струм, що протікає через людину, становить

$$I_h = U_\phi \frac{r_{3M} + r_0 \cdot \sqrt{3}}{r_{3M} \cdot r_0 + R_h \cdot (r_{3M} + r_0)}. \quad (4.14)$$

Розглянемо два характерних випадки.

1. Якщо прийняти, що опір замикання проводу на землю r_{3M} дорівнює нулю, то вираз (4.13) матиме вигляд

$$U_d = U_\phi \cdot \sqrt{3}.$$

Отже, у цьому випадку людина опиниться під дією лінійної напруги мережі.

2. Якщо прийняти рівним нулю опір заземлення нейтралі r_0 , то

$$U_d = U_\phi,$$

тобто напруга, під якою опиниться людина, буде дорівнювати фазній напрузі.

Однак у практичних умовах опори r_{3M} й r_0 завжди більше нуля, тому напруга, під якою опиниться людина, що доторкнулася в аварійний період до справного фазного проводу трифазної мережі із глухозаземленою нейтраллю, завжди менше лінійної, але більше фазної:

$$U_\phi \cdot \sqrt{3} > U_T > U_\phi. \quad (4.15)$$

Це положення ілюструється векторною діаграмою (рис. 4.12, б), що відповідає розглянутому випадку.

Таким чином, дотик людини до справного фазного проводу мережі із глухозаземленою нейтраллю в аварійний період більш небезпечний, ніж при нормальному режимі.

4.3.3. Трифазна трипроводова мережа з ізольованою нейтраллю

При нормальному режимі роботи цієї мережі (рис. 4.13) напруга U_d й струм I_h у період дотику людини до однієї фази, наприклад фази 1, визначаються виразами (4.8) і (4.9), у яких треба прийняти $\underline{Y}_h = \underline{Y}_0 = 0$.

Так, згідно з (4.9), вираз для струму у комплексній формі буде мати вигляд

$$\dot{I}_h = U_\phi \cdot \underline{Y}_h \frac{(1-a^2) \cdot \underline{Y}_2 + (1-a) \cdot \underline{Y}_3}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + \underline{Y}_h}. \quad (4.16)$$

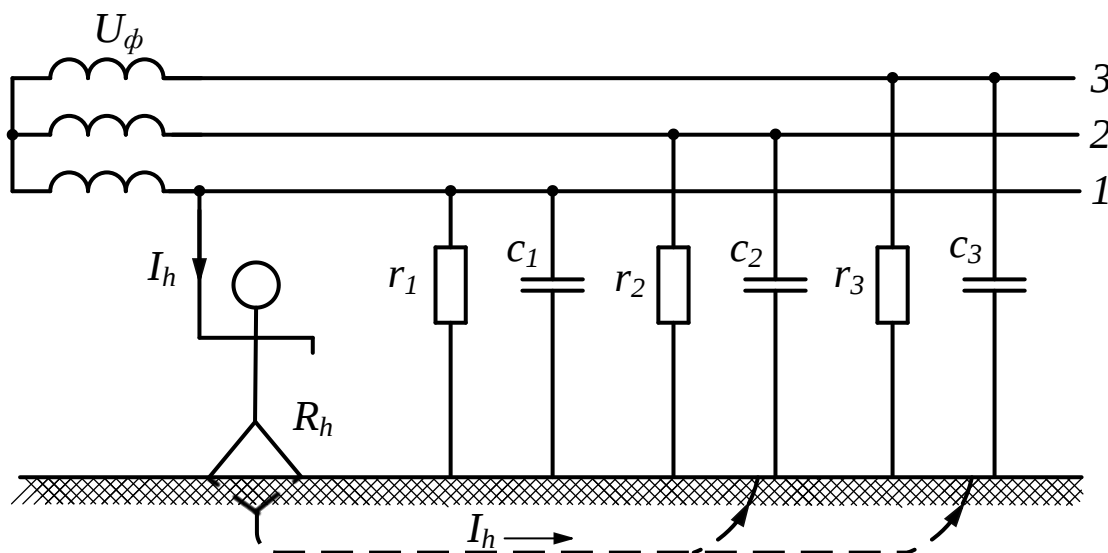


Рис. 4.13. Дотик людини до проводу трифазної трипроводової мережі з ізолюованою нейтраллю при нормальному режимі роботи

Користуючись цим виразом, оцінімо небезпеку дотику до фазного проводу для наступних трьох випадків.

1. При рівності опорів ізоляції і ємностей проводів щодо землі, тобто при $r_1 = r_2 = r_3 = r$; $C_1 = C_2 = C_3 = C$, а отже, при $\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = \underline{Y}_3 = \underline{Y}$, струм, що протікає через людину, дорівнює

$$\dot{I}_h = U_\phi \underline{Y}_h \frac{\underline{Y}(1-a^2+1-a)}{3\underline{Y} + \underline{Y}_h},$$

якщо мати на увазі, що $a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$; $a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$, то після декількох перетворень отримаємо

$$\dot{I}_h = \frac{U_\phi}{R_h + \underline{Z}/3}, \quad (4.17)$$

де $\underline{Z}$ – комплексне значення повного опору проводу щодо землі:

$$\underline{Z} = \frac{1}{\underline{Y}} = \frac{1}{1/r + j \cdot \omega \cdot C}.$$

2. При рівності опорів ізоляції й відсутності ємностей, тобто при $r_1 = r_2 = r_3 = r$; $C_1 = C_2 = C_3 = 0$ і, отже, при $\underline{Y} = 1/r$ й $\underline{Z} = r$, що може мати місце в коротких повітряних мережах, струм, що протікає через людину, складе

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r/3}. \quad (4.18)$$

3. При рівності ємностей і досить великих опорах ізоляції, тобто при $r_1 = r_2 = r_3 = \infty$; $C_1 = C_2 = C_3 = C$, що може мати місце в кабельних мережах, струм, що протікає через людину, складе

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h - jx_c/3} \quad (4.19)$$

де $x_c = 1/\omega \cdot C$ – ємнісний опір.

Слід зазначити, що багато поширених на практиці окремих випадків можуть бути розраховані без комплексних чисел. Наприклад, якщо ємнісна провідність проводів мережі відносно землі мала у порівнянні з активною провідністю ізоляції, а активні опори ізоляції фаз рівні між собою ($\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = \underline{Z}_i = r$), то струм однофазного дотику до будь-якої з фаз визначають виразом

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r/3}.$$

Таким чином, у мережах з ізолюованою нейтраллю небезпека для людини, яка доторкнулася до одного з фазних проводів у період нормальної роботи мережі, залежить від опору проводів щодо землі: *зі збільшенням опору небезпека зменшується*. Разом з тим цей випадок, як правило, менш небезпечний, ніж дотик у мережі із заземленою нейтраллю.

При аварійному режимі роботи мережі (рис. 4.14), коли виникло замикання фази (наприклад, фази 3) на землю через малий активний опір $r_{3м}$, провідності двох інших фаз можна прийняти рівними нулю. Тоді, підставивши в (4.16) $\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = 0$, одержимо струм, що протікає через людину,

$$\dot{I}_h = \dot{U}_\phi \cdot \underline{Y}_h \frac{\underline{Y}_3 \cdot (1-a)}{\underline{Y}_3 + \underline{Y}_h}.$$

Зробивши відповідні перетворення й маючи на увазі, що $\underline{Y}_3 = 1/r_{3м}$ й $\underline{Y}_h = 1/R_h$, одержимо вираз для струму в дійсній формі

$$I_h = \frac{U_\phi \cdot \sqrt{3}}{R_h + r_{3м}}. \quad (4.20)$$

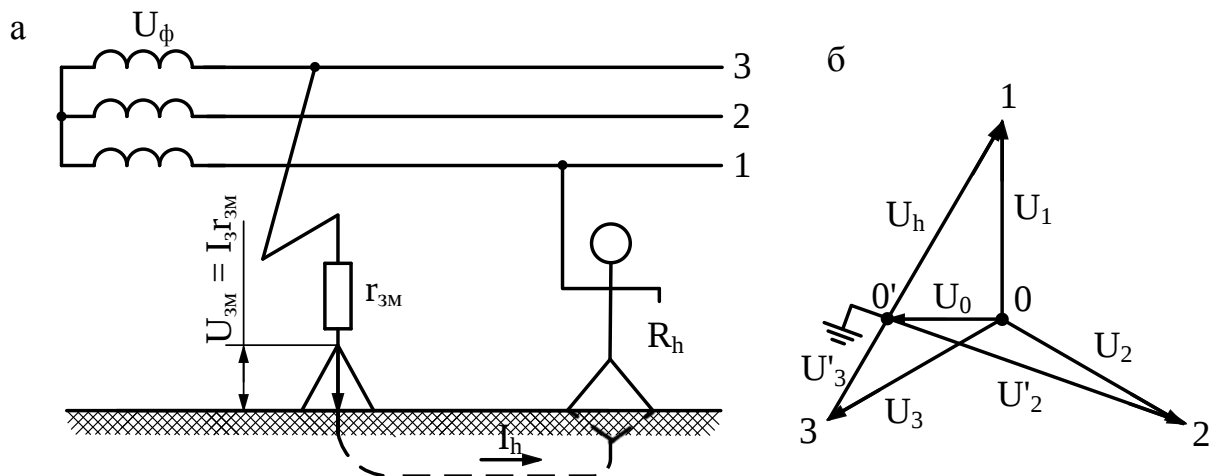


Рис. 4.14. Дотик людини до проводу трифазної трипроводової мережі з ізолюованою нейтраллю при аварійному режимі:
а – схема мережі; б – векторна діаграма напруг (за умови, що $\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = \underline{Y}_3 = 0$)

Напруга дотику

$$U_d = I_h \cdot R_h = U_\phi \cdot \sqrt{3} \frac{R_h}{R_h + r_{3M}}. \quad (4.21)$$

Якщо прийняти, що $r_{3M} = 0$, то згідно з (4.21) $U_d = U_\phi \cdot \sqrt{3}$, тобто людина опиниться під лінійною напругою мережі.

У дійсних умовах r_{3M} завжди більше 0, тому напруга, під якою опиниться людина, яка доторкнулася в аварійний період до справної фази трифазної мережі з ізольованою нейтраллю, буде значно більше фазної й трохи менше лінійної напруги мережі.

Таким чином, цей дотик у багато разів небезпечніше дотику до тієї ж фази мережі при нормальному режимі роботи. Разом з тим такий дотик є також більш небезпечним, ніж дотик до справної фази трифазної мережі із заземленою нейтраллю.

4.4. Висновки з порівняльного аналізу безпеки електричних мереж

Однофазні електричні мережі з ізольованими від землі проводами у порівнянні з мережами із заземленим проводом:

- менш небезпечні при однакових опорах ізоляції проводів відносно землі і однакових ємностях проводів на землю;
- в електроустановках з постійним чергуванням оперативного персоналу за наявності пристроїв контролю ізоляції і можливості швидкого виявлення та усунення пошкодження ізоляції забезпечують більш високу надійність і живучість системи електропостачання.

Трифазні електричні мережі з ізольованою нейтраллю у порівнянні з мережами з глухозаземленою нейтраллю:

- менш небезпечні в нормальному режимі при достатньо високому опорі ізоляції фаз відносно землі та малій ємності фаз на землю;
- більш небезпечні в аварійному режимі замикання однієї з фаз на землю (заземлений корпус електроприймача) і торканні людини до струмовідних частин іншої фази (корпусу іншого електроприймача з пошкодженою ізоляцією іншої фази);
- в електроустановках з постійним чергуванням оперативного персоналу за наявності пристроїв контролю ізоляції

і можливості швидкого виявлення та усунення пошкоджень ізоляції забезпечують не тільки більшу безпеку експлуатації електроустановок, але і більш високу надійність і живучість систем електропостачання відповідальних споживачів.

4.5. Вибір схеми мережі і режиму нейтралі

Схема мережі, а, отже, і режим нейтралі джерела струму, що живить цю мережу, обираються за технологічними вимогами, а також за умовами безпеки.

При напрузі до 1000 В, як вказувалося в п.4.1.3, поширення набули дві схеми трифазних мереж: трипроводова з ізольованою нейтраллю й чотирипроводова із глухо заземленою нейтраллю.

За технологічними вимогами перевага, як правило, віддається чотирипроводовій мережі, оскільки вона дозволяє використовувати дві робочих напруги – лінійну й фазну. Наприклад, від чотирипроводової мережі 380 В можна жити як силове навантаження – трифазне або однофазне, вмикаючи його між фазними проводами на лінійну напругу 380 В, так і освітлювальне, вмикаючи його між фазним і нульовим проводами, тобто на фазну напругу 220 В. При цьому досягається значне здешевлення електроустановки в цілому завдяки застосуванню меншого числа трансформаторів, меншого перерізу проводів і т.п.

За умовами безпеки вибір однієї із двох схем здійснюється з урахуванням висновків, отриманих при розгляді цих мереж, а саме: за умовами дотику до фазного проводу в період нормального режиму роботи мережі більш безпечна, як правило, мережа з ізольованою нейтраллю, а в аварійний період – мережа із глухозаземленою нейтраллю.

Тому мережі з ізольованою нейтраллю доцільно застосовувати на об'єктах з підвищеною небезпекою ураження струмом і в тих випадках, коли є можливість підтримувати високий рівень ізоляції проводів мережі щодо землі й коли ємність проводів щодо землі незначна. Такими є порівняно короткі мережі, що не підпадають під дію агресивного середовища та перебувають під постійним наглядом електротехнічного персоналу, наприклад, мережі невеликих підприємств, мережі електротехнічних лабораторій тощо.

ПУЕ рекомендують використовувати трифазні трипроводові мережі з ізольованою нейтраллю при підвищених вимогах безпеки (для пересувних установок, торф'яних розробок, шахт і т.п.), а також при застосуванні трифазного струму з напругою 660 В.

Мережі із глухозаземленою нейтраллю (чотирипроводові) необхідно застосовувати там, де неможливо забезпечити добру ізоляцію проводів (через високу вологість, агресивне середовище, велику довжину й т.п.), коли не можна швидко відшукати або усунути пошкодження ізоляції або коли ємнісні струми замикання на землю досягають значень, небезпечних для людини. Прикладом таких мереж можуть служити мережі великих промислових підприємств, міські й сільські мережі, мережі власних потреб електростанцій і т.п.

Що стосується рекомендацій МЕК, то слід зауважити, що системи заземлення типу TN є найбільш поширеними. При цьому їхня модифікація TN-C найбільш розповсюджена, оскільки вона є найдешевшою. Однак у теперішній час необхідно застосовувати мережі із системою заземлення TN-C-S або TN-S, оскільки вони забезпечують вищий рівень безпеки.

При напрузі вище 1000 В технологічні вимоги до вибору режиму нейтралі обумовлені рядом обставин, у тому числі впливом режиму нейтралі на характер і рівень внутрішніх перенапруг.

Електричні мережі напругою вище 1000 В, згідно з ПУЕ, поділяються на мережі з малими струмами замикання на землю ($I_3 \leq 500$ А), до яких належать мережі, що працюють з ізольованою або компенсованою нейтраллю, та мережі з великими струмами замикання на землю ($I_3 > 500$ А), які працюють з глухозаземленою нейтраллю.

Мережі напругою до 35 кВ включно, як правило, працюють з ізольованою або компенсованою нейтраллю, а мережі напругою 110 кВ і більше – з глухозаземленою нейтраллю. Мережі з ізольованою або компенсованою нейтраллю мають важливу перевагу – вони не вимагають негайного відмикання пошкодженої ділянки мережі при однофазних замиканнях на землю і можуть працювати із заземленою фазою протягом декількох годин.

Основний недолік мереж з ізольованою нейтраллю – виникнення дуги в місці замикання, яка спричиняє появу

перенапруг, тривала дія яких на ізоляцію приводить до переходу однофазних замикань у дво- та трифазні короткі замикання і до порушення живлення споживачів.

Прагненню підвищити надійність роботи мереж відповідає вимога ПУЕ про те, щоб розвинені мережі напругою до 35 кВ включно працювали з компенсацією ємнісного струму замикання на землю. У таких мережах перенапруги при дугових замиканнях на землю не створюють небезпеки для ізоляції.

Мережі з глухозаземленою нейтраллю застосовують при напругах 110 кВ і вище. В таких мережах рівень ізоляції апаратів нижче, оскільки напруга фаз по відношенню до землі при будь-яких режимах не вище U_{ϕ} . Виключаються також переміжні дуги. Нема необхідності в пристроях контролю стану ізоляції. Все це значно зменшує вартість таких мереж.

За умовами безпеки в мережах напругою вище 1000 В заземлена нейтраль також переважніше, незважаючи на те що в таких мережах внаслідок великої ємності проводів щодо землі захисна роль їхньої ізоляції повністю втрачається, й для людини однаково небезпечний дотик до проводу мережі як з ізольованою, так і із заземленою нейтраллю.

Справа в тому, що в мережах вище 1000 В з ізольованою нейтраллю при дугових замиканнях фази на землю навколо місця замикання можуть виникати й довгостроково існувати високі потенціали, тобто великі напруги дотику й кроку, небезпечні для людей. У випадку ж заземленої нейтралі відбудеться швидке вимкнення пошкодженої ділянки релейним захистом і тим самим буде усунута виникла небезпека. З метою зменшення небезпеки, що виникає при замиканні фази на землю, у мережах вище 1000 В з ізольованою нейтраллю повинна бути передбачена можливість швидкого відшукування замикань на землю.

Крім того, у тих випадках, коли на об'єктах, що живляться від таких ліній, ймовірність замикань на землю велика (торф'яні розробки, пересувні підстанції і механізми і т.п.), ці лінії забезпечуються захистом від замикань на землю з дією на вимикання.

Контрольні питання

1. Дайте визначення електричної мережі.
2. Яке головне призначення електричних мереж?
3. Як класифікуються електричні мережі?
4. Охарактеризуйте місцеві та районні електромережі.
5. Дайте визначення номінальної напруги мережі.
6. Охарактеризуйте розімкнені і замкнені мережі.
7. Дайте визначення нейтралі трансформатора.
8. Назвіть режими нейтралі мереж різних напруг.
9. Як здійснюється вибір режиму нейтралі в електричних мережах?
10. Як розподіляються електричні мережі напругою вище 1000 В за величиною струму замикання на землю?
11. Прокоментуйте режим електромережі з компенсованою нейтраллю.
12. Прокоментуйте режим електромережі з глухозаземленою нейтраллю.
13. Назвіть типи систем заземлення трифазних електричних мереж змінного струму напругою до 1000 В відповідно до вимог МЕК.
14. Прокоментуйте систему заземлення TN.
15. Прокоментуйте систему заземлення TT.
16. Прокоментуйте систему заземлення IT.
17. Як змінюється струм, що протікає через тіло людини, при однофазному дотику в глухозаземленій мережі зі змінною опорю заземлення нейтралі?
18. Векторна діаграма напруг електромережі з глухозаземленою нейтраллю в аварійному режимі (замикання фази C).
19. Схема проходження струмів через тіло людини при однофазному дотику в електромережі з глухозаземленою нейтраллю.
20. Схема проходження струмів через тіло людини при двофазному дотику в електромережі з ізольованою нейтраллю.
21. Розрахункова формула струму, що протікає через тіло людини, при однофазному дотику в електромережі з ізольованою нейтраллю.

22. Розрахункова формула струму, що протікає через тіло людини, при двофазному дотику в електромережі з ізольованою нейтраллю.

23. Розрахункова формула струму, що протікає через тіло людини, при однофазному дотику в електромережі з глухозаземленою нейтраллю.

24. Розрахункова формула струму, що протікає через тіло людини, при двофазному дотику в електромережі з глухозаземленою нейтраллю.

25. Розрахункова формула струму, що протікає через тіло людини, при однофазному дотику в електромережі з глухозаземленою нейтраллю в аварійному режимі.

26. Від яких параметрів залежить величина струму, що протікає через тіло людини, у таких випадках:

- при двофазному дотику в мережі з ізольованою нейтраллю;
- при двофазному дотику в мережі з глухозаземленою нейтраллю;
- при однофазному дотику в мережі з ізольованою нейтраллю;
- при однофазному дотику в мережі з глухозаземленою нейтраллю.

27. Як зміниться напруга на корпусі установки в мережі з ізольованою нейтраллю, якщо опір заземлення зросте від 4 до 10 Ом?

28. Людина доторкнулася до однофазної мережі, ізольованої від землі. Оцініть небезпеку цього дотику.

29. Людина доторкнулася до однієї з фаз трифазної чотирипроводової мережі з глухозаземленою нейтраллю. Оцініть небезпеку цього дотику.

30. Людина доторкнулася до двох фаз трифазної трипроводової мережі з ізольованою нейтраллю. Оцініть небезпеку цього дотику.

ТЕСТИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Назвіть величину змінного відчутного струму:
 - а) 0,1 – 0,3 мА;
 - б) 0,3 – 0,5 мА;
 - в) 0,6 – 1,5 мА;
 - г) 1,6 – 2,1 мА.

2. Назвіть величину невідпускаючого змінного струму:
 - а) 1,6 – 2,1 мА;
 - б) 2 – 3 мА;
 - в) 5 – 7 мА;
 - г) 10 – 15 мА.

3. Назвіть величину фібриляційного змінного струму:
 - а) 20 – 30 мА;
 - б) 30 – 50 мА;
 - в) 50 – 80 мА;
 - г) 100 мА і більше.

4. Як впливає рід струму на наслідок ураження:
 - а) не впливає;
 - б) при напрузі $> 400\text{--}500\text{ В}$ постійний струм небезпечніший за змінний;
 - в) при напрузі $> 400\text{--}500\text{ В}$ змінний струм небезпечніший постійного;
 - г) впливає незначно.

5. Назвіть найбільш небезпечний шлях протікання струму через тіло людини:
 - а) рука – рука;
 - б) нога – нога;
 - в) голова – рука;
 - г) рука – нога.

6. Яка мережа небезпечніша в нормальному режимі: з ізолюваною або з глухозаземленою нейтраллю?
 - а) з ізолюваною нейтраллю;

- б) з глухозаземленою нейтраллю;
- в) обидві мережі не є небезпечними;
- г) обидві мережі небезпечні.

7. Яке ввімкнення в мережу найбільш небезпечне?

- а) однофазне;
- б) двофазне;
- в) трифазне;
- г) між фазою і нульовим проводом.

8. Як залежить R_h від стану шкіри?

- а) не залежить;
- б) збільшується при наявності вологи на поверхні;
- в) зменшується при наявності вологи на поверхні;
- г) зменшується при відсутності вологи на поверхні.

9. Як впливає фізичне подразнення на R_h ?

- а) не впливає;
- б) викликає короточасне зниження R_h ;
- в) викликає короточасне збільшення R_h ;
- г) впливає незначно.

10. Як впливає зменшення парціального вмісту кисню у повітрі на R_h ?

- а) не впливає;
- б) збільшує R_h ;
- в) зменшує R_h ;
- г) впливає незначно.

11. Який R_h у жінок порівняно з чоловіками?

- а) менший, ніж у чоловіків;
- б) більший, ніж у чоловіків;
- в) однаковий;
- г) відрізняється незначно.

12. Чим визначається опір тіла людини?

- а) опором м'язових тканин;
- б) опором жирових тканин;

- в) опором кісток;
- г) опором шкіри.

13. Чим пояснюється зростання струму зі збільшенням часу його дії (виключити зайве)?

- а) збільшенням напруги;
- б) зменшенням опору тіла людини;
- в) пробоем шкіри;
- г) зростанням наслідків впливу струму на живий організм.

14. Скільки вдювань потрібно зробити в одну хвилину при штучному диханні «з рота в рот»?

- а) 5 – 8;
- б) 8 – 10;
- в) 10 – 12;
- г) 12 – 14.

15. Частота надавлювання на грудину при виконанні масажу серця:

- а) 1 раз у 0.5 с;
- б) 1 раз у 1 с;
- в) 2 рази у 1 с;
- г) 1 раз у 2 с.

16. Вкажіть найбільше значення U_d у випадку одиночного заземлювача:

- а) при $x = 0$;
- б) при $x = 10$ м;
- в) при $x = 20$ м;
- г) при $x = 30$ м.

17. Вкажіть найменше значення U_d у випадку одиночного заземлювача:

- а) при $x = 0$;
- б) при $x = 10$ м;
- в) при $x = 20$ м;
- г) при $x = 30$ м.

18. Вкажіть найменше значення $U_{кр}$ у випадку одиночного заземлювача:

- а) при $x = 0$;
- б) при $x = 10$ м;
- в) при $x = 20$ м;
- г) при $x = 40$ м.

19. Назвіть найбільш небезпечний шлях струму у тілі людини:

- а) рука – рука;
- б) нога – нога;
- в) голова – руки;
- г) ліва рука – ноги.

20. Назвіть величину смертельного струму:

- а) ≥ 10 мА;
- б) ≥ 1 А;
- в) ≥ 5 А;
- г) ≥ 10 А;

21. Яке розрахункове значення R_h ?

- а) 0,5 Ом;
- б) 100 Ом;
- в) 1000 Ом;
- г) 10000 Ом.

22. За яких умов R_h різко зменшується?

- а) при зменшенні відносної вологості повітря;
- б) при збільшенні відносної вологості повітря;
- в) при зменшенні температури повітря;
- г) при збільшенні парціального тиску кисню в повітрі.

23. Назвіть величину постійного відчутного струму:

- а) 2 мА;
- б) 4 мА;
- в) 6 мА;
- г) 8 мА.

24. Назвіть величину невідпускаючого постійного струму:

- а) 30 – 50 мА;
- б) 50 – 80 мА;
- в) 80 – 100 мА;
- г) 100 – 130 мА.

25. Назвіть величину фібриляційного постійного струму:

- а) 100 мА;
- б) 200 мА;
- в) 300 мА;
- г) 400 мА.

Частина 2. ТЕХНІЧНІ СПОСОБИ І ЗАСОБИ ЗАХИСТУ ВІД УРАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ

Захист людей від ураження електричним струмом забезпечується не лише конструкцією електроустановок, але й різними технічними способами і засобами.

Для захисту від ураження електричним струмом у нормальному режимі або у випадку пошкодження ізоляції повинні бути застосовані окремо або в сполученні такі **технічні способи захисту**:

- захисне заземлення;
- занулення;
- захисне вимикання;
- електричне розділення мереж;
- застосування малої напруги;
- вирівнювання потенціалів;
- ізоляція струмовідних частин;
- використання огорож, блокувань, засобів попередження про небезпеку.

Крім того, для захисту від ураження працівників електричним струмом застосовуються такі **технічні засоби захисту**, як стаціонарні захисні пристрої, електрозахисні засоби, засоби захисту від впливу електромагнітних полів, засоби індивідуального та колективного захисту.

Технічні способи і засоби захисту обирають з урахуванням:

- номінальної напруги, роду і частоти електричного струму;
- способу електропостачання;
- режиму нейтралі джерела живлення електроенергією;
- виду виконання електроустановки;
- умов зовнішнього середовища;
- можливості зняття напруги зі струмовідних частин, на яких або поблизу яких повинна проводитися робота;
- характеру можливого дотику людини до елементів кола струму;
- можливості наближення до струмовідних частин, які перебувають під напругою, на відстані менше допустимої, або попадання в зони розтікання струму;

– видів робіт.

Галузі застосування технічних способів захисту визначені ПУЕ, технічні способи указані в нормативно-технічній документації на електроустановки. Перелічені способи захисту повинні застосовуватись окремо або в поєднанні один з одним, але вони не є універсальними.

Ефективність застосування технічних способів та засобів захисту залежить від ступеня небезпеки ураження електричним струмом, типу електроустановки та режимів її роботи, а також від умов експлуатації.

Розглянемо ці питання більш докладно.

Розділ 5

ЗАХИСНЕ ЗАЗЕМЛЕННЯ

5.1. Призначення, принцип дії і галузь застосування захисного заземлення

Захисне заземлення – спеціальне (навмисне) електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих неструмовідних частин електроустановок, які не знаходяться під напругою в звичайних умовах, але які можуть опинитися під напругою внаслідок порушення ізоляції електроустановки і з інших причин (індуктивний вплив сусідніх струмовідних частин, винос потенціалу, розряд блискавки й т.п.), виконане з метою забезпечення електробезпеки працівників.

Еквівалентом землі може бути вода ріки або моря, кам'яне вугілля в корінному заляганні тощо.

Призначення захисного заземлення – усунення небезпеки ураження електричним струмом у випадку дотику до корпусу електроустановки й до інших неструмовідних металевих частин, які опинилися під напругою внаслідок замикання на корпус і з інших причин.

Захисне заземлення необхідно відрізняти від робочого заземлення й заземлення блискавкозахисту.

Робоче заземлення – навмисне електричне з'єднання із землею окремих точок електричного кола, наприклад нейтральних

точок обмоток генераторів, силових і вимірювальних трансформаторів, дугогасильних апаратів, реакторів поперечної компенсації в лініях електропередачі великої довжини, а також фази при використанні землі як фазного або зворотного проводу. Робоче заземлення призначене для забезпечення належної роботи електроустановки в нормальних або аварійних умовах і здійснюється безпосередньо (тобто шляхом з'єднання провідником частин, що заземлюються, із заземлювачем) або через спеціальні апарати – пробивні запобіжники, розрядники, резистори й т.п.

Заземлення блискавкозахисту – навмисне електричне з'єднання із землею блискавкоприймачів і розрядників з метою відведення від них струмів блискавки в землю.

Принцип дії захисного заземлення – зниження до безпечних значень напруг дотику й кроку, обумовлених замиканням на корпус і іншими причинами. Це досягається шляхом зменшення потенціалу заземленого устаткування (зменшенням опору заземлювача), а також шляхом вирівнювання потенціалів основи, на якій стоїть людина, і заземленого устаткування (підйомом потенціалу основи, на якій стоїть людина, до значення, близького до значення потенціалу заземленого устаткування).

Галузь застосування захисного заземлення:

мережі напругою до 1000 В змінного струму – трифазні трипроводові з ізольованою нейтраллю або ізольованим виводом джерела однофазного струму, а також постійного струму двопроводові з ізольованою середньою точкою обмоток джерела струму;

мережі напругою вище 1000 В змінного і постійного струмів з будь-яким режимом нейтральної або середньої точки обмоток джерел струму (рис. 5.1).

Захисне заземлення є найбільш простим і в той же час достатньо ефективним заходом захисту від ураження струмом при появі напруги на металевих неструмовідних частинах.

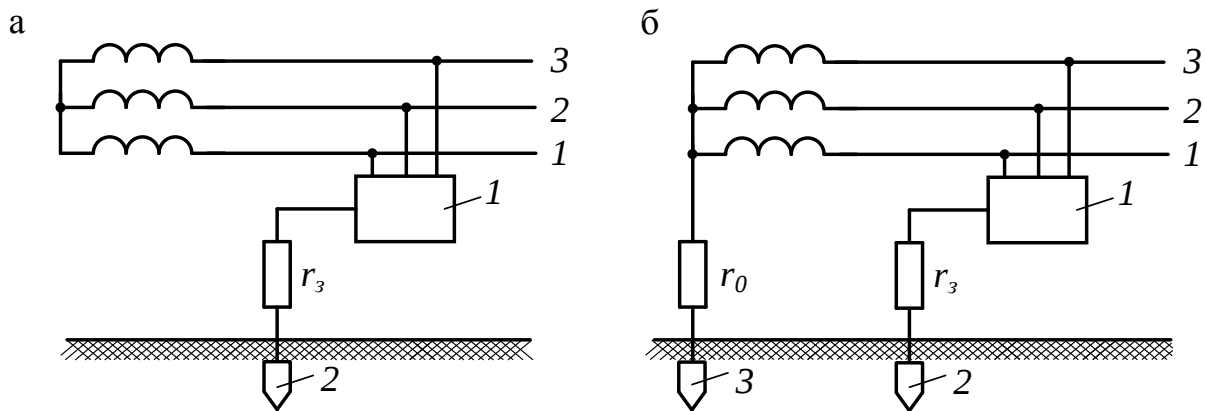


Рис. 5.1. Принципові схеми захисного заземлення в мережах трифазного струму: а – у мережі з ізольованою нейтраллю напругою до 1000 В і вище; б – у мережі із глухозаземленою нейтраллю напругою вище 1000 В; 1 – заземлене устаткування; 2 – заземлювач захисного заземлення; 3 – заземлювач робочого заземлення; r_0 , r_3 – опори робочого й захисного заземлень

5.2. Типи заземлювальних пристроїв

Заземлювальним пристроєм називається сукупність заземлювача – провідників (електродів), що перебувають у безпосереднім зіткненні із землею, металево з'єднаних між собою, і заземлювальних провідників, що з'єднують частини електроустановки, що заземлюються, із заземлювачем.

Залежно від місця розміщення заземлювача відносно устаткування, що заземлюється, розрізняють два типи заземлювальних пристроїв: виносний й контурний.

Виносний заземлювальний пристрій (рис. 5.2) характеризується тим, що заземлювач його винесений за межі майданчика, на якому розміщене устаткування, яке заземлюється, або зосереджений на деякій частині цього майданчика. Тому виносний заземлювальний пристрій називають також зосередженим.

Захисна дія виносного заземлювального пристрою досягається тільки в зменшенні потенціалу устаткування, що заземлюється. Істотний недолік виносного заземлювального пристрою – віддаленість заземлювача від устаткування, що захищається, внаслідок чого на всій або на частині території, що захищається, напруга дотику дорівнює потенціалу заземлювача.

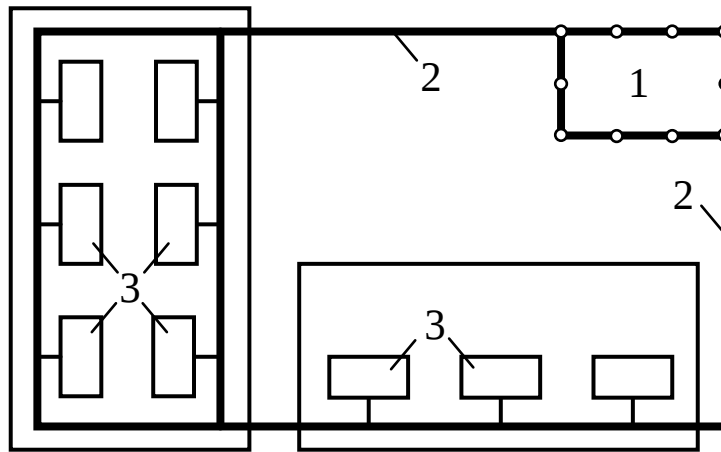


Рис. 5.2. Виносний заземлювальний пристрій: 1 – заземлювач; 2 – заземлювальні провідники (магістралі); 3 – устаткування, яке заземлюється

Тому заземлювальні пристрої цього типу застосовуються лише при малих струмах замикання на землю, зокрема в установках напругою до 1000 В, де потенціал заземлювача не перевищує значення допустимої напруги дотику.

Крім того, при великій відстані до заземлювача може значно зрости опір заземлювального пристрою в цілому за рахунок опору заземлювального провідника.

Перевагою виносного заземлювального пристрою є можливість вибору місця розміщення електродів заземлювача з найменшим опором ґрунту (сире, глинисте, у низинах і т.п.). При цьому зменшується потенціал заземлювача, а, отже, і напруга дотику до устаткування, яке заземлюється.

Необхідність у пристрої виносного заземлення може виникнути в таких випадках: при неможливості з якихось причин розмістити заземлювач на території, що захищається; при високому опорі землі на даній території (наприклад, піщаний або скелястий ґрунт) і наявності поза цією територією місць зі значно кращою провідністю землі; при розосередженому розташуванні устаткування, що заземлюється, (наприклад, у гірських виробітках) і т.п.

Контурний заземлювальний пристрій характеризується тим, що електроди його заземлювача розміщуються по контуру (периметру) майданчика, на якому перебуває устаткування, яке заземлюється, а також усередині цього майданчика. Часто

електроди розподіляються на майданчику по можливості рівномірно, і тому контурний заземлювальний пристрій називається також розподіленим.

Безпека при розподіленому заземлювальному пристрої може бути забезпечена не тільки зменшенням потенціалу заземлювача, а й вирівнюванням потенціалу на території, що захищається, до такого значення, щоб максимальні напруги дотику й кроку не перевищували припустимих. Це досягається шляхом відповідного розміщення одиночних заземлювачів на території, що захищається.

Усередині приміщень вирівнювання потенціалу відбувається природним шляхом завдяки металевим конструкціям, трубопроводам, кабелям і їм подібним провідним предметам, зв'язаним з розгалуженою мережею заземлення. Арматура залізобетонних будівель також впливає на вирівнювання потенціалу.

5.3. Виконання заземлювальних пристроїв

5.3.1. Заземлювачі

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

Для **штучних** заземлювачів застосовують звичайно вертикальні й горизонтальні електроди.

Як вертикальні електроди використовують сталеві труби діаметром 5 – 6 см з товщиною стінки не менше 3,5 мм і кутову сталь із товщиною полиць не менш 4 мм (звичайно це кутова сталь розміром від 40х40 мм до 60х60 мм) відрізками довжиною 2,5–3,0 м. Широкого застосування набуває також пруткова сталь діаметром не менш 10 мм, довжиною до 10 м, а іноді й більше.

Для зв'язку вертикальних електродів і як самостійний горизонтальний електрод застосовують смугову сталь перерізом не менше 4х12 мм і сталь круглого перерізу діаметром не менше 6 мм.

Розміщення електродів виконують відповідно до проекту. Заземлювачі не слід розміщати поблизу гарячих трубопроводів і

інших об'єктів, що викликають висихання ґрунту, а також у місцях, де можливе просочення ґрунту нафтою, мастилами й т.п., оскільки в таких місцях опір ґрунту різко зростає.

У випадку небезпеки посиленої корозії заземлювачів необхідно застосовувати електроди збільшеного перерізу або оцинковані чи обміднені. У деяких (досить рідких) випадках доцільно виконати електричний захист заземлювачів від корозії.

Для установалення вертикальних заземлювачів попередньо риють траншею глибиною 0,7–0,8 м, після чого труби або кутки забивають механізмами – копрами, гідропресами й т.п. (рис. 5.3).

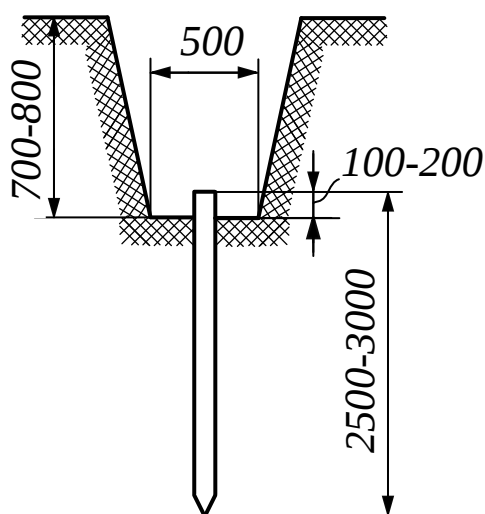


Рис. 5.3. Установлення стрижневого електрода в траншеї

Сталеві стрижні діаметром 10–12 мм, довжиною 4–4,5 м ввертають у землю за допомогою спеціальних пристосувань, а більш довгі заглиблюють вібраторами. Верхні кінці занурених у землю вертикальних електродів з'єднують сталеву смугою на зварюванні. При цьому смугу встановлюють на ребро, тому що в такому положенні її зручніше приварити до вертикальних електродів, і вона має кращий контакт із землею. У таких же траншеях прокладають і горизонтальні електроди. У цьому випадку електроди зі смугової сталі також рекомендується ставити на ребро. Траншеї засипають землею, очищеною від щебеню і будівельного сміття, з наступним ретельним трамбуванням, що знижує опір розтіканню заземлювача, а отже, дає економію металу. Штучні заземлювачі можуть бути також виконані з електропровідного бетону.

Як природні заземлювачі можуть використовуватися прокладені в землі водопровідні й інші металеві труби (за винятком трубопроводів горючих рідин, горючих або вибухонебезпечних газів), обсадні труби артезіанських колодязів, свердловин, шурфів і т.п.; металеві й залізобетонні конструкції будівель і споруд, що мають з'єднання із землею; свинцеві оболонки кабелів, прокладених у землі*; металеві шпунти гідротехнічних споруд і т.п.

Як природні заземлювачі підстанцій і розподільних установок використовують заземлювачі опор повітряних ліній електропередачі, що відходять, з'єднані за допомогою заземлень грозозахисних тросів ліній з заземлювальним пристроєм підстанції.

Останнім часом як природні заземлювачі використовують залізобетонні елементи опор повітряних ліній, які мають провідність таку, як і навколишні шари землі, що забезпечує стабільні значення опору розтікання металевої арматури, яка відіграє роль електродів заземлювача опори.

Природні заземлювачі мають, як правило, малий опір розтіканню струму, і тому використання їх для заземлення дає досить відчутну економію металу. Природні заземлювачі можна використовувати без штучних, якщо вони забезпечують значення опору розтіканню струму, що вимагається Правилами улаштування електроустановок.

Недоліками природних заземлювачів є доступність деяких з них неелектротехнічному персоналу й можливість порушення безперервності з'єднання протяжних заземлювачів (при ремонтних роботах і т.п.).

5.3.2. Заземлювальні провідники

Як заземлювальні провідники, призначені для з'єднання частин, що заземлюються, із заземлювачами, застосовують, як правило, смугову сталь і сталь круглого перерізу. **Переріз заземлювальних провідників** у мережах напругою до 1000 В й вище з ізолюваною нейтраллю повинний бути не менше

* Алюмінієві оболонки кабелів і алюмінієві провідники не допускається використовувати як природні заземлювачі.

встановленого ПУЕ, а їхня провідність повинна бути не менше $1/3$ провідності фазних провідників. Наприклад, найменший переріз сталевий прямокутної шини при прокладенні її усередині будівлі становить 24 мм^2 , а при прокладенні поза будівлею або в землі – 48 мм^2 ; для круглої сталі найменший діаметр дорівнює 5 мм при прокладенні в будівлях, 6 мм – у зовнішніх установках, 10 мм – у землі. У виробничих приміщеннях з електроустановками напругою до 1000 В й вище магістралі заземлення (заземлювальний провідник із двома або більше відгалуженнями) зі сталевий смуги повинні мати переріз не менше 100 мм^2 . Допускається застосування сталі круглого перерізу тієї ж провідності. Як правило, не потребується застосування мідних провідників перерізом більше 25 мм^2 , алюмінієвих – більше 35 мм^2 і сталевих – більше 120 мм^2 .

Рекомендується з метою економії металу використовувати як заземлювальні провідники так звані природні провідники – металеві конструкції будівель і споруд: ферми, колони, підкранові колії, каркаси розподільних пристроїв, шахти підйомників, ліфтів і елеваторів, а також обрамлення каналів, сталеві труби електропроводок, металеві кожухи й опорні конструкції шинопроводів, металеві стаціонарні відкрито прокладені трубопроводи всіх призначень (крім трубопроводів горючих і вибухонебезпечних речовин і сумішей, каналізації й центрального опалення).

Прокладення заземлювальних провідників здійснюється відкрито по конструкціях будівель, у тому числі по стінах. При цьому в приміщеннях сухих без агресивного середовища заземлювальні провідники допускається прокладати безпосередньо по стінах. У вологих, сирих і особливо сирих приміщеннях, а також у приміщеннях з агресивним середовищем заземлювальні провідники необхідно прокладати на відстані не менш 10 мм від стін (рис. 5.4).

У зовнішніх установках магістралі заземлення й відгалуження від них повинні бути доступні для огляду. Це вимога не поширюється на оболонки кабелів, арматуру залізобетонних конструкцій, а також на заземлювальні провідники, прокладені в трубах, коробах і безпосередньо в тілі будівельних конструкцій (замонолічені). Відгалуження від магістралей до

електроприймачів напругою до 1000 В допускається прокладати приховано безпосередньо в стіні, під чистою підлогою й т.п. з попереднім захистом їх від впливу агресивних середовищ. Такі відгалуження не повинні мати з'єднань.

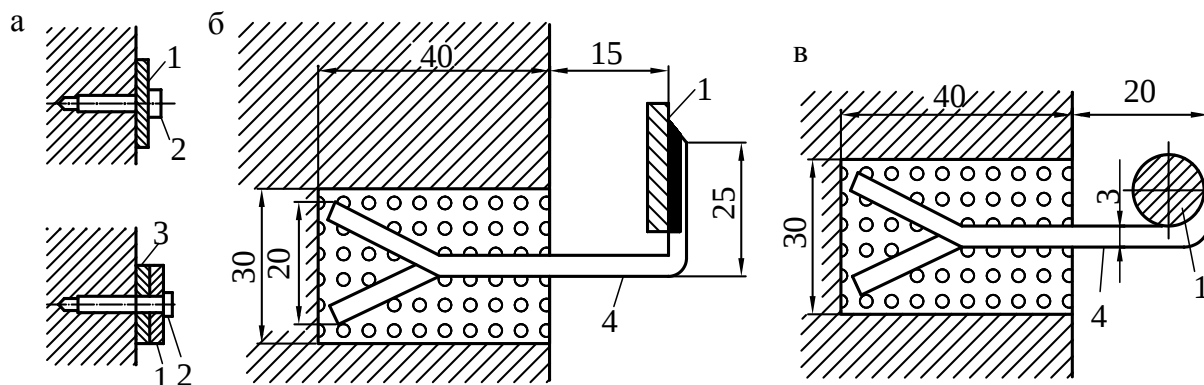


Рис. 5.4. Приклади кріплення сталевих заземлювальних провідників на стіні:

а – безпосередньо по стіні (у приміщеннях без агресивного середовища); б, в – на відстані від стін (у вологих, сирих і особливо сирих приміщеннях, а також у приміщеннях з агресивним середовищем); 1 – заземлювальний провідник; 2 – дюбель; 3 – підкладка; 4 – скоба

У зовнішніх установках заземлювальні провідники допускається прокладати в землі, у підлозі, а також по краю майданчиків фундаментів технологічних установок і т.п.

Приєднання устаткування, що заземлюється, до магістралі заземлення здійснюється за допомогою окремих провідників. При цьому послідовне ввімкнення устаткування, що заземлюється, не допускається (рис. 5.5). Заземлення окремих електродвигунів, апаратів й іншого устаткування, установлених безпосередньо на металевих верстатах таких, що мають із металом верстатів надійний контакт, може здійснюватися шляхом приєднання станини верстатів до заземлювальної магістралі.

З'єднання заземлювальних провідників між собою, а також із заземлювачами й конструкціями, що заземлюються, виконуються, як правило, зварюванням, а з корпусами апаратів, машин і іншого устаткування – зварюванням або за допомогою болтів (рис. 5.6–5.8). При цьому приєднання заземлювальної магістралі до

заземлювача – штучного або природного – виконується у двох місцях.

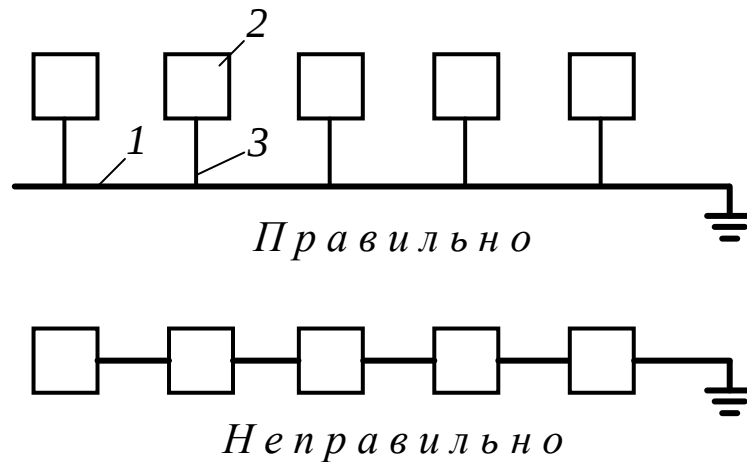


Рис. 5.5. Схема приєднання об'єктів, що заземлюються, до заземлювальної магістралі: 1 – заземлювальна магістраль; 2 – обладнання, що заземлюється; 3 – провідник – відгалуження від заземлювальної магістралі

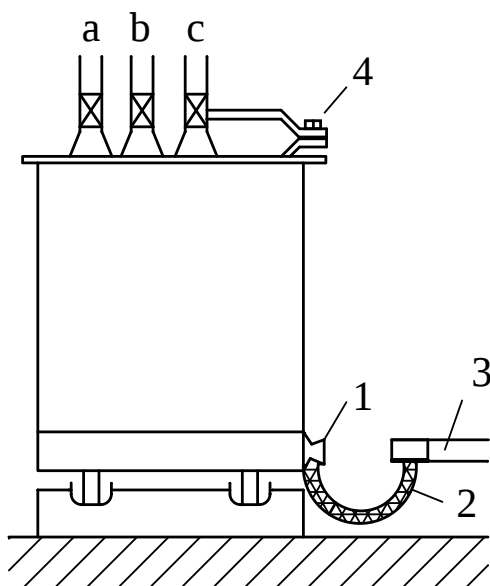


Рис. 5.6. Заземлення бака силового трансформатора з ізольованою нейтраллю: 1 – заземлювальний болт; 2 – гнучка перемичка; 3 – відгалуження від заземлювальної магістралі; 4 – пробивний запобіжник

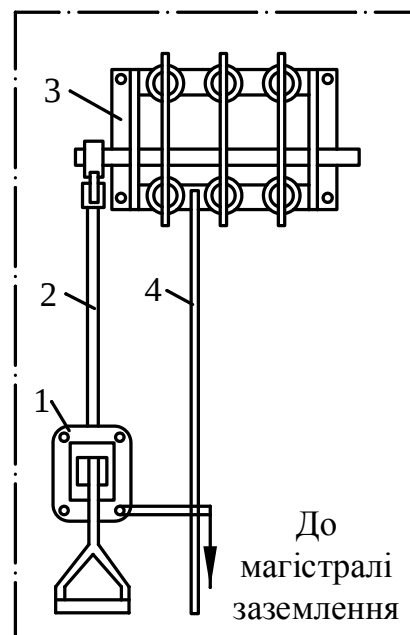


Рис. 5.7. Заземлення рами й привода триполюсного роз'єднувача: 1 – плита привода; 2 – тяга; 3 – рама; 4 – заземлювальна шина

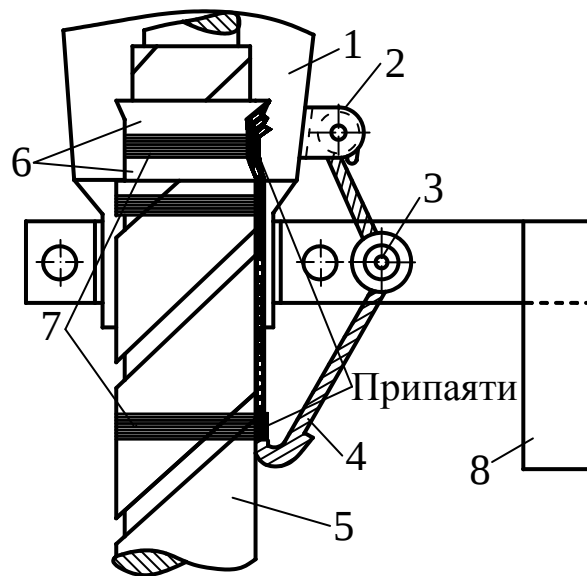


Рис. 5.8. Заземлення оболонки й броні кабелю в кінцевому закладенні: 1 – лійка сталева; 2 – пластинка, за допомогою якої здійснюється заземлення лійки; 3 – болт заземлення; 4 – мідний неізолюваний гнучкий провід; 5 – броня кабелю; 6 – свинцева оболонка; 7 – бандажі; 8 – заземлювальна шина

Розпізнавальним кольором заземлювальної мережі є чорний колір, у який мають бути пофарбовані всі заземлювальні провідники, конструкції й смуги заземлення, які розміщені відкрито.

5.3.3. Обладнання, яке підлягає заземленню

Заземленню підлягають електроустановки в залежності від їх номінальної напруги та розташування (табл. 5.1). Галузь застосування захисного заземлення – трифазні трипроводові мережі напругою до 1000 В з ізолюваною нейтраллю та трифазні трипроводові мережі напругою вище 1000 В з будь-яким режимом нейтралі. В трифазних чотирипроводових мережах напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю застосовують занулення.

Заземлення або занулення електроустановок **не вимагається** за номінальної напруги до 42 В змінного і до 110 В постійного струму, за винятком електроустановок, в яких підлягають заземленню або зануленню металеві оболонки й броня контрольних кабелів і проводів, прокладених на спільних металевих конструкціях, в тому числі в спільних трубах (коробах

тощо) разом із кабелями та проводами, металеві оболонки та броня яких підлягають заземленню або зануленню.

Таблиця 5.1

Електроустановки, що підлягають заземленню або зануленню

Розташування електроустановки	Номінальна напруга електроустановки, В	
	Змінного струму	Постійного струму
Електроустановки в будь-яких приміщеннях	380 і більше	440 і більше
Електроустановки в приміщеннях з підвищеною небезпекою та особливо небезпечних	Більше 42, але менше 380	Більше 110, але менше 440
Зовнішні електроустановки	Більше 42, але менше 380	Більше 110, але менше 440

Примітка. Класифікація приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом наведена в п.12.6.

Заземленню або зануленню відповідно до вищевикладеного **підлягають:**

- корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів, світильників тощо;
- приводи електричних апаратів;
- каркаси розподільних щитів, щитів управління, щитків і шаф, які можуть зніматися або відкриватися, а також знімні частини та частини, що відкриваються, на яких встановлено електрообладнання напругою понад 42 В змінного або понад 110 В постійного струму;
- металеві конструкції розподільних пристроїв, металеві кабельні конструкції і з'єднувальні муфти, металеві оболонки та броня контрольних й силових кабелів, металеві оболонки проводів, рукави і труби електропроводки, кожухи й опорні конструкції шинопроводів, лотки, короби, струни, троси і сталеві смуги, на яких укріплені кабелі й проводи (крім струн, тросів й смуг, по яких прокладені кабелі із заземленою або зануленою

металевою оболонкою або бронею), а також інші металеві конструкції, на яких встановлюється електрообладнання;

- металеві корпуси пересувних та переносних електроприймачів;

- електрообладнання, яке розміщене на частинах станків, машин і механізмів, що рухаються.

Усі відкриті провідні частини в електроустановках вище 1000 В повинні бути заземлені, а в електроустановках до 1000 В – приєднані до захисного РЕ-провідника, відповідно до типу заземлення системи (TN, TT, IT).

Заземленню або зануленню не підлягають:

- корпуси електрообладнання, апаратів та електромонтажних конструкцій, установлених на заземлених або занулених металевих конструкціях розподільних пристроїв, на щитах, шафах, щитках, станинах станків, машин і механізмів, за умови забезпечення надійного електричного контакту із заземленими або зануленими основами;

- арматура ізоляторів усіх типів, відтяжок, кронштейнів і освітлювальна арматура у разі установлення їх на дерев'яних опорах повітряних ліній електропередачі і на дерев'яних конструкціях відкритих підстанцій, якщо це не вимагається умовами захисту від атмосферних перенапруг. Під час прокладання кабелю з металевою заземленою оболонкою або неізольованого заземлювального провідника на дерев'яній опорі вказана арматура, розміщена на цій опорі, повинна бути заземлена або занулена;

- частини металевих каркасів камер розподільних пристроїв, шаф, огорож тощо, які знімаються або відкриваються за умови, що на цих частинах не встановлено електрообладнання або якщо напруга встановленого електрообладнання не перевищує 42 В змінного або 110 В постійного струму;

- корпуси електроприймачів із подвійною ізоляцією;

- металеві скоби, закріпи, відрізки труб механічного захисту кабелів у місцях їх проходження через стіни й перекриття та їм подібні деталі, в тому числі протяжні та відгалужувальні коробки, розміром до 100 см², електропроводок, виконаних кабелями або ізольованими проводами, що прокладені по стінах, перекриттях і інших елементах будівель.

5.3.4. Зв'язок між заземлювальними пристроями декількох аналогічних установок різних напруг та призначень

Захисні заземлювальні пристрої аналогічних електроустановок, що одержують енергію від однієї й тієї ж мережі з ізолюваною нейтраллю, доцільно з'єднувати електрично або виконувати їх як одне ціле. Справа в тому, що при замиканні на корпус різних фаз у двох установках, що мають роздільні заземлювальні пристрої (рис. 5.9), виникає подвійне замикання на землю й заземлене устаткування опиняється під напругою щодо землі:

в установці А

$$U_A = I_3 R_A = \frac{U}{R_A + R_B} R_A;$$

в установці В

$$U_B = I_3 R_B = \frac{U}{R_A + R_B} R_B;$$

де U – лінійна напруга мережі;

R_A , R_B – опори заземлювальних пристроїв установок А і В відповідно.

При цьому $U_A + U_B = U$, а при рівності R_A і R_B напруги, що виникли на заземленому устаткуванні обох установок, виявляються однаковими:

$$U_A + U_B = 0,5 \cdot U.$$

Така напруга на заземлених елементах установок небезпечна стосовно ураження струмом, тим більше що подвійне замикання в цьому випадку може існувати довгостроково.

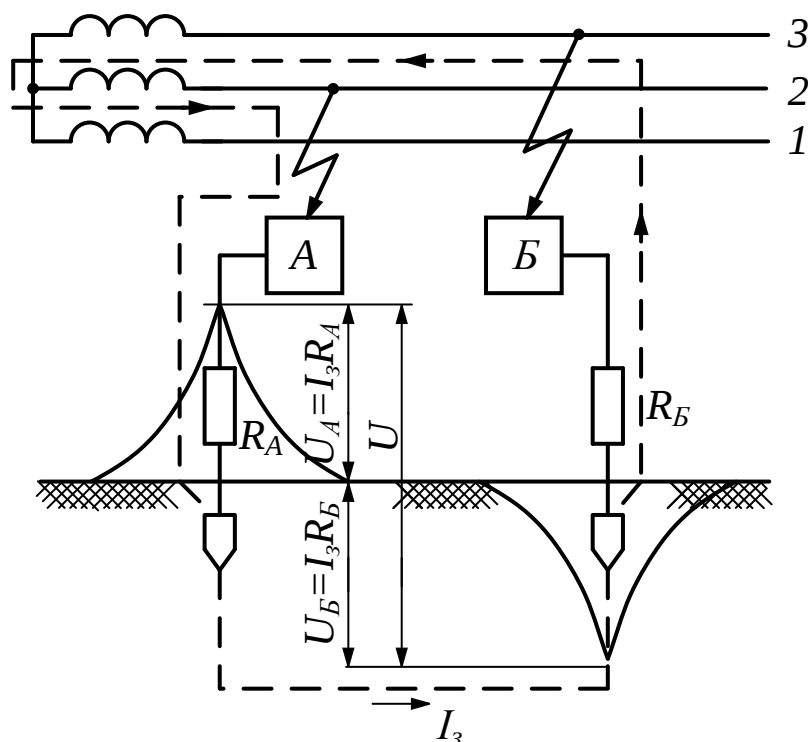


Рис. 5.9. Подвійне замикання на землю при роздільному заземленні установок, що живляться від однієї мережі з ізолюваною нейтраллю

Якщо ж заземлювальні пристрої установок А і В з'єднати за допомогою металевих шин або заземлювачі їх виконати як одне ціле, то подвійне замикання на землю перетвориться в коротке замикання між фазами, що спричинить швидке вимикання електроустановок від мережі максимальним струмовим захистом, тобто забезпечить короткочасність аварійного режиму. Разом з тим протягом аварійного періоду різко зменшиться напруга на устаткуванні, тому що при цьому значно збільшиться спад напруги на опорах обмоток трансформатора й фазних проводах внаслідок проходження через них великого струму короткого замикання.

При неможливості з'єднати заземлювальні пристрої (через великі відстані й з інших причин) необхідно оснастити ці установки релейним захистом від однофазних або подвійних замикань на землю.

Захисні заземлювальні пристрої установок різних напруг, внаслідок різних значень струмів замикання на землю, що проходять через них, опиняються в аварійний період під різними потенціалами: на заземлених частинах установок напругою до **1000 В потенціал, що виникає, не перевищує декількох десятків**

вольтів, а на заземлених частинах установок напругою **вище 1000 В** він може досягати декількох кіловольтів. Ця обставина робить доцільним спорудження окремих заземлювальних пристроїв для установок різних напруг.

Однак наявність в одному приміщенні або на одному майданчику устаткування різної номінальної напруги змушує розміщати заземлювальні провідники різних заземлювальних пристроїв по сусідству або на тих самих або зв'язаних конструкціях. Внаслідок цього у звичайних умовах практично неможливо уникнути ненавмисних з'єднань між цими провідниками. У рідких випадках, коли необхідна ізоляція досягнута, виникає загроза ураження людини через можливість одночасного дотику в аварійний період до двох предметів, пов'язаних з різними заземлювальними пристроями й які мають завдяки тому різні потенціали. Із зазначених причин заземлювальні пристрої установок різних напруг, розташованих на одній території, виконують спільно, як одне ціле.

Заземлювачі робочого й захисного заземлень необхідно з'єднувати за допомогою шин або виконувати як одне ціле. Виключення становлять заземлювачі робочого заземлення в установках напругою вище 1000 В при використанні землі як фазного або зворотного проводу. У цьому випадку заземлювачі для проходження через них робочого струму треба розташовувати окремо від заземлювачів інших призначень на ділянках, недоступних для людей і тварин. Ця вимога обумовлена тим, що даний робочий заземлювач постійно має значний потенціал, який дорівнює приблизно половині фазної напруги електроустановки.

Заземлення блискавковідводів звичайно виконують разом із захисним і робочим заземленням електроустаткування. Виключення становлять блискавковідводи*, які стоять окремо або ізольовані від будівлі, заземлювачі яких повинні бути відокремлені від заземлювачів інших призначень, а елементи їх розміщені на певній відстані від об'єкта, що захищається. Ці

* Такими блискавковідводами захищають будівлі й споруди першої категорії, тобто ті, у яких знаходяться вибухові речовини, довгостроково зберігаються або систематично утворюються суміші газів, парів або пилу з повітрям, здатні вибухнути від електричної іскри з руйнівними наслідками або з людськими жертвами.

вимоги обумовлені необхідністю виключити занесення у об'єкт, що захищається, потенціалів, які внаслідок великих струмів блискавки досягають високих значень (десятків і сотень тисяч вольтів) і можуть з'явитися причиною вибухів і пожеж.

Електричні станції, підстанції й промислові підприємства, що не належать за умовами блискавкозахисту до першої категорії, захищають від прямих ударів блискавки блискавковідводами, розташованими звичайно на спорудах, що захищаються, а іноді й блискавковідводами, що стоять окремо. У всіх зазначених випадках блискавковідводи приєднують до загального заземлювача, опір якого, як правило, задовольняє й вимоги блискавкозахисту. Однак, у місці установа блискавковідводів улаштовують місцевий заземлювач із двох-трьох електродів, з'єднаних сталевую смугою.

Мережі захисного заземлення і занулення, тобто заземлювальні та нульові захисні провідники, а також заземлювачі, які належать до двох електричних мереж, що живляться від окремих трансформаторів (один з ізольованою нейтраллю, другий з глухозаземленою нейтраллю), можуть бути загальними при будь-яких напругах установок. При цьому системи занулення і заземлення працюють незалежно одна від одної, хоч аварійні струми їх протікають одними і тими ж захисними провідниками і загальним заземлювачем.

5.4. Опір заземлювального пристрою

5.4.1. Потрібний опір заземлювального пристрою

Найбільші допустимі значення опорів заземлювальних пристроїв електроустановок, установлені ПУЕ, повинні відповідати таким вимогам.

Для установок до 1000 В

Електроустановки з глухозаземленою нейтраллю

Опір заземлювального пристрою, до якого приєднано нейтраль джерела живлення, у будь-яку пору року не повинен перевищувати 2,4 і 8 Ом відповідно для лінійних напруг 660, 380 і

220 В джерела трифазного струму або 380, 220 і 127 В джерела однофазного струму.

Електроустановки з ізолюованою нейтраллю

Опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати:

- 4 Ом в електроустановках змінного струму в разі потужності джерела живлення більшої ніж 100 кВА;
- 10 Ом в електроустановках змінного струму в разі потужності джерела живлення або сумарної потужності паралельно працюючих джерел живлення до 100 кВА усіх електроустановок постійного струму.

Для установок понад 1000 В

Електроустановки з глухозаземленою нейтраллю

Опір заземлювального пристрою має бути не більшим ніж 0,5 Ом.

Електроустановки з ізолюованою або компенсованою нейтраллю

Опір заземлювального пристрою визначається за формулою

$$R \leq \frac{250}{I_p},$$

де I_p – розрахунковий струм, за який приймають:

- в мережах з ізолюованою нейтраллю – повний струм замикання на землю;
- в мережах з компенсованою нейтраллю – струм, який дорівнює 125 % номінального струму компенсувальних пристроїв.

Визначений таким чином опір не повинен бути більшим ніж 10 Ом.

В пересувних електроустановках:

- якщо заземлювальний пристрій виконують з дотриманням вимог до його опору, значення опору має не перевищувати 25 Ом;
- якщо заземлювальний пристрій у цих установках виконується з дотриманням вимог до напруги дотику, значення опору заземлювального пристрою не нормують. У цьому разі слід дотримуватись умови

$$R \leq \frac{25}{I_3},$$

де R – опір заземлювального пристрою пересувної електроустановки;

I_3 – повний струм однофазного замикання на відкриті провідні частини пересувної електроустановки.

5.4.2. Вимірювання опору заземлювального пристрою

Опір заземлювального пристрою вимірюють як перед введенням в експлуатацію, так і в процесі її не менше ніж один раз на рік (для електроустановок в особливо небезпечних умовах, для інших – строки визначені ПТЕ) та після монтажу, капітального ремонту, реконструкції з оформленням результатів протоколом. Опір заземлювального пристрою вимірюють методом амперметра-вольтметра або приладами КМ і Р-133. У теперішній час найбільш поширений спеціальний вимірювач опору заземлення М-416, який замінив відомі прилади МС-08, МС-07.

Вимірювання опору заземлювачів, як правило, проводиться після від'єднання від магістралі заземлювальних провідників. Однак при невеликій кількості устаткування допускається вимірювання й при приєднаних провідниках.

Метод амперметра-вольтметра базується на вимірюванні величини струму I , що протікає через заземлювач R_x , і спаду напруги на ньому U .

Опір заземлювача визначається за формулою

$$R_x = \frac{U}{I}.$$

Схема вимірювання опору заземлювача показана на рис. 5.10.

Вимірювання проводиться на змінному струмі для виключення впливу блукаючих постійних струмів та явища гальванічної поляризації, яке полягає у накопиченні біля електродів іонів протилежної полярності. Джерелом живлення є знижувальний трансформатор T , який також відокремлює силове коло від кола вимірювального. Для забезпечення шляху струму

через землю встановлюють додатковий допоміжний заземлювач R_d . Обидва заземлювачі підмикаються до джерела живлення й через землю пропускають струм I . Для вимірювання спаду напруги на опорі заземлювача R_x в зоні нульового потенціалу встановлюється додатковий електрод – зонд R_z (потенціальний електрод). Вимірювання спаду напруги на заземлювачі здійснюється вольтметром з великим внутрішнім опором, який підмикається до заземлювача і зонда.

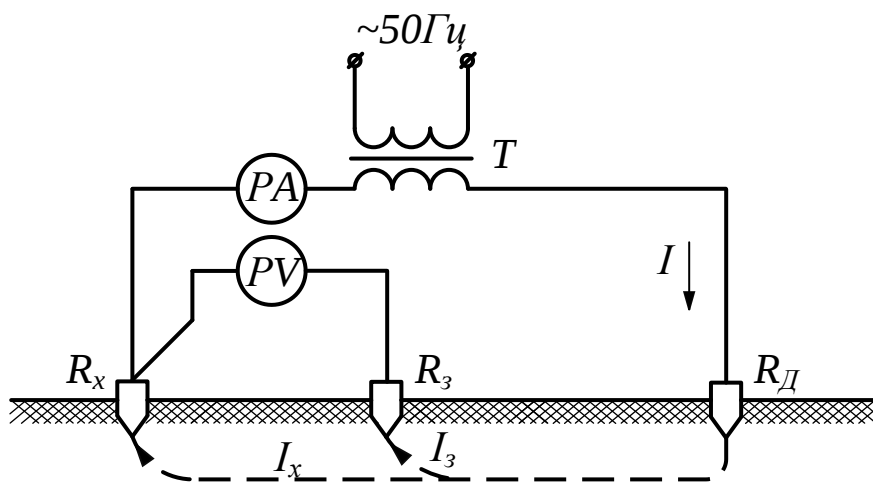


Рис. 5.10. Вимірювання опору заземлювачів

Взаємне розташування електродів має велике значення для точності вимірювань. Виключення накладання одне на одне полів потенціалів заземлювача і допоміжного електрода досягається додержанням мінімальних відстаней між електродами: вони мають бути розміщені не ближче ніж 20 м один від одного, а відстань між заземлювачем і допоміжним електродом має бути не менше 40 м.

При вимкненому живленні спочатку перевіряється відсутність сторонніх струмів. Для цього між зондом R_z та заземлювачем R_x вмикається вольтметр. При наявності значної сторонньої напруги необхідно з'ясувати причину її появи та усунути її. У протилежному випадку необхідно змінити місце розташування зонда або допоміжного заземлювача. Якщо позбутися від сторонньої напруги не вдається, то необхідно збільшити навантажувальний струм таким чином, щоб спад напруги на заземлювачі, що випробується, в 10 – 20 разів

перевищував сторонню напругу. У більшості випадків достатньо збільшити струм до 20 – 25 А.

За допомогою приладу М-416 (вимірювач опору заземлення) реалізується компенсаційний метод. Компенсаційний метод заснований на створенні, крім основного кола струму в землі, ще й кола на спеціальному каліброваному опорі, яким протікає рівний струм. Зміною величини каліброваного опору досягають однакової величини спаду напруги на ньому і на опорі, що вимірюється, що відповідає рівності вимірюваного і каліброваного опору. На цьому принципі побудований також прилад М-1103.

Вимірювання електричного опору заземлення здійснюється згідно з схемою підмикання, яка показана на рис. 5.11 та на кришці приладу.

Глибина заглиблення зонда й допоміжного заземлювача у ґрунт повинна бути не менше 500 мм. У ґрунтах із високим питомим опором значення виміряної величини опору будуть приблизними, тому з метою підвищення точності вимірювань як зонд й допоміжний заземлювач забиваються декілька електродів. Електроди забиваються на відстані 2 – 3 м один від одного й електрично з'єднуються. Більш точні виміри отримуються у разі підмикання схеми до чотирьох виводів приладу, зазначених цифрами 1,2,3 і 4 (у цьому разі в результат вимірювання не входить опір проводу, який з'єднує вивід приладу із заземлювачем R_x).

Для грубого вимірювання опору заземлення або вимірювання великих опорів (> 5 Ом) виводи 1 і 2 з'єднують перемичкою, і прилад приєднують за трипроводовою схемою. У разі підмикання приладу за схемою, що показана на рис. 5.11 а, в (до трьох виводів), провід, яким з'єднується прилад та заземлювач R_x , повинен бути якомога коротшим (для підвищення точності вимірювань).

Якщо опір випробуваного заземлювача занадто малий, то опір сполучного проводу, що використовується для з'єднання, може привести до значних похибок вимірювань. Щоб у цьому випадку виключити вплив сполучних проводів, необхідно проводити вимірювання за чотирипроводовою схемою. Для цього потрібно зняти перемичку між затискачами 1, 2 приладу, та ці

затискачі з'єднати з заземлювачем R_x окремими проводами (рис. 5.11, б, г).

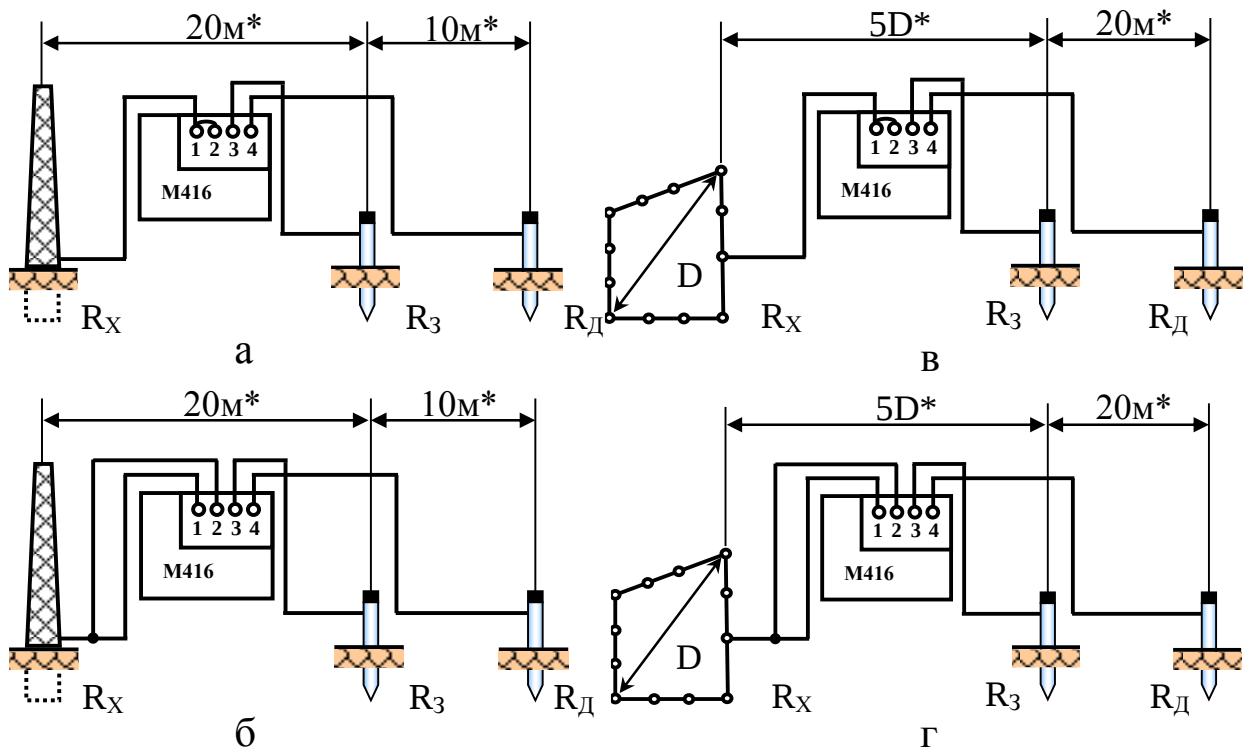


Рис. 5.11. Схема вимірювання опору заземлення приладом М 416:

а – окремого заземлювача у разі підмикання схеми до трьох виводів приладу; б – окремого заземлювача у разі підмикання схеми до чотирьох виводів приладу; в – заземлювального контуру у разі підмикання до трьох виводів приладу; г – заземлювального контуру заземлювача у разі підмикання схеми до чотирьох виводів приладу; R_x – заземлювач, опір якого вимірюється; $R_з$ – зонд; $R_д$ – допоміжний заземлювач; D – найбільша діагональ заземлювального контуру

Примітка. Зірочка(*) позначає мінімальні розміри

Вимірювання проводиться у такій послідовності:

- встановити між затискачами 1 і 2 приладу перемичку;
- підімкнути до затискача 1 опір, що вимірюється (R_x), до затискача 3 – зонд, а до затискача 4 – допоміжний електрод;
- перемикач В1 встановити в положення х1;

- натискаючи кнопку й обертаючи ручку "Реохорд", домогтися максимального наближення стрілки індикатора до нуля;

- зафіксувати результат вимірювання.

Якщо опір, який вимірювався, виявиться більше 10 Ом, перемикач В1 встановити в положення х5, х20, або х100, та повторити вимірювання, а результат вимірювання помножити на відповідний множник.

Аналогічно проводять вимір питомого опору ґрунту. При цьому замість заземлювача R_x приєднують додатковий електрод діаметром d , який заглиблюють у землю на глибину l припустимого закладення заземлювачів так, щоб верхній кінець його був над землею, і вимірюють його опір розтікання $R_{\text{вим}}$. Далі визначають середній питомий опір землі за формулою

$$\beta_{\text{вим}} = R_{\text{вим}} \frac{2\pi l}{\ln(4l/d)}.$$

Для підвищення точності вимірювань додатковий (контрольний) електрод заглиблюють в землю в 3 – 4 місцях досліджуваного майданчика і як $R_{\text{вим}}$ приймають їх середнє арифметичне значення. Отримане значення питомого опору землі порівнюють з приблизними його значеннями, наведеними в табл. 3.2.

5.4.3. Контроль стану заземлення

Контроль стану заземлювальних пристроїв здійснюють при здаванні в експлуатацію і в процесі експлуатації електроустановки. Монтажна організація передає експлуатуючій організації технічну документацію (у тому числі і акт на приховані роботи), а також протоколи приймально-здавальних випробувань. На кожний заземлювальний пристрій, що перебуває в експлуатації, повинен бути **паспорт**, який містить:

- схему заземлення,
- основні технічні дані,
- дані про результати перевірки стану заземлювального пристрою,

- дані про характер ремонтів та зміни, внесені у даний пристрій.

Для визначення технічного стану заземлювального пристрою періодично проводяться такі **контрольні операції**:

- а) зовнішній огляд видимої частини заземлювального пристрою;

- б) огляд з перевіркою наявності електричного кола між заземлювачем та заземлювальними елементами (відсутність обривів та незадовільних контактів у проводці, що з'єднує апарат із заземлювальним пристроєм);

- в) вимірювання опору заземлювального пристрою;

- г) вибіркове розкриття ґрунту для огляду елементів заземлювального пристрою, що перебувають у землі;

- д) перевірка надійності з'єднань природних (штучних) заземлювачів.

Періодичність цих операцій визначає особа, відповідальна за електрогосподарство, відповідно до вимог ПТЕ і місцевих умов.

Перевірка стану елементів заземлювального пристрою виконується шляхом вибіркового огляду елементів, що знаходяться в землі, із розкриттям ґрунту. Перевірка інших елементів проводиться в межах доступності їх до огляду. **При огляді перевіряється:**

- відповідність перерізів елементів проекту;
- глибина закладення заземлювачів;
- надійність з'єднання елементів штучних заземлювачів, а також з'єднань штучних заземлювачів із природними;
- правильність приєднання заземлювальних провідників до устаткування, що захищається, та до заземлювача;
- надійність зварних швів;
- захищеність заземлювальних провідників від механічних пошкоджень;
- наявність кола між заземлювачами та елементами, що заземлюються тощо.

5.5. Розрахунок захисного заземлення

Розрахунок захисного заземлення виконують для визначення основних параметрів заземлювального пристрою – кількості,

розмірів і порядку розміщення одиночних заземлювачів і заземлювальних провідників, при яких напруги дотику і кроку під час замикання фази на заземлений корпус не перевищують допустимих значень. Звичайно розрахунок роблять за допустимим опором заземлювача в однорідній землі. Послідовність розрахунку така: уточнюють вихідні дані; визначають потрібне значення опору заземлювального пристрою; розраховують потрібне значення опору штучного заземлювача; вибирають тип заземлювача і складають попередню схему (проект) заземлювального пристрою; уточнюють параметри заземлювача.

Вихідними даними для розрахунку є:

- сумарна потужність трансформаторів або генераторів, які живлять мережу, до якої підімкнена електроустановка, і режим роботи нейтралі мережі;
- план електроустановки з вказаними основними розмірами і розміщенням обладнання;
- форми і розміри електродів, з яких передбачається спорудити груповий заземлювач, а також допустима глибина занурення їх в землю;
- дані вимірювань питомого опору ґрунту на ділянці, де повинен бути споруджений заземлювач, відомості про погодні умови, при яких проводились ці виміри, характеристика кліматичної зони;
- дані про природні заземлювачі: які споруди можуть бути використані з цією метою, схема, розміри, конструкція тих елементів, які будуть використані як заземлювачі. Опір розтікання струму природних заземлювачів $R_{\text{пр}}$ обчислюють за формулами, одержаними для штучних заземлювачів аналогічної форми (табл. 3.1), або безпосереднім виміром, а якщо штучні заземлювачі знаходяться на глибині промерзання ґрунту, то результат вимірювання або обчислення множать на коефіцієнт сезонності.

Потрібне значення опору заземлювального пристрою визначають виходячи з нормованого значення.

Розрахунок потрібного значення опору штучного заземлювача виконують за формулою

$$R_{\text{ш}} \leq R_{\text{пр}} R_3 / (R_{\text{пр}} - R_3),$$

де $R_{ш}$, $R_{пр}$, R_3 – опори штучного, природного заземлювачів і потрібне значення опору заземлювального пристрою відповідно.

Вибір типу заземлювача (виносного чи контурного) і складання попередньої схеми (проекту) заземлювального пристрою проводять на основі даних про територію, на якій можливе розміщення штучного заземлювача, і значень питомого опору землі та опору штучного заземлювача. Одночасно з вибором типу заземлювача орієнтовно розміщують його електроди на плані ділянки і розраховують опір заземлювача R за формулами (3.29), (3.33).

Параметри штучного заземлювача уточнюють шляхом порівняння значень опору R проєктованого заземлювача, розрахованого так, як зазначено вище, і потрібного значення опору $R_{ш}$ штучного заземлювача. Якщо значення R і $R_{ш}$ збігаються або відрізняються незначно, то вважають, що всі основні параметри заземлювача вибрані правильно, а при значних розходженнях R і $R_{ш}$ вносять виправлення у попередню схему заземлювача і знову обчислюють R . Зміни в схемі й обчислення виконують до збігу R і $R_{ш}$. Після отримання кінцевого значення опору штучного заземлювача визначають опір заземлювального пристрою за формулою

$$R_3 = \frac{R R_{пр}}{(R + R_{пр})}.$$

Контрольні питання

1. Назвіть технічні способи захисту від ураження електричним струмом.
2. Призначення та галузь застосування захисного заземлення.
3. Пояснити принцип дії захисного заземлення.
4. Призначення робочого заземлення та заземлення блискавкозахисту.
5. З якою метою здійснюється заземлення корпусів електроустановок в мережах з глухозаземленою нейтраллю?
6. Від яких параметрів залежить величина R_3 і яким чином можна її зменшити?

7. Типи заземлювальних пристроїв.
8. Як виконуються заземлювальні пристрої?
9. Які електроустановки підлягають заземленню?
10. Який зв'язок мають заземлювальні пристрої декількох аналогічних установок і установок різних напруг і призначень?
11. Які методи реалізуються в вимірювачах опору заземлення?
12. Яке значення опору заземлювального пристрою повинно бути в електроустановках мереж з ізольованою нейтраллю напругою вище 1 кВ ?
13. Якій умові повинен відповідати опір заземлювального пристрою для заземлення електроустаткування напругою до 1 кВ з ізольованою нейтраллю?
14. Чим небезпечно замикання фази на корпус?
15. Що не підлягає заземленню?
16. Як виконується на практиці захисне заземлення?

Розділ 6

ЗАНУЛЕННЯ

6.1. Призначення, принцип дії і галузь застосування занулення

Небезпека ураження електричним струмом при випадковій появі напруги на корпусах електрообладнання може бути усунута швидким вимкненням пошкодженої установки від мережі. З цією метою використовують занулення, схема якого показана на рис. 6.1.

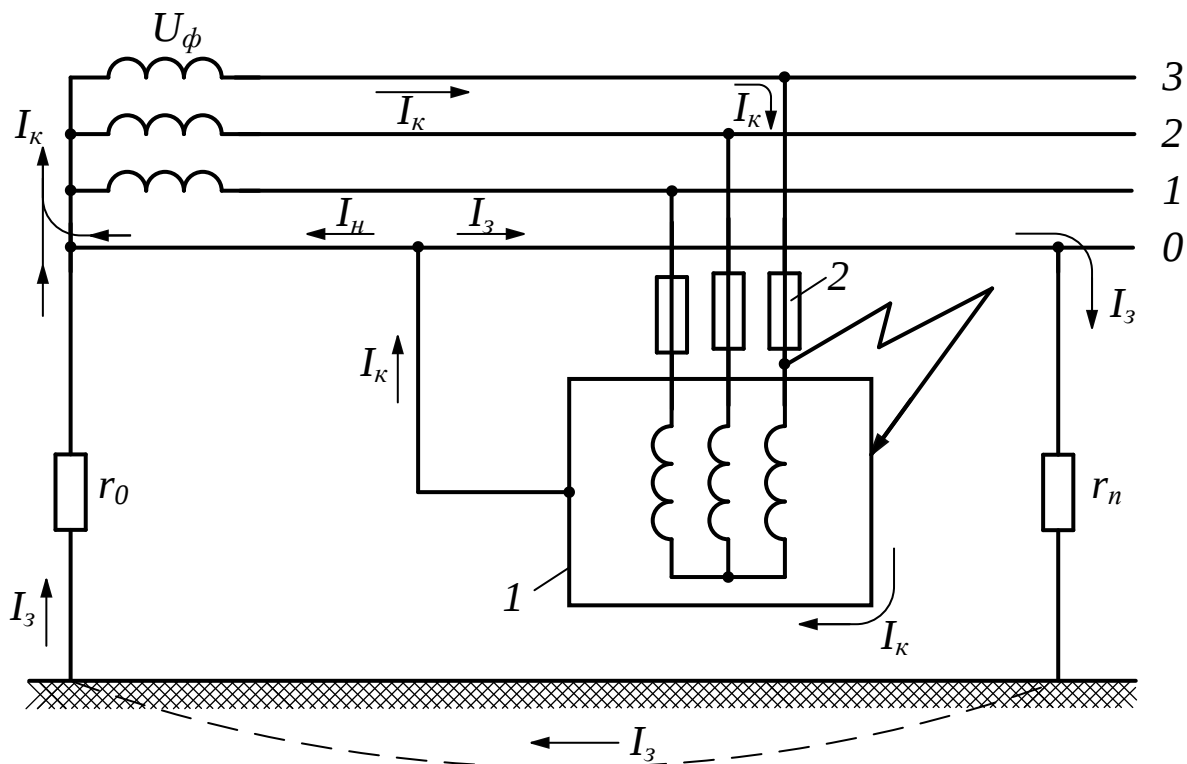


Рис. 6.1. Принципова схема занулення в трифазній мережі до 1000 В:

1 – корпус електроустановки (електродвигун, трансформатор і т.п.); 2 – апарати захисту від струмів короткого замикання (запобіжники, автоматичні вимикачі й т.п.); r_0 – опір заземлення нейтралі обмотки джерела струму; r_n – опір повторного заземлення нульового захисного провідника; I_k – струм короткого замикання; I_H – частина струму короткого замикання, що протікає через нульовий захисний провідник; I_3 – частина струму короткого замикання, що протікає через землю

Занулення – навмисне електричне з'єднання металевих неструмовідних частин електроустановки, що можуть опинитися під напругою, із глухозаземленою нейтральною точкою обмотки джерела струму в трифазних мережах, із глухозаземленим виводом обмотки джерела струму в однофазних мережах і із глухозаземленою середньою точкою обмотки джерела енергії в мережах постійного струму.

Призначення занулення – усунення небезпеки ураження струмом у випадку торкання корпусу електроустановки і інших металевих неструмовідних частин, що опинилися під напругою відносно землі через замикання на корпус і з інших причин.

Принцип дії занулення – перетворення замикання на корпус в однофазне коротке замикання (тобто замикання між фазними й нульовим захисним провідниками) з метою викликати великий струм, здатний забезпечити спрацювання захисту й тим самим автоматично відімкнути ушкоджену електроустановку від мережі. Таким захистом є: плавкі запобіжники або автомати максимального струму, встановлені для захисту від струмів короткого замикання; магнітні пускачі з вбудованим тепловим захистом; контактори в сполученні з тепловими реле, що здійснюють захист від перевантаження; автомати з комбінованими розчіплювачами, що здійснюють захист від струмів короткого замикання й перевантаження.

Крім того, оскільки занулені корпуси (або інші неструмовідні металеві частини) заземлені через нульовий захисний провідник, то в аварійний період, тобто з моменту виникнення замикання на корпус і до автоматичного відмикання ушкодженої електроустановки від мережі, проявляється захисна властивість цього заземлення. Інакше кажучи, заземлення корпусів через нульовий захисний провідник знижує в аварійний період їхню напругу відносно землі.

Таким чином, занулення здійснює *дві захисних дії* – швидке автоматичне відмикання ушкодженої установки від живильної мережі й зниження напруги занулених металевих неструмовідних частин, які опинилися під напругою, відносно землі.

При цьому відмикання здійснюється лише при замиканні на корпус, а зниження напруги – у всіх випадках виникнення напруги на занулених металевих неструмовідних частинах, у тому числі

при замиканні на корпус, електростатичному й електромагнітному впливах сусідніх кіл, виносі потенціалу від інших електроустановок і т.п.

Галузь застосування занулення – трифазні чотирипроводові мережі до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю, у тому числі найпоширеніші мережі напругою 380/220 В, а також мережі напругою 220/127 В; 660/380 В.

Занулення застосовується і в однофазних двопроводових мережах змінного струму з глухозаземленим виводом обмотки джерела струму.

6.2. Призначення окремих елементів схеми занулення

Занулення вимагає наявності в електричній мережі нульового захисного провідника, глухого заземлення нейтралі джерела струму і повторного заземлення нульового захисного провідника. Розглянемо призначення цих елементів.

6.2.1. Призначення нульового захисного провідника

Спочатку розглянемо схему без нульового захисного провідника, роль якого виконує земля (рис. 6.2). При замиканні фази на корпус по колу, що утворилося через землю, буде проходити електричний струм

$$I_3 = \frac{U_\phi}{r_0 + r_k},$$

де U_ϕ – фазна напруга мережі;

r_0, r_k – опори заземлення нейтралі й корпусу.

Опори обмоток джерела струму (наприклад, трансформатора, що живить дану мережу) і проводів мережі малі в порівнянні з r_0 і r_k , тому їх у розрахунок не приймаємо.

У результаті протікання струму через опір r_k у землю на корпусі виникає напруга щодо землі U_k , В, рівна спаду напруги на опорі r_k :

$$U_K = I_3 \cdot r_K = \frac{U_\phi \cdot r_K}{r_K + r_0}.$$

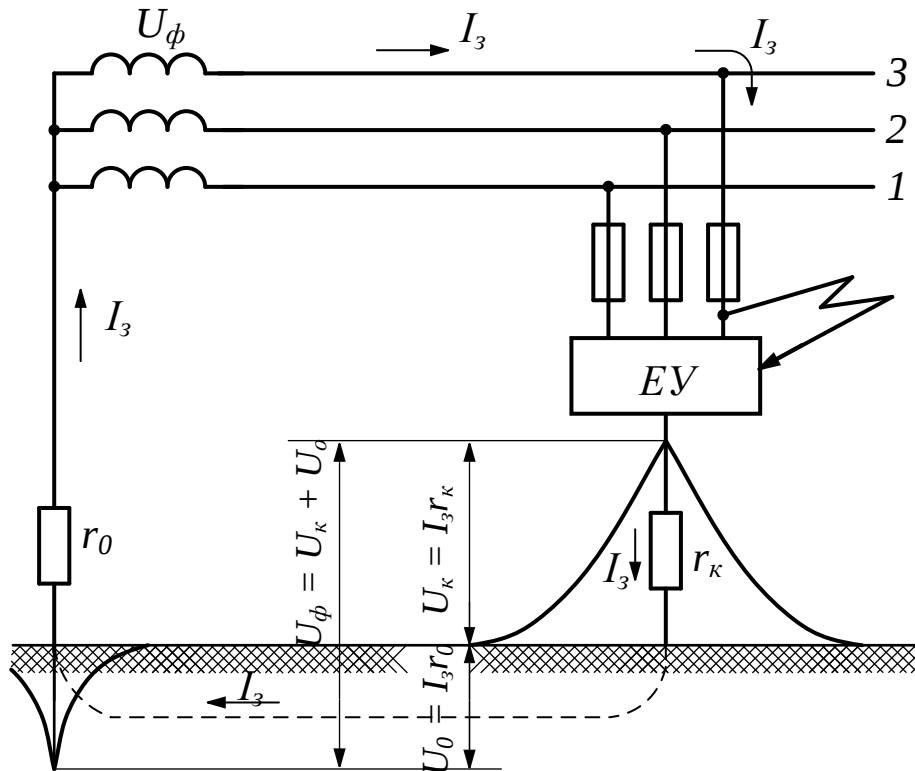


Рис. 6.2. Схема трифазної мережі напругою до 1000 В з заземленою нейтраллю

Струм I_3 може виявитися недостатнім, щоб викликати спрацьовування максимального струмового захисту, тобто установка може не відімкнутися. Якщо при цьому струм спрацьовування захисту більше I_3 , то відмикання не відбудеться й корпус буде перебувати під напругою доти, поки установку не вимкнуть вручну. Безумовно, таке положення неприпустимо, оскільки при цьому виникає загроза ураження струмом людей, що торкнулися до корпусу ушкодженого устаткування або до металевих предметів, які мають з'єднання із цим корпусом.

Щоб усунути цю небезпеку, треба забезпечити швидке автоматичне відмикання установки, тобто збільшити струм, який проходить через захист, що досягається зменшенням опору кола цього струму шляхом введення в схему нульового захисного провідника.

Отже, **призначення нульового захисного провідника в схемі занулення** – забезпечити необхідне для вимкнення установки значення струму однофазного короткого замикання шляхом створення для цього струму кола з малим опором.

Зі сказаного випливає також, що в трифазній трипроводовій мережі напругою до 1000 В з заземленою нейтраллю неможливо забезпечити безпеку при замиканні фази на корпус, тому така мережа застосовуватися не повинна.

6.2.2. Призначення заземлення нейтралі

Розглянемо мережу з ізолюваною нейтраллю обмоток джерела струму, яка не має повторного заземлення нульового захисного провідника. В цій мережі занулення забезпечить відмикання ушкодженої установки так само надійно, як і в мережі із заземленою нейтраллю. Із цього погляду режим нейтралі мовби не має значення. Однак при випадковому замиканні фази на землю (рис. 6.3, а), що може відбутися в результаті обриву й падіння на землю проводу, замиканні фази на неізолюваний від землі корпус і т.п. земля набуває потенціалу фази, і між зануленим устаткуванням, яке має нульовий потенціал, і землею виникає напруга U_k , близька за значенням до фазної напруги мережі U_ϕ . Ця напруга буде існувати до відмикання всієї мережі вручну або до ліквідації замикання на землю, тому що максимальний струмовий захист при цьому пошкодженні не спрацює. Безумовно, зазначене положення досить небезпечно.

У мережі із заземленою нейтраллю при такому пошкодженні маємо зовсім інше, практично безпечне положення. У цьому випадку U_ϕ розділиться пропорційно опорам замикання фази на землю $r_{зм}$ і заземленню нейтралі r_0 (рис. 6.3, б), завдяки чому U_k зменшиться й буде дорівнювати спаду напруги на опорі заземлення нейтралі

$$U_k = I_{зм} \cdot r_0 = \frac{U_\phi \cdot r_0}{r_{зм} + r_0},$$

де $I_{зм}$ – струм замикання на землю.

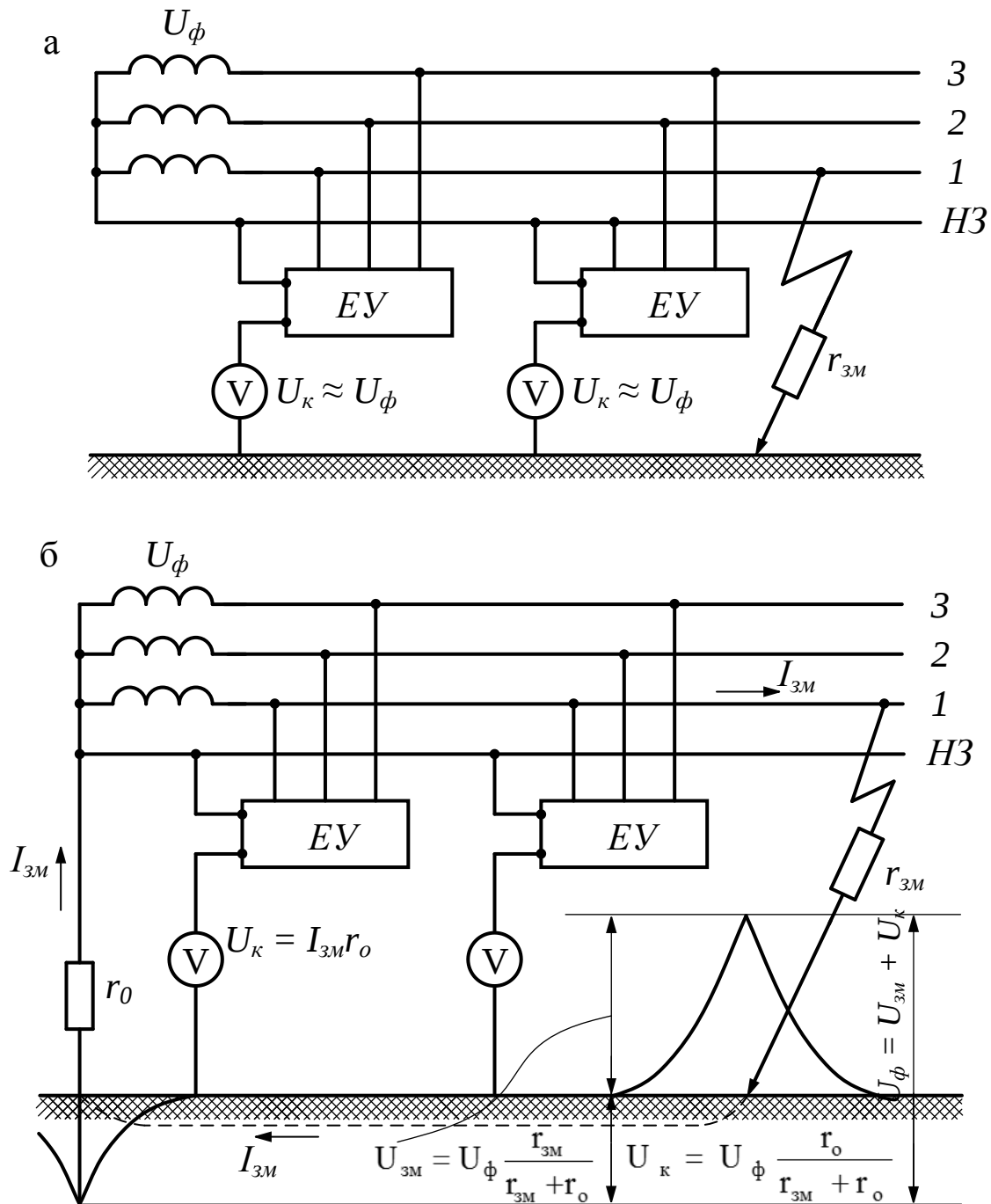


Рис. 6.3. Випадок замикання фази на землю в трифазній чотирипроводовій мережі з ізолюваною (а) і заземленою (б) нейтраллю обмоток джерела струму

Як правило, опір r_{3M} , що чинить ґрунт струму при випадковому замиканні фази на землю, у багато разів більше опору спеціально виконаного заземлення нейтралі r_0 . Тому U_K виявляється незначним.

Таким чином, **призначення заземлення нейтралі обмоток джерела струму, що живить мережу напругою до 1000 В, – зниження напруги занулених корпусів (а отже, нульового захисного провідника) щодо землі до безпечного значення при замиканні фази на землю.**

Із сказаного випливає ще один висновок: електрична мережа напругою до 1000 В з нульовим захисним провідником, ізолювана від землі, тобто з ізолюваною нейтраллю обмоток джерела струму й без повторних заземлень нульового захисного провідника, приховує небезпеку ураження струмом і тому застосовуватися не повинна.

6.2.3. Призначення повторного заземлення нульового захисного провідника

Повторне заземлення нульового захисного провідника практично не впливає на вимикаючу здатність схеми занулення, і в цьому значенні без нього можна обійтися.

Однак при відсутності повторного заземлення нульового захисного провідника виникає небезпека для людей, що доторкаються до зануленого устаткування в період, поки існує замикання фази на корпус. Крім того, у випадку обриву нульового захисного провідника й замикання фази на корпус за місцем обриву ця небезпека різко підвищується, оскільки напруга відносно землі обірваної ділянки нульового проводу й приєднаних до нього корпусів може досягати фазної напруги мережі. Розглянемо обидва ці випадки.

При замиканні фази на корпус у мережі, що не має повторного заземлення нульового захисного провідника (рис. 6.4), ділянка нульового захисного провідника, що знаходиться за місцем замикання, і всі приєднані до нього корпуси опиняться під напругою відносно землі U_n , рівною

$$U_n = I_k \cdot z_{n.3}, \quad (6.1)$$

де I_k – струм короткого замикання, що проходить по петлі фаза-нуль;

$z_{н.3}$ – повний опір ділянки нульового захисного провідника, що обтікається струмом I_K (тобто ділянки АВ):

$$z_{н.3} = \sqrt{R_{н.3}^2 + X_{н.3}^2},$$

де $R_{н.3}$ і $X_{н.3}$ – активний і внутрішній індуктивний опори нульового захисного провідника (ділянки АВ).

На іншій ділянці нульового захисного провідника (ближче до джерела енергії) напруга буде змінюватися від U_H до 0 по прямій лінії (рис. 6.4).

Ці напруги будуть існувати протягом аварійного періоду, тобто з моменту замикання фази на корпус до автоматичного відмикання від мережі пошкодженої установки.

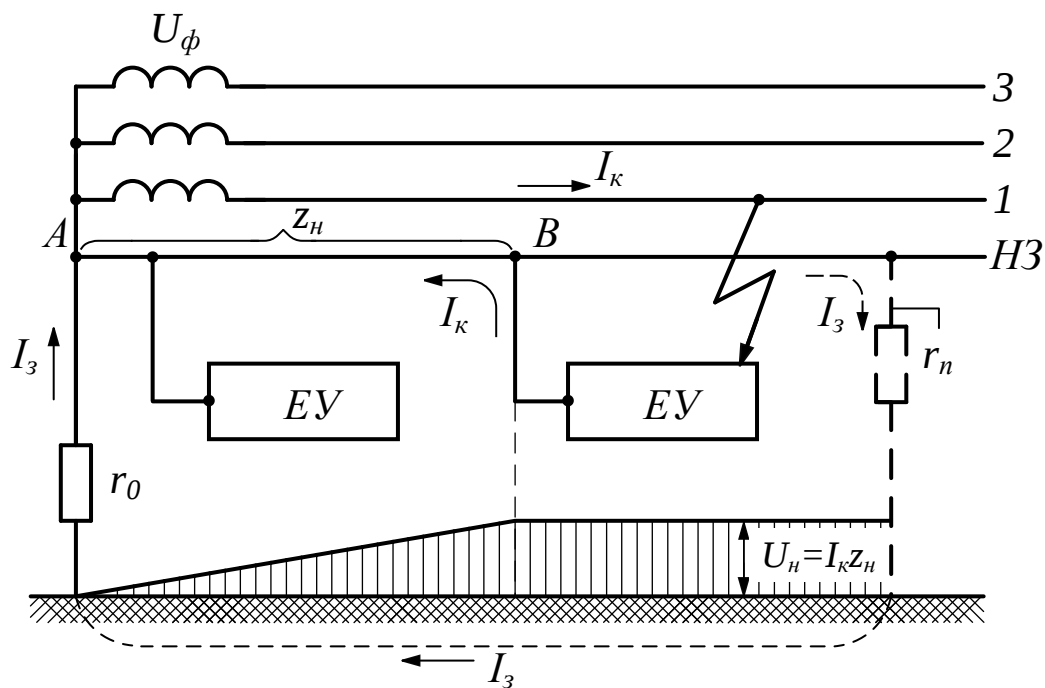


Рис. 6.4. Замикання на корпус у мережі, що не має повторних заземлень нульового захисного провідника

Якщо для спрощення знехтувати опором обмоток джерела струму й індуктивним опором петлі фаза-нуль, а також вважати, що фазний і нульовий захисний провідники мають лише активні опори R_{ϕ} , $R_{н.3}$, то вираз (6.1) набуде вигляду

$$U_H = I_K \cdot R_{H.3} = \frac{U_\phi \cdot R_{H.3}}{R_\phi + R_{H.3}}. \quad (6.2)$$

Якщо прийняти $R_{H.3} \leq 2 R_\phi$ (що звичайно має місце в практичних умовах), то $U_H \geq 2/3 U_\phi$. Очевидно, що при цьому створюється реальна загроза ураження людей електричним струмом.

Якщо нульовий захисний провідник буде мати повторне заземлення з опором r_n (на рис. 6.4 це заземлення показане пунктиром), то U_H знизиться до значення

$$U_H = I_3 \cdot r_n = \frac{U_{AB} \cdot r_n}{r_n + r_0},$$

де I_3 – струм, що стікає в землю через опір r_n ;

U_{AB} – спадання напруги в нульовому захисному провіднику на ділянці АВ;

r_0 – опір заземлення нейтралі джерела струму.

Цю напругу можна без великих витрат зменшити до припустимого значення, зменшивши r_n за рахунок збільшення кількості повторних заземлень.

Отже, повторне заземлення нульового захисного провідника знижує напругу на занулених корпусах у період замикання фази на корпус.

При випадковому обриві нульового захисного провідника й замиканні фази на корпус за місцем обриву (при відсутності повторного заземлення) напруга відносно землі ділянки нульового захисного провідника за місцем обриву й всіх приєднаних до нього корпусів, у тому числі корпусів справних установок, виявиться близькою за значенням фазній напрузі мережі (рис. 6.5, а). Ця напруга буде існувати довгостроково, оскільки пошкоджена установка автоматично не вимкнеться і її буде важко виявити серед справних установок, щоб вимкнути вручну.

Якщо ж нульовий захисний провідник буде мати повторне заземлення, то при обриві його збережеться коло струму I_3 через землю (рис. 6.5, б), завдяки чому напруга занулених корпусів, що перебувають за місцем обриву, знизиться до напруги

$$U_H = I_3 \cdot r_{\Pi} = \frac{U_{\phi} \cdot r_{\Pi}}{r_{\Pi} + r_0}.$$

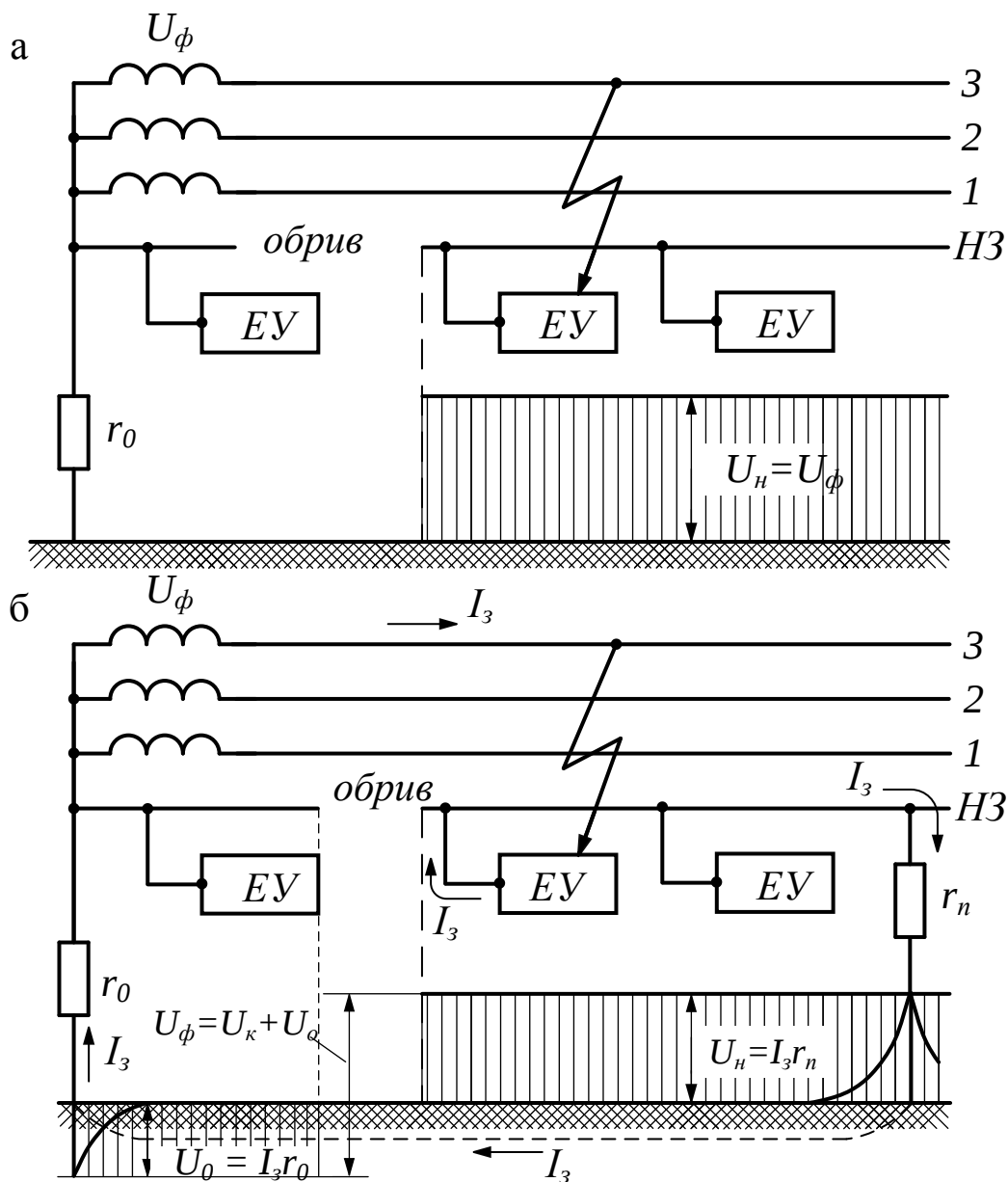


Рис. 6.5. Замикання на корпус при обриві нульового захисного провідника: а – у мережі без повторного заземлення нульового захисного провідника; б – у мережі з повторним заземленням нульового захисного провідника

При цьому, однак, корпуси установок, приєднаних до нульового захисного провідника до місця обриву, набудуть напруги щодо землі

$$U_H = I_3 \cdot r_0 = \frac{U_\phi \cdot r_0}{r_H + r_0},$$

де r_0 – опір заземлення нейтралі джерела струму.

У окремому, найбільш сприятливому випадку, коли $r_H = r_0$, всі установки, приєднані до нульового захисного провідника, як до місця обриву, так і після нього, будуть знаходитися під однаковою напругою

$$U_H = U_0 = 0,5 \cdot U_\phi.$$

Отже, повторне заземлення нульового захисного провідника значно зменшує небезпеку ураження струмом, що виникає в результаті обриву нульового захисного провідника й замикання фази на корпус за місцем обриву, але не може усунути її повністю, тобто не може забезпечити тих умов безпеки, які існували до обриву. У зв'язку із цим потрібне ретельне прокладання нульового захисного провідника, щоб виключити можливість його обриву; у нульовому захисному провіднику забороняється ставити вимикачі, запобіжники й інші прилади, здатні порушити його цілісність.

Таким чином, **призначення повторного заземлення нульового захисного провідника**– зниження напруги відносно землі занулених конструкцій у період замикання фази на корпус як при справній схемі занулення, так і у випадку обриву нульового захисного провідника. Без повторного заземлення напруга нульового захисного провідника може досягати неприпустимих значень, тому така схема занулення застосовуватися не повинна.

6.3. Вимірювання опору петлі фаза-нуль

Петля фаза-нуль – це ділянка електричного кола, яка включає до свого складу частину нульового захисного провідника (від споживача до нейтральної точки генератора), обмотку генератора, частину фазного проводу (від споживача до обмотки генератора, включаючи запобіжник і корпус установки).

Вимірювання опору петлі фаза-нуль проводиться на найбільш потужних електроприймачах, а також найбільш віддалених від джерела струму.

Опір петлі фаза-нуль вимірюється для визначення дійсної величини повного опору цієї петлі. **Опір петлі фаза-нуль повинен бути таким, щоби струм однофазного короткого замикання був достатнім для швидкого відмикання пошкодженої електроустановки від мережі.**

При вимірюваннях устаткування, що випробується, від'єднується від мережі та робиться штучне замикання одного фазного проводу на корпус електроприймача. Вимірювання проводиться на змінному струмі від знижувального трансформатора з вихідною напругою 36 В (12 В). Для вимірювання рекомендується схема, яка наведена на рис. 6.6.

Для вимірювання необхідні однофазний знижувальний трансформатор Т, реостат R, вимикачі В1 та В2, амперметр, вольтметр й провідники.

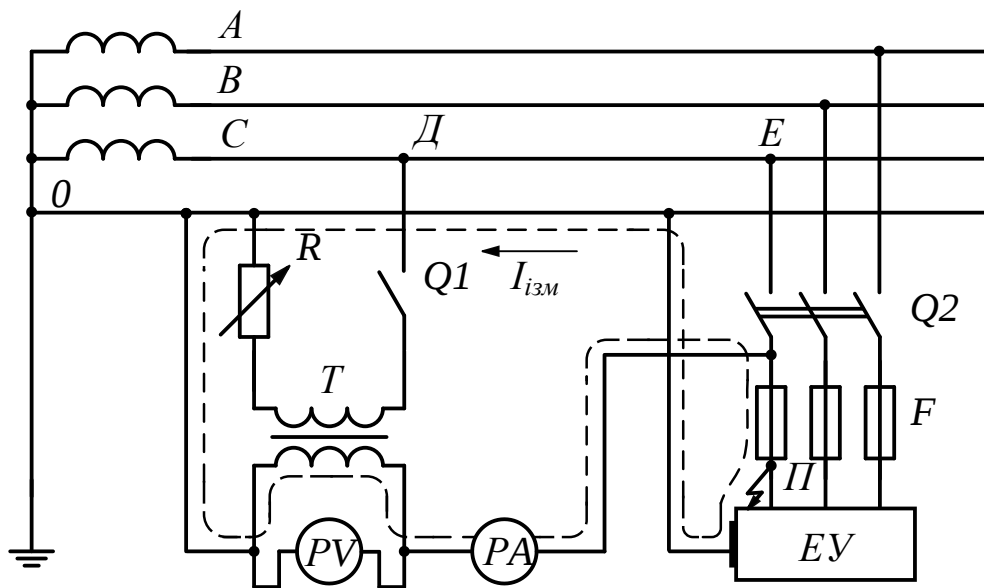


Рис. 6.6. Схема вимірювання електричного опору петлі фаза-нуль: Т – трансформатор напруги з вихідною напругою 36 В (12 В); R – реостат; В1 і В2 – вимикачі; П – тимчасова перемичка; Н – навантаження приймача електроенергії

Один вивід вторинної обмотки трансформатора Т приєднується до нульового захисного провідника (для підвищення точності вимірювань цей провід повинен бути якомога коротшим),

другий – до одного з фазних проводів, що йде до електроприймача після вимикача В2 (вимикач В2 вимкнений). Фазний провід й корпус електроприймача з'єднуються надійною перемичкою П, яка імітує замикання на корпус.

Після вмикання вимикача В1 реостатом R встановлюється струм, достатній для відліку показів вольтметра й амперметра. Частка від ділення цих показів буде повним опором петлі фаз-нуль

$$Z'_n = \frac{U}{I}.$$

Отримане значення Z'_n повинно бути арифметично складене з розрахунковим значенням повного опору однієї фази живильного трансформатора $Z_T/3$. Повний опір петлі фазовий провід – нульовий провід – фаза трансформатора визначається з виразу

$$Z_n = Z'_n + \frac{Z_T}{3},$$

де Z_T – повне розрахункове значення опору живильного трансформатора, що наводиться в довідниках.

Для електроприймачів, що живляться від силових трансформаторів потужністю понад 560 кВА, при визначенні опору петлі значення Z_T можна не враховувати як величину відносно малу в порівнянні з Z'_n .

Слід зазначити, що при вимірюванні не враховується опір фазного проводу на ділянці ДЕ. Однак це компенсується тим, що в результат вимірювань входить опір допоміжних проводів, які з'єднують вторинну обмотку трансформатора з мережею.

6.4. Розрахунок занулення

Розрахунок занулення має на меті визначити такі параметри:

– переріз нульового захисного провідника, при якому спрацює струмовий захист пошкодженої електроустановки (розрахунок занулення на вимикальну здатність);

– опір заземлення нейтралі, який забезпечує безпеку при торканні корпусу електроустановки у випадку замикання фази на землю (розрахунок заземлення нейтралі);

– опір повторного заземлення нульового захисного провідника, який забезпечує безпеку при торканні до корпусу електроустановки у випадку замикання фази на корпус (розрахунок повторного заземлення нульового захисного провідника).

Розрахунок занулення на вимикальну здатність виконують у такій послідовності:

1. Визначають струм замикання фази на корпус електроустановки, тобто струм однофазного короткого замикання у петлі фаза-нуль

$$I_K = \frac{U_\phi}{Z_T/3 + Z_\Pi}, \quad (6.3)$$

де U_ϕ – фазна напруга;

Z_T – модуль повного опору трансформатора: $Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$;

Z_Π – модуль повного опору петлі фаза – нуль (його визначають розрахунком або вимірюванням).

Модуль повного опору петлі фаза-нуль при розрахунках визначають за формулою

$$Z_\Pi = \sqrt{(R_\phi + R_{н.з.})^2 + (X_\phi + X_{н.з.} + X_\Pi)^2}, \quad (6.4)$$

де $R_\phi, R_{н.з.}$ – активні опори фазного і нульового захисного провідників;

$X_\phi, X_{н.з.}$ – індуктивні опори фазного і нульового захисного провідників;

X_Π – індуктивний опір петлі фаза-нуль.

Величини $R_\phi, R_{н.з.}, X_\phi, X_{н.з.}$, які входять до формули (6.4), визначають або приймають:

– для провідників з міді або алюмінію

$$R_{\phi} = \frac{\rho \cdot \ell}{S_{\phi}}; R_{\text{н.з.}} = \frac{\rho \cdot \ell}{S_{\text{н.з.}}}; X_{\phi} = 0, X_{\text{н.з.}} = 0,$$

де ρ , ℓ , S_{ϕ} , $S_{\text{н.з.}}$ – питомий електричний опір матеріалу провідника, довжина і переріз фазного і нульового захисного провідників відповідно;

– для сталевих провідників з прямокутним або круглим перерізом значення $R_{\text{н.з.}}$, $X_{\text{н.з.}}$ наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Активні опори $R_{\text{н.з.}}$ і модулі індуктивних опорів $X_{\text{н.з.}}$ сталевих провідників при змінному струмі частотою 50 Гц, Ом/км

Розміри або діаметр перерізу, мм	Переріз, мм ²	Густина струму, А/мм ²					
		1,0		1,5		2,0	
		$R_{\text{н.з.}}$	$X_{\text{н.з.}}$	$R_{\text{н.з.}}$	$X_{\text{н.з.}}$	$R_{\text{н.з.}}$	$X_{\text{н.з.}}$
		Смуга прямокутного перерізу					
20 х 4	80	4,2	2,52	3,48	2,09	2,97	1,78
30 х 4	120	2,91	1,75	2,38	2,38	2,04	1,22
40 х 4	160	2,24	1,34	1,34	1,81	1,54	0,92
		Провідник круглого перерізу					
5	19,63	14,4	8,65	12,4	7,45	10,7	6,4
6	28,27	11,2	6,70	9,4	5,65	8,0	4,8
8	50,27	7,5	4,5	6,4	3,84	5,3	3,2

Величину X_{ϕ} , що входить до формули (6.4), для фазного і нульового провідників, розташованих у безпосередній близькості один від одного, вважають незначною і нею нехтують.

2. Обчислюють відношення повних провідностей фазного Y_{ϕ} і нульового захисного $Y_{\text{н.з.}}$ провідників за формулами:
для провідників з міді або алюмінію

$$Y_{\phi}/Y_{\text{н.з.}} = R_{\text{н.з.}}/R_{\phi};$$

для фазних провідників з міді або алюмінію і сталевих нульових захисних провідників

$$\frac{Y_{\phi}}{Y_{н.з.}} = \frac{\sqrt{R_{н.з.}^2 + X_{н.з.}^2}}{R_{\phi}}.$$

Якщо $Y_{\phi}/Y_{н.з.} \leq 2$, то за співвідношенням повних провідностей фазного і нульового захисного провідників система занулення виконана правильно; у противному випадку збільшують переріз нульового захисного провідника і знову обчислюють до виконання зазначеної умови. Якщо задоволення цієї умови призвело до суттєвої зміни опору нульового захисного провідника, уточнюють струм у петлі фаза-нуль.

3. Приймають мінімально допустиме значення коефіцієнта К кратності струму короткого замикання в петлі фаза-нуль:

$K=3$ для номінального струму найближчих до установки плавкого елемента запобіжника, нерегульованого розчіплювача автомата, а також для установлення струму регульованого розчіплювача автомата;

$K=1,4$ для установлення струму електромагнітного розчіплювача автомата з номінальним струмом до 100 А, що має лише один розчіплювач;

$K=1,25$ для установлення струму електромагнітного розчіплювача автомата з номінальним струмом більше 100 А, що має лише один розчіплювач.

4. Порівнюють струм короткого замикання, розрахований за формулою (6.3), і номінальний струм $I_{ном}$ або струм установлення $I_{уст}$, помножений на коефіцієнт К.

Якщо $I_{к} \geq K \cdot I_{ном}$ або $I_{к} \geq K \cdot I_{уст}$, то на вимикальну здатність система розрахована правильно; якщо $I_{к} < K \cdot I_{ном}$ або $I_{к} < K \cdot I_{уст}$, то обирають фазний та нульовий захисний провідники більшого перерізу або зменшують відстань між провідниками і знову виконують розрахунок на вимикальну здатність до задоволення умов

$$I_{к} \geq K \cdot I_{ном} \text{ або } I_{к} \geq K \cdot I_{уст}.$$

Розрахунок опору заземлення нейтралі R_{3N} виконують за формулою

$$R_{3N} \leq R_{3M} \frac{U_{T, \text{доп.}}}{U_{\phi} - U_{T, \text{доп.}}},$$

де U_{ϕ} – фазна напруга;

$U_{T, \text{доп.}}$ – гранично допустиме значення напруги дотику при тривалому протіканні струму через людину (табл. 1.3);

R_{3M} – опір замикання на землю, звичайно його припускають рівним 20 Ом.

Опір кожного заземлювача повторного заземлення нульового захисного провідника обчислюють за формулою

$$R_{3N \Pi} \leq \frac{n \cdot R_{3N} \cdot U_{T, \text{доп.}}}{2 \cdot U_{\phi} / 3 - U_{T, \text{доп.}}},$$

де n – число повторних заземлень нульового захисного провідника.

Перевірка відповідності занулення вимогам ПУЕ проводиться після закінчення монтажних і ремонтних робіт, а також у процесі експлуатації. На відповідність цим вимогам перевіряють такі параметри системи занулення:

- опір заземлення нейтралі та опір повторних заземлень нульового захисного провідника;
- відношення струму однофазного короткого замикання при замиканні на корпус і номінального струму плавкої вставки запобіжника або струму установлення розчіплювача автомата, які захищають ділянку кола, що контролюється;
- відношення повних провідностей фазного і нульового захисного провідників.

Контрольні питання

1. Призначення та галузь застосування занулення.
2. Пояснити принцип дії занулення.
3. Пояснити призначення нульового захисного провідника в схемі занулення.
4. Пояснити призначення заземлення нейтралі обмоток джерела струму, що живить мережу напругою до 1000 В.
5. Призначення повторного заземлення нульового захисного провідника.
6. Яким повинен бути опір петлі фаза-нуль?
7. Які параметри визначаються при розрахунку занулення?
8. Пояснити, у якій послідовності виконують розрахунок занулення на вимикальну здатність.
9. Чому в мережах до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю корпуси установок повинні бути не тільки заземлені, але й занулені?

Розділ 7

ЗАХИСНЕ ВИМИКАННЯ

7.1. Призначення, основні елементи та галузі застосування захисного вимикання

Призначення. Захисне вимикання – швидкодіючий захист, що забезпечує автоматичне вимикання електроустановки при виникненні в ній небезпеки ураження людини струмом. Така небезпека може виникнути, зокрема, при замиканні фази на корпус, зниженні опору ізоляції мережі нижче певної межі й, нарешті, у випадку дотику людини безпосередньо до струмовідної частини, що перебуває під напругою.

У всіх випадках небезпека ураження обумовлена напругою дотику U_d або, інакше кажучи, струмом, що проходить через людину, I_h . Як відомо,

$$U_d = I_h R_h,$$

де R_h – опір тіла людини.

Таким чином, якщо при дотику людини до корпусу устаткування або фази мережі напруга дотику (або струм через людину) перевищить тривало припустиме значення, то виникне реальна загроза ураження людини струмом, і заходом захисту в цьому випадку може бути, зокрема, швидкий розрив кола струму через людину, тобто вимикання відповідної ділянки мережі. Для виконання цього завдання й призначене захисне вимикання.

Основними елементами пристрою захисного вимикання (ПЗВ) є прилад захисного вимикання й виконавчий орган – автоматичний вимикач.

Прилад захисного вимикання – сукупність окремих елементів, які сприймають вхідну величину, реагують на її зміни й при заданому її значенні дають сигнал на вимикання вимикача. Цими елементами є:

– *давач* – вхідна ланка пристрою, що сприймає вплив ззовні й здійснює перетворення цього впливу (тобто вхідної величини) у

відповідний сигнал; давачами служать, як правило, реле відповідного типу, а іноді вимірювальні трансформатори, вхід підсилювача, фільтри струму й напруги нульової послідовності й т.п.;

- *підсилювач*, призначений для посилення сигналу давача, якщо він виявляється недостатньо потужним;

- *кола контролю*, що служать для періодичної перевірки справності захисного вимикання;

- *допоміжні елементи* – сигнальні лампи й вимірювальні прилади (наприклад, омметр), що характеризують стан електроустановки.

Виконавчий орган – автоматичний вимикач, що забезпечує вимикання відповідної ділянки електроустановки (електричної мережі) при одержанні сигналу від приладу захисного вимикання.

У мережах напругою до 1000 В як вимикачі, що задовольняють вимоги захисного вимикання, успішно застосовуються:

- контактори*, тобто вимикачі, що мають електромагнітне керування у вигляді утримувальної котушки;

- магнітні пускачі* – трифазні контактори змінного струму, що мають теплові реле для автоматичного вимикання при перевантаженнях споживачів;

- автоматичні вимикачі* – найбільш складні апарати напругою до 1000 В, що вимикають, у тому числі швидкодіючі автомати;

- спеціальні вимикачі*, призначені для роботи в ПЗВ.

Основні вимоги, які повинні задовольняти ПЗВ:

- висока чутливість;
- малий час вимикання;
- селективність дії;
- здатність здійснювати самоконтроль справності;
- достатня надійність.

Чутливість ПЗВ характеризується здатністю реагувати на малі зміни вхідної величини, що безпосередньо впливає на ступінь безпеки.

Високочутливі пристрої дозволяють задавати установлення, що забезпечує безпеку дотику людини до фази. Однак вони, як правило, більш складні й дорогі. Під установленням у цьому

випадку розуміється наперед установлене значення вхідного сигналу, при якому ПЗВ спрацює.

Час вимикання $t_{\text{вимик}}$ дорівнює інтервалу часу з моменту виникнення аварійної ситуації до моменту припинення струму у всіх полюсах вимикача, тобто складається з часу дії захисту t_3 і часу дії вимикача t_B :

$$t_{\text{вимик}} = t_3 + t_B.$$

Час дії захисту t_3 відповідає періоду з моменту виникнення аварійної ситуації до подачі імпульсу на вимикання вимикача та залежить від конструкції й властивостей давача й інших елементів приладу. Зокрема, при наявності контактів і рухомих частин t_3 значно збільшується. Як правило, значення t_3 перебуває в межах 0,02-0,05 с.

Час дії вимикача t_B , а точніше повний час вимикання вимикача у свою чергу має дві складові: власний час вимикання $t_{B,ч.}$, тобто проміжок часу з моменту подачі імпульсу, що вимикає, на котушку, яка вимикає, до початку розбіжності контактів вимикача, і час горіння дуги між контактами t_r вимикача. Отже,

$$t_B = t_{B,ч.} + t_r.$$

У вимикачів до 1000 В $t_{B,ч.}$ звичайно значно більше t_r . Наприклад, в автоматах $t_{B,ч.} = 0,2-0,5$ с, а $t_r \approx 0,05$ с. Однак у швидкодіючих автоматах $t_{B,ч.} = 0,01-0,02$ с, і відповідно повний час вимикання $t_B = 0,06 - 0,07$ с.

Чим менше час вимикання, тим вище ступінь безпеки при тих самих умовах, тому що небезпека впливу струму знижується зі зменшенням часу його проходження через тіло людини.

Існуючі конструкції приладів і апаратів, що застосовуються у схемах захисного вимикання, забезпечують час вимикання $t_{\text{вимк}} = 0,05 - 0,2$ с.

Селективність характеризується вибірковістю дії ПЗВ та виражається в здатності вимикати з мережі лише пошкоджений

об'єкт, тобто об'єкт, у якому виникла небезпека ураження людини струмом. Це дуже важлива властивість захисного вимикання, оскільки через неселективність разом з ушкодженими об'єктами може вимикатися справне устаткування. На жаль, селективність мають лише деякі схеми захисного вимикання.

Самоконтроль характеризується здатністю реагувати на несправності у власній схемі шляхом вимикання об'єкта, що захищається. Ця ознака є бажаною для всіх типів ПЗВ. Однак цю властивість мають далеко не всі схеми.

Самоконтроль справності необхідний для схем ПЗВ, які застосовуються замість заземлення або занулення, тому що в протилежному випадку при відсутності заземлення (занулення) і несправності ПЗВ замикання на корпус залишиться невимкненим і створить реальну небезпеку ураження струмом.

Надійність ПЗВ характеризується постійною готовністю до дії, здатністю спрацювати у всіх випадках порушення нормального режиму роботи об'єкта, що захищається, з виникненням небезпеки ураження струмом і, нарешті, здатністю не реагувати на всі інші випадки порушення режиму.

Надійність повинна бути досить високою, тому що відмови ПЗВ можуть створювати небезпечні для людей умови з точки зору можливості ураження струмом (наприклад, пристрій не спрацював при замиканні фази на незаземлений корпус) або супроводжуватися безпричинними вимиканнями працюючого устаткування.

Галузь застосування ПЗВ практично не обмежена: вони можуть застосовуватися в мережах будь-якої напруги й з будь-яким режимом нейтралі. Проте, найбільшого поширення ПЗВ набули в мережах напругою до 1000 В, де вони забезпечують безпеку при замиканні фази на корпус, зниженні опору ізоляції мережі відносно землі нижче деякої межі, дотику людини до струмовідної частини, що перебуває під напругою, тощо. Однак ці властивості залежать від типу ПЗВ й параметрів електроустановки.

Захисне вимикання є досить раціональним заходом захисту в будь-яких електроустановках, але особливо коли з якихось причин важко здійснити ефективне заземлення або занулення, а також коли висока ймовірність випадкового дотику людей до

струмовідних частин. Такі умови найчастіше виникають у пересувних електроустановках, а також у стаціонарних, розташованих у районах з ґрунтами, що мають низьку провідність, випробувальних пристроях, у електроустановках приміщень, насичених металевими конструкціями, що мають зв'язок з землею тощо. Захисне вимикання незамінне для ручного електроінструменту.

Типи ПЗВ. Виникнення умов, небезпечних відносно ураження людини струмом, пов'язано зі зміною провідності фаз мережі відносно землі. Як результат цієї зміни можуть змінюватися й інші електричні параметри установки, наприклад:

- потенціал корпусу;
- струм, що стікає в землю;
- напруга фаз відносно землі;
- напруга нульової послідовності й ін.

Очевидно, що ступінь небезпеки ураження людини струмом, тобто значення напруги дотику (або струму, що проходить через людину) перебуває в певній залежності від цих параметрів. Отже, кожний із цих параметрів може служити вхідною величиною для ПЗВ.

Зазначені можливості використовуються в практиці створення ПЗВ, які залежно від прийнятих для них вхідних величин умовно діляться на такі типи, що реагують:

- на потенціал корпусу;
- струм замикання на землю;
- напругу нульової послідовності;
- струм нульової послідовності;
- напругу фази відносно землі;
- оперативний струм.

Застосовують також комбіновані пристрої, які реагують не на одну, а на кілька вхідних величин.

Галузь застосування, переваги та недоліки ПЗВ різних типів наведені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Галузь застосування, переваги та недоліки пристроїв захисного вимикання різних типів

Параметр, на який реагує ПЗВ	Галузь застосування	Переваги	Недоліки
1	2	3	4
Потенціал корпусу	Мережі напругою до 1000 В з ізолюваною або глухозаземленою нейтраллю, коли системи заземлення (занулення) малонадійні або неефективні. Електроустановки індивідуального заземлення	Простота схеми	Необхідність мати заземлення ПЗВ. Неселективне вимикання у випадку приєднання декількох електроустановок до одного заземлення. Відсутність самоконтролю справності
Струм замикання на землю	Електроустановки з ізолюваними від землі корпусами (переносний електроінструмент, пересувні електроустановки), мережі напругою до 1000 В з ізолюваною або глухозаземленою нейтраллю (зв'язок корпусів електроустановок з землею тільки через реле струму)	Простота схеми. Висока надійність і чіткість спрацьовування. Селективність	Втрата працездатності ПЗВ при обриві заземлювального або нульового захисного провідника. Порушення селективності роботи при наявності зв'язку між корпусами електроустановок. Відсутність самоконтролю справності

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4
Напруга нульової послідовності	Трифазні трипроводові мережі напругою до 1000 В малої довжини з ізольованою нейтраллю, високим опором ізоляції і невеликою ємністю відносно землі	Простота схеми. Надійність спрацьовування при глухих замиканнях на землю. Вимкнення мережі при переході на неї вищої напруги трансформатора	Нечутливість до симетричного зниження ізоляції проводів відносно землі. Можливість помилкових вимикань при великих опорах реле і фільтрів. Відсутність самоконтролю справності. Неселективність спрацьовування
Струм нульової послідовності	Додатковий спосіб захисту в мережах з ізольованою або глухозаземленою нейтраллю	Можливість застосування в будь-яких мережах	Вплив місця установлення трансформатора струму нульової послідовності

Розглянемо деякі з перелічених типів пристроїв захисного вимикання.

7.2. Пристрої захисного вимикання

7.2.1. Пристрої, що реагують на потенціал корпусу

Призначення ПЗВ цього типу – усунення небезпеки ураження людей струмом при виникненні на заземленому або зануленому корпусі підвищеного потенціалу. Звичайно ці пристрої є додатковим заходом захисту до заземлення або занулення.

Принцип дії – швидке відмикання від мережі ушкодженого устаткування, якщо потенціал φ_K , що виник на його корпусі,

виявиться вищим ніж потенціал $\varphi_{\text{к доп}}$, при якому напруга дотику до корпусу має найбільш довгостроково припустиме значення.

Принципова схема одного з таких пристроїв показана на рис. 7.1. Давачем у цій схемі служить реле максимальної напруги, ввімкнене між корпусом, що захищається, і допоміжним заземлювачем 2 безпосередньо або через трансформатор напруги.

Електроди допоміжного заземлювача повинні бути розміщені на відстані більше 20 м поза зоною розтікання струмів, що стікають із заземлювача корпусу або заземлювачів нульового провідника мережі.

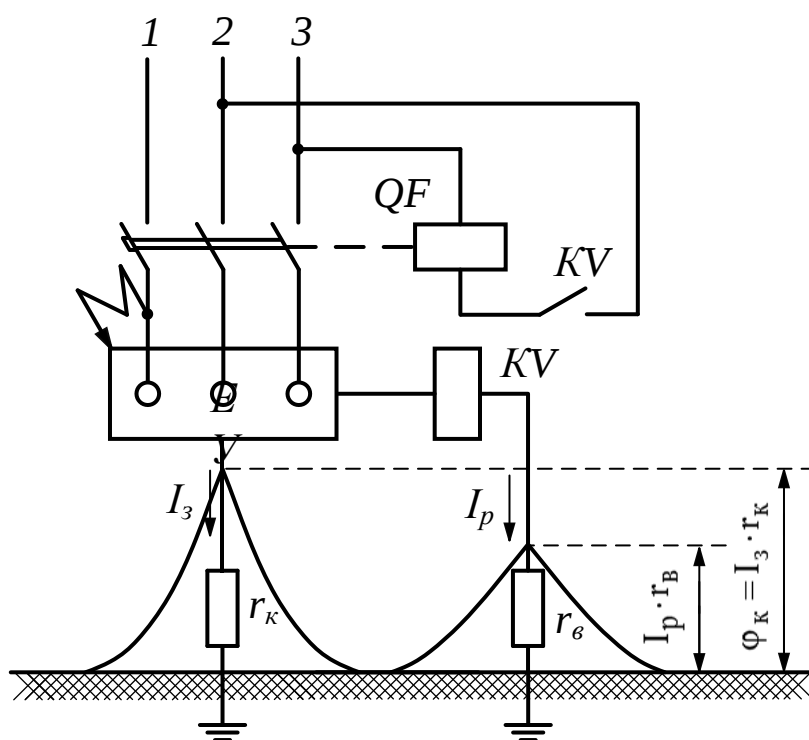


Рис. 7.1. Принципова схема ПЗВ, що реагує на потенціал корпусу: $r_{\text{к}}$ – опір захисного заземлення (корпусу); $r_{\text{в}}$ – опір допоміжного заземлення; $I_{\text{з}}$ – струм, що стікає в землю; KV – реле максимальної напруги; QF – котушка автоматичного вимикача (контактора, автомата, магнітного пускача тощо)

При замиканні фази на заземлений (або занулений) корпус спочатку проявляється захисна властивість заземлення (або занулення), що знижує потенціал корпусу до деякої межі

$$\varphi_{\text{к}} = I_{\text{з}} \cdot r_{\text{к}},$$

де r_k – опір заземлення (а при зануленні – опір повторних заземлень нульового захисного провідника);

I_3 – струм, що стікає в землю.

Якщо φ_k перевищить $\varphi_{k\text{ доп}}$, спрацює ПЗВ, тобто відбудеться вимикання ушкодженої установки з мережі.

Реле максимальної напруги можна вмикати також між корпусом електроприймача й нульовим провідником. При замиканні фази на корпус реле спрацює, викликавши перегорання запобіжника, тобто відмикання споживача від мережі.

Галузь застосування. Розглянутий тип захисного вимикання (реле безпеки персоналу) може застосовуватися в мережах всіх напруг незалежно від режиму нейтралі, коли система захисного заземлення або занулення малонадійна або недостатньо ефективна. Однак з урахуванням неселективності роботи ПЗВ цього типу його використання обмежується установками з індивідуальними заземленнями (наприклад, пересувними електроустановками).

Перевага ПЗВ, що реагують на потенціал корпусу, – виняткова простота їхніх схем.

Недоліками їх є необхідність мати допоміжне заземлення, неселективність відмикання у випадку приєднання декількох корпусів до одного заземлювача, відсутність самоконтролю справності й, нарешті, несталість установки при змінах опору r_b .

7.2.2. Пристрої, що реагують на струм замикання на землю

Призначення – усунення небезпеки ураження струмом людей при дотику до заземленого корпусу в період замикання на нього фази.

Принцип дії – швидке відмикання ушкодженого устаткування від мережі у випадку, якщо струм, який проходить через провідник, що заземлює корпус цього устаткування, перевищить деяку межу $I_{3\text{ доп}}$, при якій напруга дотику має найбільш довгостроково припустиме значення $U_{\text{т доп}}$.

Принципові схеми наведені на рис. 7.2. Давачем служить струмове реле КА, що має малий опір і ввімкнене безпосередньо в розсічку заземлювального проводу (рис. 7.2, а) або у вторинну обмотку трансформатора струму (рис. 7.2, б), який застосовується при великому струмі замикання на землю, коли важко підібрати реле. Зручно використовувати трансформатор струму, що насичується, при цьому обмотка реле не перевантажується, коли струм у первинній обмотці трансформатора більше номінального значення.

При замиканні фази на корпус струм, що стікає в землю, якщо він перевищує установлення, викликає спрацювання реле, тобто відмикання установки від мережі.

До схем розглянутого типу належать схеми, які застосовуються в системі занулення, коли струмове реле вмикається в розсічку провідників, що занулюють, і спрацьовує під дією струму однофазного короткого замикання. Такі пристрої відрізняються чіткістю спрацювання.

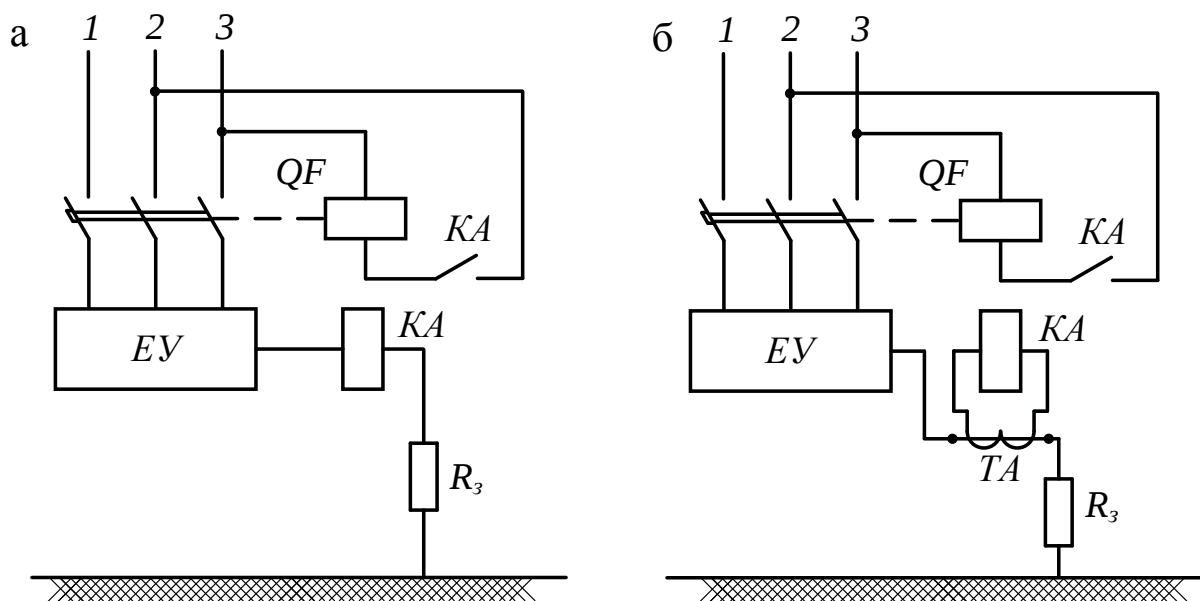


Рис. 7.2. Принципова схема ПЗВ, що реагує на струм замикання на землю: ТА – трансформатор струму; КА – реле струму; QF – котушка автоматичного вимикача

Галузь застосування розглянутих ПЗВ обмежується установками, корпуси яких ізольовані від землі, а, отже, і один від іншого, тобто установками, між якими немає електричних зв'язків,

крім зв'язку через реле. У цьому випадку захист працює селективно. Такими установками є ручний електрифікований інструмент, пересувні електроустановки тощо. Напруга живильної мережі й режим її нейтралі можуть бути будь-якими.

Перевагами розглянутих ПЗВ є простота конструкції, відносно високі надійність і чіткість спрацьовування, особливо при великих струмах, що проходять через реле, і можливість забезпечити селективність вимикання (при відсутності металевого зв'язку між корпусами, що захищаються).

Недолік зазначених пристроїв полягає в тому, що у випадку обриву заземлювального провідника ПЗВ перестає працювати. Разом з тим, оскільки корпуси електроприймачів, крім зв'язку через провідники системи заземлення або занулення, мають, як правило, зв'язок через металеві конструкції будівель і споруд, селективність роботи цих пристроїв не може бути забезпечена. Інакше кажучи, при наявності металевого зв'язку між корпусами, що захищаються, ПЗВ працює неселективно. І, нарешті, недоліком є відсутність самоконтролю справності.

7.2.3. Пристрої, що реагують на напругу нульової послідовності

Призначення цих ПЗВ – усунення небезпеки ураження струмом, яка виникає при глухому замиканні однієї або двох фаз на землю, у тому числі при замиканні фази на заземлений корпус. Ці схеми, як правило, не відмикають мережу при замиканні фази на землю через великий опір, а, отже, і при дотику людини до струмовідної частини.

Принцип дії – швидке відмикання мережі від джерела живлення при виникненні напруги нульової послідовності, обумовленої несиметрією повних провідностей проводів мережі відносно землі вище деякої межі.

Принципова схема пристрою показана на рис. 7.3. Давачем служить фільтр напруги нульової послідовності, що складається із трьох конденсаторів, з'єднаних у зірку. Для цієї мети можуть застосовуватися й інші типи фільтрів.

7.2.4. Пристрої, що реагують на струм нульової послідовності

Призначення ПЗВ цього типу – забезпечити безпеку людини у випадку дотику до заземленого (зануленого) корпусу при замиканні на нього фази або до струмовідної частини, що перебуває під напругою. Отже, цей пристрій може служити додатковим заходом захисту до захисного заземлення й занулення, а також як самостійний захист замість заземлення або занулення.

Принцип дії – швидке відмикання ділянки мережі або споживача енергії, якщо струм нульової послідовності перевищує деяке значення, при якому напруга дотику до «пробитого» корпусу або струмовідної частини, яка перебуває під напругою, має найбільше довгостроково допустиме значення.

Принципова схема пристрою показана на рис. 7.4. Давачем може служити трансформатор струму нульової послідовності ТА, який призначений для формування сигналу при появі струму витоку на землю. Його магнітопровід охоплює всі проводи мережі, що виконують у цьому випадку роль первинних одновиткових обмоток трансформатора. У результаті магнітні потоки, які створюються в магнітопроводі ТА струмами первинних обмоток, додаються, а сумарний потік зумовлює виникнення струму у вторинній обмотці ТА, що замикається через обмотку реле КА.

У мережі із заземленою нейтраллю ТА може надіватися на проводи, що з'єднують нейтральну точку обмоток силового трансформатора із заземлювачем. Для посилення сигналу й видачі команди на відмикання призначене реле струму КА.

Якщо на ділянці мережі, що захищається, провідності фаз відносно землі однакові, то сума струмів, які проходять по фазних проводах мережі, а отже, і струм через реле I_p дорівнюють нулю.

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 0; I_p = 0.$$

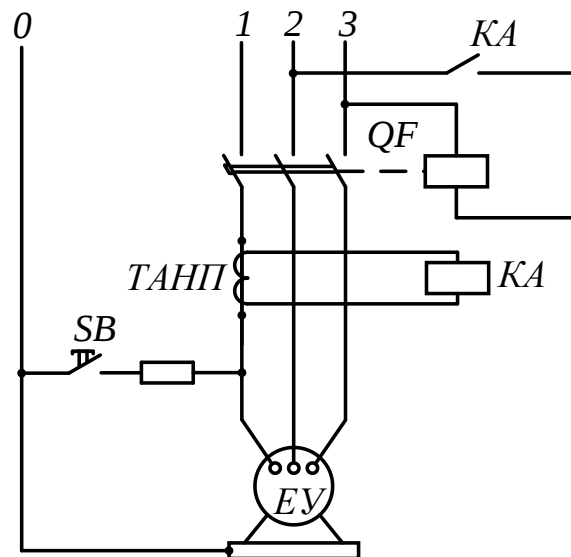


Рис. 7.4. Принципова схема пристрою захисного вимикання, що реагує на струм нульової послідовності: ТА – давач – трансформатор струму нульової послідовності; КА – реле струмове

Якщо на ділянці мережі, що захищається, виникає асиметрія провідностей фаз відносно землі в результаті, наприклад, замикання фази на землю, дотику людини до фази тощо, то наведені рівності порушуються, тому що з'являється струм нульової послідовності $3 \cdot I_0$, і через реле проходить струм I_p , пропорційний його значенню:

$$I_p = 3 \cdot I_0 \frac{1}{K_T}, \quad (7.1)$$

де K_T – коефіцієнт трансформації трансформаторів струму.

Цей струм, досягши значення струму спрацьовування реле або перевищивши його, викличе вимикання ділянки мережі, що захищається, від джерела живлення.

Галузь застосування пристроїв захисного вимикання, що реагують на струм нульової послідовності, – мережі будь-яких напруг як із заземленою, так і з ізольованою нейтраллю. При цьому в мережі з ізольованою нейтраллю найбільш ефективно в цьому

значенні устанавлення давача (фільтра) у безпосередній близькості від устаткування, що захищається. Його розміщення на початку протяжної лінії призводить, як правило, до неселективності або відмови роботи пристрою захисного вимикання.

У мережі із заземленою нейтраллю давач (фільтр) можна розміщати в будь-якому місці лінії, що не порушить селективності роботи пристрою.

Перевагами пристроїв захисного вимикання, що реагують на струм нульової послідовності, є: можливість застосування в мережах будь-яких напруг з різними режимами нейтралі; спроможність забезпечувати безпеку людини при дотику не тільки до корпусу, що опинився під напругою, але й до фазного проводу мережі, що перебуває під робочою напругою; високий ступінь надійності роботи, тобто мала кількість помилкових відмикань; незалежність роботи пристрою від значень опорів заземлення і нульового провідника. Остання перевага має неабияке значення в тих випадках, коли неможливо заземлити нейтраль трансформатора, корпус електроустаткування або нульовий провідник через малий опір або коли через віддаленість споживача опір нульового захисного провідника виявляється вище від нормованих значень.

Недоліками таких пристроїв є нечутливість до симетричних знижень опору ізоляції, складність конструкції пристрою, призначеного захищати людину від ураження струмом при дотику до струмовідної частини, що перебуває під напругою.

7.2.5. Пристрої, що реагують на оперативний струм

Про зміни опорів ізоляції проводів мережі щодо землі, які найчастіше зумовлюють безпеку експлуатації електроустановки, можна судити за значенням струму, що проходить через ці опори й отримується від стороннього джерела. У цьому випадку опори є вимірюваними величинами, а струм, що характеризує їх значення, – вимірювальним струмом. Його прийнято називати також оперативним струмом.

Очевидно, що оперативний струм може служити вхідною величиною пристрою захисного вимикання. У практиці для цього

застосовують як постійний струм, так і змінний струм різної частоти. Нижче для прикладу розглядається один з типів пристроїв захисного вимикання, у якому використовується постійний оперативний струм.

Призначення. Пристрої захисного вимикання, що реагують на оперативний постійний струм, призначені для безперервного автоматичного контролю опору ізоляції мережі, а також для захисту людини, що торкнулася до струмовідної частини, від ураження струмом.

Отже, пристрої захисного вимикання цього типу можуть служити самотійним заходом захисту від ураження струмом при дотику до незаземленого корпусу в період замикання на нього фази або до струмовідної частини, що перебуває під напругою. Вони також можуть служити додатковим захистом до заземлення.

Принцип дії – швидке відмикання мережі від джерела струму при зниженні опору її ізоляції щодо землі нижче деякої межі, при якому струм через людину, що торкнулася до струмовідної частини (або напруга дотику), досягає найбільшого довгостроково допустимого значення.

Принципова схема цього пристрою показана на рис. 7.5. Давачем служить реле КА з малим струмом спрацьовування (декілька міліампер). Трифазний дросель L_1 призначений для одержання нульової точки мережі; звичайно це дросель-трансформатор. Однофазний дросель L_2 необхідний для обмеження витоку в землю змінного струму, якому він чинить великий індуктивний опір.

Постійний струм від стороннього джерела проходить по замкненому колу: джерело – земля – опори ізоляції всіх проводів відносно землі – проводи – трифазний дросель L_1 – однофазний дросель L_2 – обмотка реле КА – джерело. Значення цього струму I_p залежить від напруги джерела постійного струму $U_{дж}$ і загального активного опору кола:

$$I_p = \frac{U_{дж}}{R_d + r_e}, \quad (7.2)$$

де R_d – сумарний активний опір реле й дроселів;

r_e – еквівалентний активний опір ізоляції проводів (r_1, r_2, r_3) і замикання фази на землю r_{3M} :

$$r_e = \frac{r \cdot r_{3M}}{r + r_{3M}}, \quad (7.3)$$

де r – активний опір ізоляції трьох фаз, що визначається за формулою

$$r = \frac{1}{1/r_1 + 1/r_2 + 1/r_3}.$$

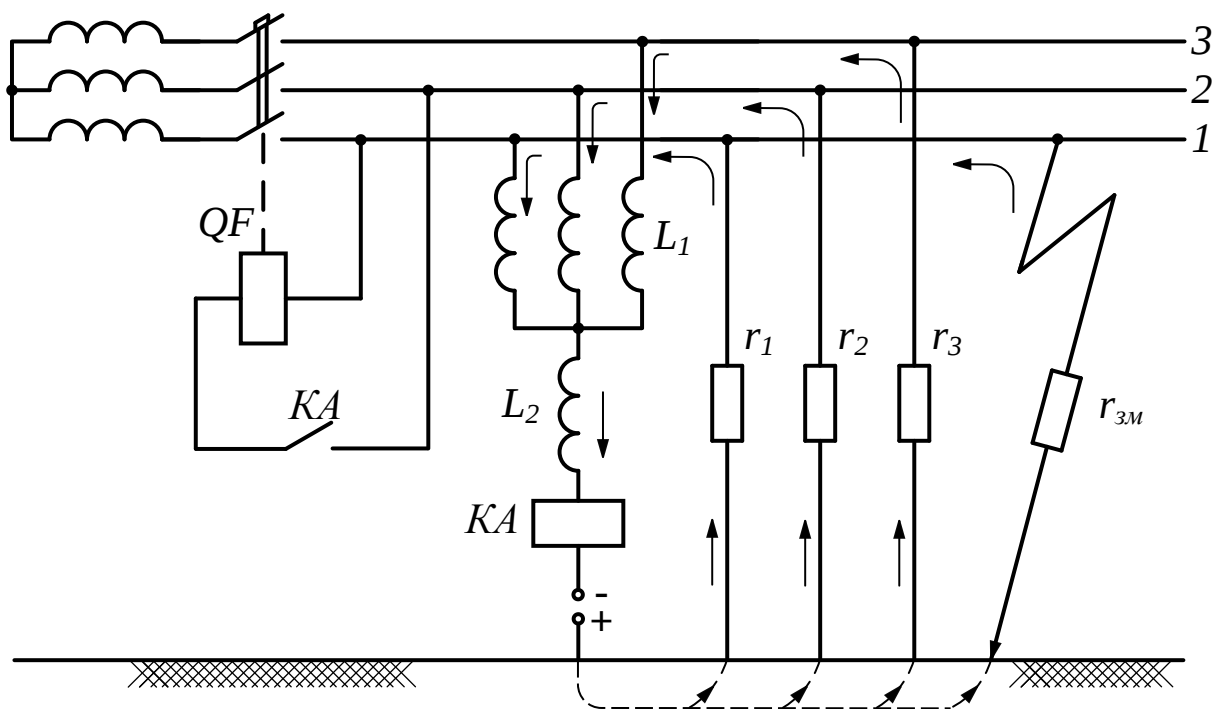


Рис. 7.5. Принципова схема пристрою захисного вимикання, що реагує на оперативний постійний струм

При нормальному режимі роботи мережі опір r_e великий і тому струм I_p незначний. У випадку зниження опору ізоляції однієї (або двох, трьох) фази в результаті її замикання на землю або на корпус, або в результаті дотику до неї людини опір r_e зменшиться, а струм I_p зросте і якщо він перевищить струм

спрацьовування реле КА, відбудеться відмикання мережі від джерела живлення.

Галузь застосування пристроїв, що реагують на оперативний постійний струм, – мережі напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю. При цьому корпуси об'єктів, що захищаються, можуть бути заземлені або ізольовані від землі. У мережі із заземленою нейтраллю ці схеми не застосовуються через шунтування опору ізоляції проводів малим опором заземлення нейтралі, унаслідок чого оперативний постійний струм замикається через це заземлення. Крім того, мережі, у яких використовуються розглянуті схеми, повинні бути невеликої довжини. Ця обставина диктується тим, що в протяжних мережах унаслідок порівняно великої ємності проводів щодо землі й малого опору ізоляції, як правило, не вдається забезпечити захист від ураження при дотику до фази.

Перевагами пристроїв захисного вимикання, що реагують на оперативний постійний струм, є можливість забезпечення високого ступеня безпеки для людей завдяки обмеженню струму, що проходить через людину, до необхідних меж і можливість самоконтролю справності, оскільки при обриві кіл проходження струму через реле припиняється, що й служить імпульсом на відмикання установки.

До недоліків цих пристроїв належать їх відносна складність, оскільки потрібне джерело постійного струму, а також неселективність роботи, що призводить до невиправданих відмикань справної мережі. Крім того, ці пристрої захисного вимикання не контролюють значення ємнісної провідності проводів мережі щодо землі, тому при великій ємності, що може бути в розгалужених кабельних мережах, ефективність дії пристроїв захисного вимикання суттєво знижується.

Контрольні питання

1. Призначення та галузь застосування пристроїв захисного вимикання.
2. Пояснити принцип дії захисного вимикання.
3. Основні елементи пристрою захисного вимикання.
4. Основні вимоги, які повинні задовольняти ПЗВ.
5. Типи пристроїв захисного вимикання.
6. Призначення, принцип дії, галузь застосування пристроїв, що реагують на потенціал корпусу.
7. Призначення, принцип дії, галузь застосування пристроїв, що реагують на струм замикання на землю.
8. Призначення, принцип дії, галузь застосування пристроїв, що реагують на напругу нульової послідовності.
9. Призначення, принцип дії, галузь застосування пристроїв, що реагують на струм нульової послідовності.
10. Призначення, принцип дії, галузь застосування пристроїв, що реагують на оперативний струм.

Розділ 8

ЕЛЕКТРИЧНЕ РОЗДІЛЕННЯ МЕРЕЖ І ВИКОРИСТАННЯ МАЛОЇ НАПРУГИ. ВИРІВНЮВАННЯ ПОТЕНЦІАЛІВ. ЗАХИСНА ІЗОЛЯЦІЯ

8.1. Електричне розділення мереж і використання малої напруги

Якщо єдину дуже розгалужену електричну мережу з великою ємністю та малим опором ізоляції розділити на низку невеликих мереж, які мають таку саму напругу, але з незначними ємностями та великими опорами ізоляції, небезпека ураження людини електричним струмом різко зменшується.

Електричне розділення мереж реалізується увімкненням у схему мережі розділового трансформатора: від первинної мережі з ізолюваною або глухозаземленою нейтраллю гальванічно відокремлюється ізолювана від землі ділянка мережі, яка живить електроприймач.

Розділовий трансформатор – це спеціальний трансформатор, коефіцієнт трансформації якого дорівнює одиниці, з вторинною напругою до 380 В. Розділовим трансформатором називається трансформатор, який призначений для відокремлення мережі, що живить електроприймач, від первинної електричної мережі, а також від мережі заземлення або занулення.

Такий трансформатор повинен задовольняти спеціальні технічні вимоги щодо підвищеної надійності конструкції та підвищених випробувальних напруг.

В електроустановках з розділовим трансформатором небезпека може виникнути при подвійному замиканні, коли корпус електроприймача виявиться під напругою через «пробій» ізоляції однієї фази, і одночасно відбудеться замикання на землю іншої фази (рис. 8.1).

Щоб зменшити ймовірність виникнення подвійного замикання і тим самим зменшити небезпеку ураження, мережа вторинної обмотки розділового трансформатора мусить бути короткою. Тому від розділового трансформатора дозволяється

живлення тільки одного електроприймача з номінальним струмом плавкої вставки або розчеплювача автомата на первинній стороні не більше ніж 15 А. Забороняється заземлення його вторинної обмотки. Корпус трансформатора залежно від режиму нейтралі джерела мусить бути заземлений або занулений. Заземлення корпусу електроприймача, приєднаного до розділового трансформатора, не вимагається. Цей трансформатор використовують в електроустановках напругою до 1000 В, які експлуатуються в особливо небезпечних умовах, наприклад на відкритих майданчиках.

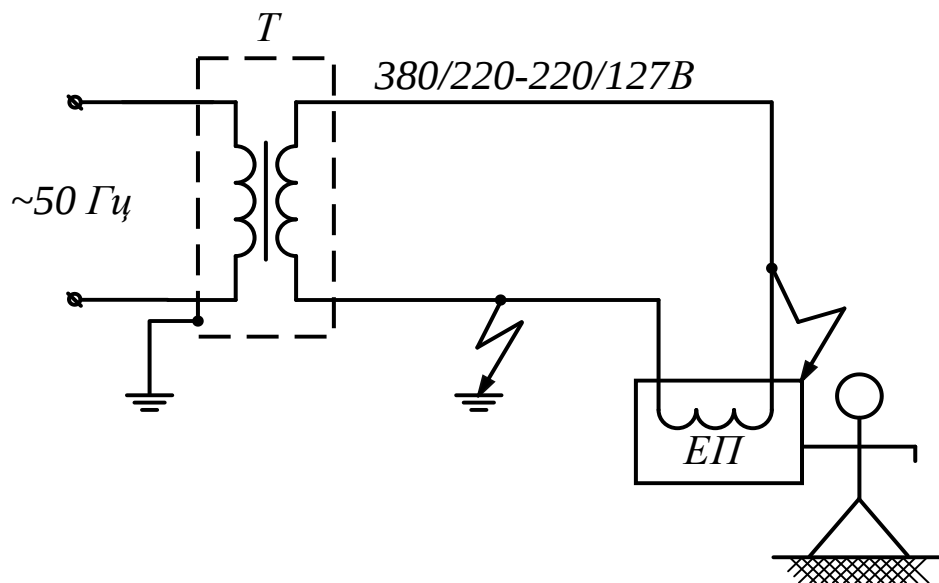


Рис. 8.1. Схема замикавання на корпус та замикавання на землю в мережі, яка живиться через розділовий трансформатор

Як розділові трансформатори можуть бути використані знижувальні трансформатори з вторинною напругою 42 В і нижче, якщо вони задовольняють вимоги, які ставляться до розділових трансформаторів.

Струмівідні частини кола, що живиться від розділового трансформатора, не повинні мати з'єднань із заземленими частинами й захисними провідниками інших кіл.

Провідники кіл, що живляться від розділового трансформатора, рекомендується прокладати окремо від інших кіл. Якщо це неможливо, то для таких кіл необхідно використовувати кабелі без металевої оболонки, броні, екрана або ізольовані проводи, прокладені в ізоляційних трубах, коробах і каналах за умови, що номінальна напруга цих кабелів і проводів

відповідає найбільшій напрузі спільно прокладених кіл, а кожне коло захищене від надструмів.

Якщо від розділового трансформатора живиться тільки один електроприймач, то його відкриті частини, що проводять струм, не повинні бути приєднані ні до захисного провідника, ні до відкритих провідних частин інших кіл.

Під час виконання робіт за допомогою пересувних електричних машин, переносного електрифікованого інструменту, переносних світильників людина має довгочасний контакт з корпусами цього електрообладнання. Ураховуючи ту обставину, що в результаті пересування або під час роботи можливі різні механічні пошкодження, у тому числі й ізоляції, небезпека ураження електричним струмом різко зростає. При цьому можлива поява напруги на корпусі, особливо коли робота виконується в приміщеннях із підвищеною небезпекою, особливо небезпечних або поза приміщеннями.

Захисним засобом, який усуває таку небезпеку, є застосування для живлення вказаного вище електрообладнання малої напруги – не більш як 42 В.

Наднизька (мала) напруга в електроустановках напругою до 1 кВ може бути застосована для захисту від ураження електричним струмом при прямому й (або) непрямому дотику у сполученні із захисним електричним розділенням кіл або в сполученні з автоматичним вимиканням живлення. У цьому випадку напруга електроустановки не перевищує тривало допустимої напруги дотику, і контакт людини із струмовідними частинами буде безпечним, оскільки при такій напрузі струм через людину не перевищує 1,0–1,5 мА. Але в приміщеннях із підвищеною небезпекою, особливо небезпечних приміщеннях, а також в інших умовах підвищеної небезпеки опір людини може бути суттєво зниженим, і в результаті випадкового дотику до струмовідних частин струм, що проходить через людину, може досягати небезпечних значень. Тому за таких умов рекомендується застосування захисних засобів.

Джерелами зниженої напруги є, як правило, спеціальні знижувальні трансформатори з вторинною напругою не більше ніж 42 В. Щоб виключити небезпеку ураження людини струмом у випадку замикання на корпус або в разі переходу високої напруги

на обмотку нижчої напруги, корпус трансформатора, а також один із виводів, нейтраль або середня точка вторинної обмотки повинні бути заземлені.

Крім того, джерелами малої напруги можуть бути акумулятор, випрямна або перетворювальна установка.

Струмівідні частини кіл малої напруги повинні бути електрично відділені від інших кіл так, щоб забезпечувалося електричне розділення, рівноцінне розділенню між первинною й вторинною обмотками розділового трансформатора. Провідники кіл малої напруги, як правило, повинні бути прокладені окремо від провідників більш високих напруг і захисних провідників або відділені від них заземленим металевим екраном (оболонкою), або укладені в неметалеву оболонку додатково до основної ізоляції.

При значеннях малої напруги вище ніж 25 В змінного або 60 В постійного струму повинен бути також виконаний захист від прямого дотику за допомогою огорож, оболонок або ізоляції, що витримує випробувальну напругу 500 В змінного струму протягом 1 хв.

Малу напругу в сполученні з електричним розділенням кіл необхідно застосовувати, коли за допомогою малої напруги необхідно забезпечити захист від ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції не тільки в колі малої напруги, але й при пошкодженні ізоляції в інших колах, наприклад, у колі, що живить джерело.

При застосуванні малої напруги в сполученні з автоматичним вимиканням живлення один з виводів джерела малої напруги і його корпус повинні бути приєднані до захисного провідника кола, що живить джерело.

Застосування малої напруги зменшує небезпеку ураження, але не дає повної гарантії безпеки, тому в умовах підвищеної небезпеки мають бути використані засоби захисту. Використання малої напруги застосовується як додатковий до основних технічних способів захисту в електроустановках до 1000 В.

8.2. Вирівнювання потенціалів

Вирівнювання потенціалів здійснюється з метою усунення небезпеки ураження електричним струмом у випадку дотику

людини до корпусу електроустановки або до інших конструктивних частин, які опинилися під напругою, якщо безпека не забезпечується захисним заземленням або зануленням.

Вирівнювання потенціалів як захисний засіб базується на зниженні різниці потенціалів між точками або елементами конструкції, до яких може доторкнутися людина.

Принцип дії цього способу захисту полягає:

- у зменшенні напруги дотику вирівнюванням потенціалів основи, на якій стоїть людина, і заземленого (зануленого) обладнання шляхом збільшення потенціалу основи в межах площі, з якої можливий дотик, до рівня, що близький до потенціалу обладнання;

- у зменшенні напруги між заземленим (зануленим) обладнанням і будівельними або виробничими конструкціями в приміщеннях або зовнішніх установках за рахунок збільшення потенціалу останніх до рівня, що близький до потенціалу обладнання;

- у зменшенні напруги кроку шляхом формування зони розтікання струму заземлювачів із більш пологою потенціальною кривою.

Вирівнювання потенціалів застосовується як додатковий до захисного заземлення (занулення) технічний спосіб захисту в електроустановках напругою до 1000 В мереж змінного струму з ізолюваною або глухозаземленою нейтраллю, з ізолюваним або глухозаземленим виводом джерела однофазного струму, а також в електроустановках мереж постійного струму з ізолюваною або заземленою середньою точкою.

Вирівнювання потенціалів зводиться до вирівнювання потенціалів електрообладнання й основи, заземленого або зануленого електрообладнання і конструкції, до вирівнювання потенціалів за межами контуру заземлення. Здійснюється вирівнювання потенціалів за допомогою великої кількості металевих зв'язків між металевими конструкціями будівель, обладнання та проводами і штучними заземлювачами.

Зрівнювання потенціалів електрообладнання й основи досягається влаштуванням контурного заземлювача, електроди якого розташовують навколо будівлі із заземленим електрообладнанням або по контуру навколо цього обладнання.

Усередині контурного заземлювача прокладають горизонтальні поперечні і поздовжні електроди – сталеві полоси на ребро, з'єднані зварюванням з електродами контуру.

Зрівнювання потенціалу заземленого або зануленого електрообладнання і конструкцій здійснюється приєднанням останніх до мережі заземлення або занулення.

У приміщеннях і зовнішніх установках, де застосовують заземлення або занулення, будівельні і виробничі конструкції, стаціонарно прокладені трубопроводи всіх призначень, металеві корпуси технологічного обладнання, підкранові і залізничні рейки і т.п. приєднують до мережі заземлення або занулення; при цьому природні контакти в зчленуваннях є достатніми.

Зрівнювання потенціалів за межами контуру заземлювача (зменшення напруги кроку) в електроустановках до 1000 В виконують, якщо їх заземлювальні пристрої з'єднані за допомогою металевого зв'язку із заземлювачем електроустановки напругою вище ніж 1000 В із заземленою нейтралю.

Зрівнювання потенціалів навколо електроустановки напругою до 1000 В або навколо будівлі, у якій вона розташована, здійснюють заземлювачем із горизонтальних смуг провідників, прокладених у землі на глибині 1 м і на відстані 1 м від фундаменту будівлі або периметра майданчика, зайнятого обладнанням, і горизонтальних провідників, прокладених у землі біля входів і в'їздів на глибині 1 і 1,5 м на відстані 1 і 2 м відповідно від заземлювача. Заземлювач з'єднують з мережею заземлення або занулення, з металевими конструкціями будівельного або виробничого призначення та з горизонтальними смугами провідників біля входів і в'їздів. Замість заземлювача і смуг провідників можна використовувати залізобетонні фундаменти як заземлювачі, якщо при цьому забезпечується допустиме значення потенціалів. Потенціал не вирівнюють, якщо навколо будівлі є асфальтові вимощення.

8.3. Захисна ізоляція

Ізоляція служить для електричного роз'єднання струмовідних частин, які перебувають під різними потенціалами. Небезпеці торкання струмовідних частин, що перебувають під

напругою, можна запобігти шляхом надійної електричної ізоляції, яка постійно підтримується у справному стані.

Ізоляційні матеріали вибираються з урахуванням електричної та механічної міцності, стійкості до нагрівання, дії вологи або хімічного активного середовища.

Розрізняють такі **види ізоляції**: робочу, додаткову, подвійну та посилену.

Робоча ізоляція – електрична ізоляція струмовідних частин електроустановок, що забезпечує її нормальну роботу та захист від ураження електричним струмом.

Додаткова ізоляція – електрична ізоляція, що додатково передбачається до робочої ізоляції для захисту від ураження електричним струмом у разі пошкодження робочої ізоляції.

Подвійна ізоляція – електрична ізоляція, яка складається з робочої і додаткової ізоляції.

Посилена ізоляція – поліпшена робоча ізоляція, що забезпечує такий же ступінь захисту від ураження електричним струмом, як і подвійна ізоляція

За способом захисту людини від ураження електричним струмом електротехнічні вироби підрозділяються на п'ять класів.

0 – вироби, що мають принаймні робочу ізоляцію і що не мають елементів для заземлення, якщо ці вироби не віднесені до класів II й III.

0I – вироби, що мають принаймні робочу ізоляцію, елемент для заземлення і провід без жили, що заземлює, для приєднання до джерела живлення.

I – вироби, що мають принаймні робочу ізоляцію й елемент для заземлення.

II – вироби, що мають подвійну чи посилену ізоляцію і не мають елементів для заземлення.

III – вироби, що не мають ні внутрішніх, ні зовнішніх електричних кіл з напругою вище ніж 42 В.

Якщо виріб класу I має провід для приєднання до джерела живлення, цей провід повинен мати жилу, що заземлює, і вилку з контактом, що заземлює.

Вироби, що одержують живлення від зовнішнього джерела, можуть бути віднесені до класу III тільки в тому випадку, якщо вони призначені для приєднання безпосередньо до джерела

живлення з напругою не вище ніж 42 В, у якого при холостому ході воно не перевищує 50 В. При використанні як джерело живлення трансформатора (перетворювача струму), його вхідна і вихідна обмотки не повинні бути електрично зв'язані, і між ними повинна бути подвійна чи посилена ізоляція.

Від стану ізоляції залежить справна робота електроустановок та їх безпечна експлуатація.

Контрольні питання

1. У чому полягає принцип дії розділення мереж для забезпечення персоналу?
2. Як реалізується електричне розділення мереж?
3. Пояснити принцип дії розділового трансформатора.
4. У чому полягає принцип дії вирівнювання потенціалів?
5. Мета здійснення вирівнювання потенціалів.
6. Як досягається зменшення напруги дотику вирівнюванням потенціалів?
7. Як досягається зменшення напруги кроку?
8. Які види ізоляції розрізняють в електроустановках?
9. На які класи за ступенем захисту людини від ураження електричним струмом підрозділяються електротехнічні вироби?
10. Поясніть методи визначення стану ізоляції електрообладнання.

Розділ 9

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ЗАХИСТУ ВІД УРАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ

9.1. Стаціонарні захисні пристрої

Небезпека ураження електричним струмом виникає не тільки при доторканні до струмовідних частин, але й при наближенні до них. Для виключення можливості наближення до струмовідних частин їх розташовують у місцях, недоступних для людей, або огорожують їх стаціонарними захисними пристроями: захисними огорожами, кожухами тощо.

Захисні огорожі повинні мати достатню механічну міцність, бути пожежостійкими, розташовуватися на відстанях, що регламентовані Правилами безпечної експлуатації.

Огорожі треба закріплювати так, щоб їх неможливо було зняти без інструменту або пристроїв; вони повинні бути конструктивно зв'язаними з обладнанням і зроблені у вигляді ящиків чи шаф, які замикаються на замок.

В електроустановках напругою понад 1000 В застосовують сітчасті огорожі. В електроустановках напругою до 1000 В, крім сітчастих, застосовують суцільні захисні пристрої (кожухи, кришки тощо).

До засобів захисту належать також блокувальні пристрої та запобіжна сигналізація.

Блокувальні пристрої – це надійні засоби захисту від випадкового торкання струмовідних частин, а також при помилковій дії обслуговуючого персоналу.

Блокувальним пристроєм називається пристрій, що забезпечує знімання напруги зі струмовідних елементів і електроустановок при спробі проникнення до них без вимикання напруги. За принципом дії вони поділяються на електричні, механічні та електромеханічні.

Електричні блокування забезпечують розрив електричного кола й знеструмлення установки і струмовідних частин або захист від аварії електроустановки при неправильно виконаній операції керування.

Механічні блокування застосовують у рубильниках, пусках, автоматичних вимикачах тощо. Конструктивно вони виконані так, що не дають змоги знімати кожухи з виробів без їх вимикання.

Електромеханічні блокування поєднують обидва попередніх типи блокувань.

Найчастіше блокування використовують для забезпечення автоматичного зняття напруги з усіх елементів електроустановки при відчиненні захисних огорож. На рис. 9.1 показана схема електричного блокування.

Запобіжна сигналізація може бути світловою, звуковою, кольоровою. В останньому випадку струмовідні частини, які перебувають під небезпечною напругою, фарбують у яскраво-червоний колір.

Сигналізація привертає увагу обслуговуючого персоналу і запобігає неправильній його дії.

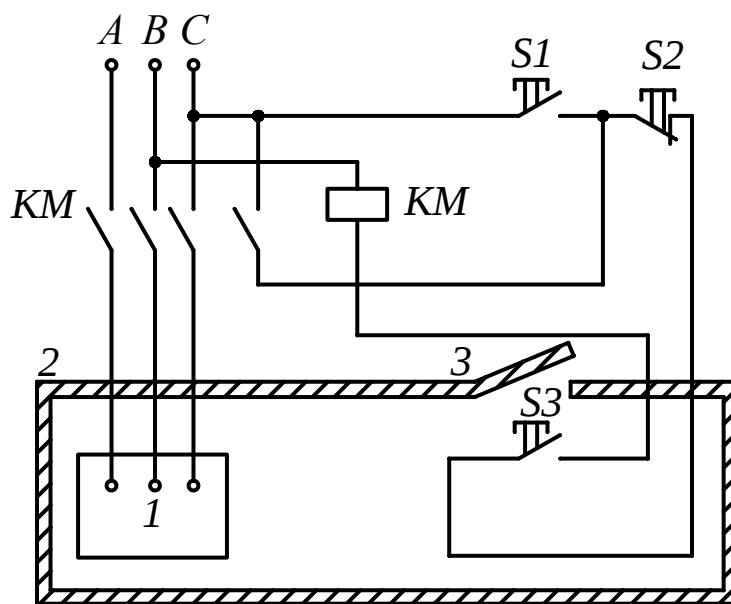


Рис. 9.1. Схема електричного блокування: 1 – електроустановка;
2 – сітчаста огорожа; 3 – двері; КМ – магнітний пускач;
S3 – блокування дверей

Світлова сигналізація здійснюється за допомогою ламп розжарювання або неонових ламп, які розташовують на щитку керування або біля місць, де повинні проводитися ті чи інші операції.

При вимкненні рубильника або роз'єднувача одночасно за допомогою блок-контактів замикається коло живлення сигнальної лампи, свічення якої означає, що напругу з установки знято. Така схема сигналізації називається сигналізацією безпеки. Однак при несправності блок-контактів або роз'єднувача (рубильника) сигнальні лампи будуть світитися й при наявності напруги на установці, що може бути причиною нещасного випадку. Тому при вході за огорожу треба незалежно від стану сигналізації перевірити відсутність напруги.

Для сигналізації вимикання установки напругою вище ніж 250 В застосовуються червоні сигнальні лампи. Для іншої мети застосовуються зелені та жовті лампи.

9.2. Засоби захисту, що застосовуються в електроустановках

9.2.1. Класифікація засобів захисту

У процесі експлуатації електроустановок часто виникають умови, за яких навіть найбільш удосконалене конструктивне виконання установок не забезпечує безпеки працівника, тому потрібно застосовувати спеціальні захисні засоби – переносні прилади і пристосування, які захищають персонал від ураження електричним струмом, від дії електричної дуги, продуктів горіння тощо. Ці засоби не належать до конструктивних частин електроустановок: вони доповнюють стаціонарні захисні пристрої електроустановок – огорожі, блокування, сигналізацію, захисне заземлення, занулення тощо.

Засоби захисту, які застосовуються в електроустановках, можуть бути умовно поділені на три групи:

- від ураження електричним струмом (так звані електрозахисні засоби);
- від впливу електричного поля;
- засоби індивідуального та колективного захисту.

Електрозахисні засоби забезпечують ізоляцію людини від струмовідних або заземлених частин, а також від землі (рис. 9.2). Вони поділяються на основні та додаткові.

Основними електрозахисними засобами називаються електроізолювальні засоби, ізоляція яких довгий час витримує робочу напругу електроустановки і які дають змогу працювати на струмовідних частинах, що перебувають під напругою, а **додатковими** – електроізолювальні засоби, які самі по собі не можуть при цій напрузі забезпечити захист від ураження електричним струмом, оскільки не мають ізоляції, здатної витримати робочу напругу електроустановки. Їх призначення – посилити захисну дію основних засобів, разом з якими вони повинні застосовуватись. Вони доповнюють основні засоби захисту, а також можуть захищати від напруги дотику й напруги кроку.

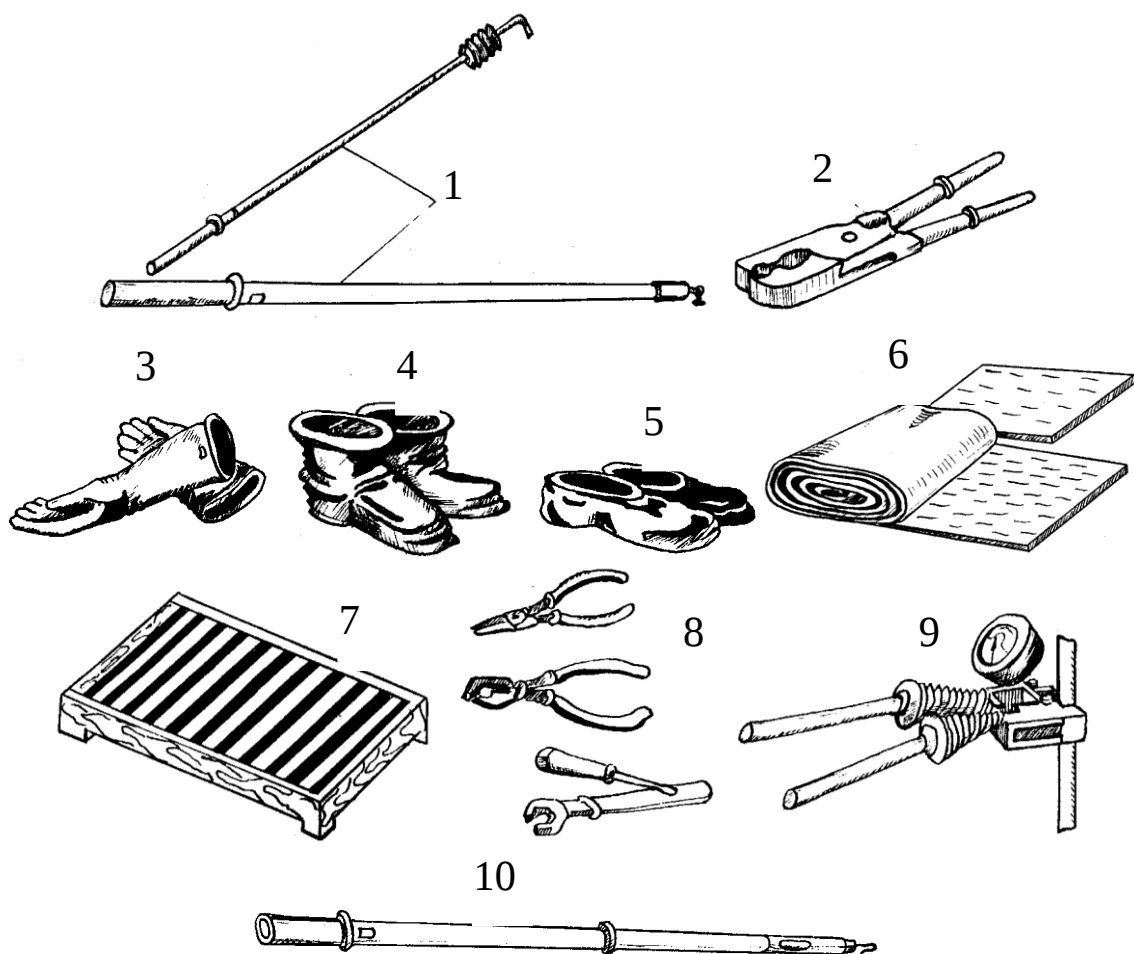


Рис. 9.2. Електрозахисні засоби:

- 1 – ізолювальні штанги; 2 – ізолювальні кліщі; 3 – діелектричні рукавички; 4 – діелектричні боти; 5 – діелектричні калоші;
- 6 – діелектричні килими; 7 – ізолювальні підставки;
- 8 – інструмент з ізольованими рукоятками;
- 9 – електровимірювальні кліщі; 10 – показчик високої напруги

Основні ізолювальні електрозахисні засоби, які повинні застосовуватись в електроустановках, наведено в табл. 9.1.

Ізолювальна частина основних електрозахисних засобів виготовляється з електроізоляційних матеріалів із стійкими діелектричними властивостями (із фарфору, паперово-бакелітових труб, ебоніту, гетинаксу, деревощаруватих пластиків, пластикових і склоепоксидних матеріалів тощо). При цьому матеріали, які поглинають вологу (паперово-бакелітові труби, дерево тощо), покриваються вологостійким лаком і повинні мати гладку поверхню без тріщин, розшарувань і подряпин.

Таблиця 9.1

Основні ізолювальні електрозахисні засоби для роботи в електроустановках

До 1000 В	Понад 1000 В
Ізолювальні штанги	Ізолювальні штанги всіх видів
Ізолювальні кліщі	Ізолювальні кліщі
Електровимірювальні кліщі	Електровимірювальні кліщі
Показчики напруги	Показчики напруги
Діелектричні рукавички	Пристрої для створення безпечних умов роботи під час проведення випробувань і вимірювань (показчики напруги для фазування, показчики пошкодження кабелів тощо)
Інструмент з ізольованими рукоятками	

Додаткові електрозахисні засоби, які повинні застосовуватись в електроустановках, наведено в табл. 9.2.

До **засобів захисту від дії електричних полів** з напруженістю, що перевищує допустиму для перебування працівників в електричному полі без засобів захисту, належать індивідуальні екранувальні комплекти, а також знімні й переносні екранувальні пристрої та плакати безпеки.

Крім наведених у табл. 9.1 і 9.2 засобів захисту, в електроустановках повинні застосовуватись такі **засоби індивідуального захисту**:

- захисні каски – для захисту голови;

- захисні окуляри й щитки – для захисту очей і обличчя;
- протигази й респіратори – для захисту органів дихання;
- рукавиці – для захисту рук;
- запобіжні пояси та страхувальні канати.

Таблиця 9.2

Додаткові електрозахисні засоби для роботи в електроустановках

До 1000 В включно	Понад 1000 В
Діелектричне взуття	Діелектричні рукавички
Діелектричні килими	Діелектричне взуття
Ізолювальні підставки	Діелектричні килими
Ізолювальні накладки	Ізолювальні підставки
Ізолювальні ковпаки	Ізолювальні накладки
Сигналізатори напруги	Ізолювальні ковпаки
Переносні заземлення	Штанги для перенесення й вирівнювання потенціалу
Плакати і знаки безпеки	Сигналізатори напруги
Захисні огорожі (щити, ширми)	Захисні огорожі (щити, ширми)
Інші засоби захисту	Переносні заземлення
	Плакати і знаки безпеки
	Інші засоби захисту

Вибір необхідних електрозахисних засобів і засобів індивідуального захисту регламентується відповідними нормативними документами з урахуванням місцевих умов.

9.2.2. Призначення та правила застосування ізолювальних електрозахисних засобів

9.2.2.1. Ізолювальні штанги

Призначення. Ізолювальна штанга – стержень, виготовлений з ізоляційного матеріалу, яким людина може торкатися частин електроустановки, що перебувають під напругою. Штанга є основним ізолювальним електрозахисним засобом, тобто вона може витримувати робочу напругу установки (рис. 9.2, 1).

Залежно від призначення штанги поділяють на чотири види:

- оперативні, які використовуються для операцій з однополюсними роз'єднувачами і накладання тимчасових переносних захисних заземлень; їх застосовують також для зняття й установлення запобіжників і т.п.;

- вимірювальні, які призначені для вимірювань в електроустановках, які перебувають під напругою (перевірка розподілу напруги на ізоляторах гірлянди, визначення опору контактних з'єднань на проводах і т.п.);

- ремонтні, які призначені для проведення ремонтних і монтажних робіт поблизу струмовідних частин, що перебувають під напругою, або безпосередньо на них: очищення ізоляції від пилу, приєднання до проводів споживачів, обрізання гілок дерев поблизу проводів повітряних ліній, знімання з проводів накидів, установлення на проводи гасників вібрацій, розрядників і т.п.;

- універсальні, конструкція яких дає змогу виконувати різні операції, у тому числі деякі з тих, для яких призначені оперативні і ремонтні штанги. Вони можуть бути зі змінними головками (робочими частинами).

Конструкція. Штанга має три основних частини: робочу, ізолювальну і рукоятку. Робоча частина обумовлює призначення штанги, наприклад, робоча частина штанги для накладання заземлень має затискач і струбцину, які з'єднані заземлювальним провідником перерізом не менше ніж 25 мм². Робоча частина повинна забезпечувати надійне кріплення змінних пристроїв.

Ізолювальна частина забезпечує ізоляцію людини від струмовідних частин, вона виготовляється із ізоляційних матеріалів, які мають високу електричну й механічну міцність і стійкість до атмосферних дій. Цим вимогам відповідають трубки діаметром 30–40 мм з бакеліту, склопластику і т.п. Довжина ізолювальної частини повинна виключати небезпеку перекриття її по поверхні при найбільших можливих напругах. Найменші допустимі розміри ізолювальних штанг наведені в табл. 9.3.

Рукоятка призначена для утримання штанги руками. Вона є продовженням ізолювальної частини і відокремлюється від неї обмежувальним кільцем.

Правила користування. Штанги слід застосовувати у закритих РУ. Застосування їх у відкритих РУ допускається тільки в суху погоду.

Операції штангою може проводити тільки кваліфікований персонал. Як правило, при цьому повинна бути присутня друга людина, яка контролює дії оператора і за потреби може надати допомогу.

Таблиця 9.3

Найменші допустимі розміри ізолювальних штанг

Номінальна напруга електроустановки, кВ	Довжина, м	
	ізолювальної частини	рукоятки
2–15	0,7	0,3
Від 15 до 35	1,1	0,4
Від 35 до 110	1,4	0,6
150	2,0	0,8
220	2,5	0,8

При роботі штангою повинні використовуватись діелектричні рукавички. При роботі забороняється торкатися штанги вище обмежувального кільця.

9.2.2.2. Ізолювальні кліщі

Призначення ізолювальних кліщів (рис. 9.2, 2) – виконання операцій під напругою із запобіжниками, установлення і знімання ізолювальних накладок, перегородок і т.п. Застосовують кліщі в установках до 35 кВ включно.

Конструкція кліщів різна, але у всіх випадках вони мають три основні частини: робочу частину, або губки, ізолювальну частину і рукоятки.

Ізолювальну частину і рукоятки кліщів необхідно виготовляти з електроізоляційного матеріалу. Ізолювальна частина відокремлюється від рукоятки обмежувальним упором (кільцем).

Розміри робочої частини не нормуються. Довжина ізолювальної частини кліщів повинна бути не меншою ніж 45 см при напрузі 6–10 кВ і не меншою ніж 75 см при напрузі вище ніж

10 до 35 кВ, а довжина рукояток – не менше ніж 15 і 20 см відповідно.

Правила використання. Ізолювальні кліщі повинні використовуватись у закритих електроустановках, а в суху погоду – у відкритих.

В установках вище 1000 В у працівника на руках повинні бути діелектричні рукавички, а при зніманні або встановленні запобіжників під напругою він мусить користуватися, крім того, і захисними окулярами.

9.2.2.3. Електровимірювальні кліщі

Призначення. Електровимірювальні кліщі (рис. 9.2, 9) призначені для вимірювання електричних величин (струму, напруги, потужності та ін.) в електричних колах без порушення їх цілісності.

Найбільше розповсюдження отримали струмовимірювальні кліщі. Вони призначені для швидкого вимірювання струму у провіднику без розриву і виводу його з роботи.

Конструкція. Струмовимірювальні кліщі змінного струму основані на принципі одновиткового трансформатора струму, первинною обмоткою якого є шина або провід з вимірювальним струмом, а вторинна обмотка, до якої підімкнений амперметр, намотана на рознімний магнітопровід (рис. 9.3, а). Для охоплення шини магнітопровід розкривається як звичайні кліщі.

Змінний струм, що проходить на струмовідній частині, що охоплена магнітопроводом, утворює в ньому змінний магнітний потік, який наводить ЕРС у замкненій вторинній обмотці кліщів. У цій обмотці ЕРС утворює струм, який вимірюється амперметром.

Електровимірювальні кліщі бувають двох типів: дворучні для установок 2–10 кВ (рис. 9.3, а) і одноручні (рис. 9.3, б) для установок до 1000 В. Кліщі мають три основні частини: робочу, ізолювальну і рукоятки. В одноручних кліщів ізолювальна частина служить одночасно рукояткою. Їх розкриття здійснюється за допомогою важеля.

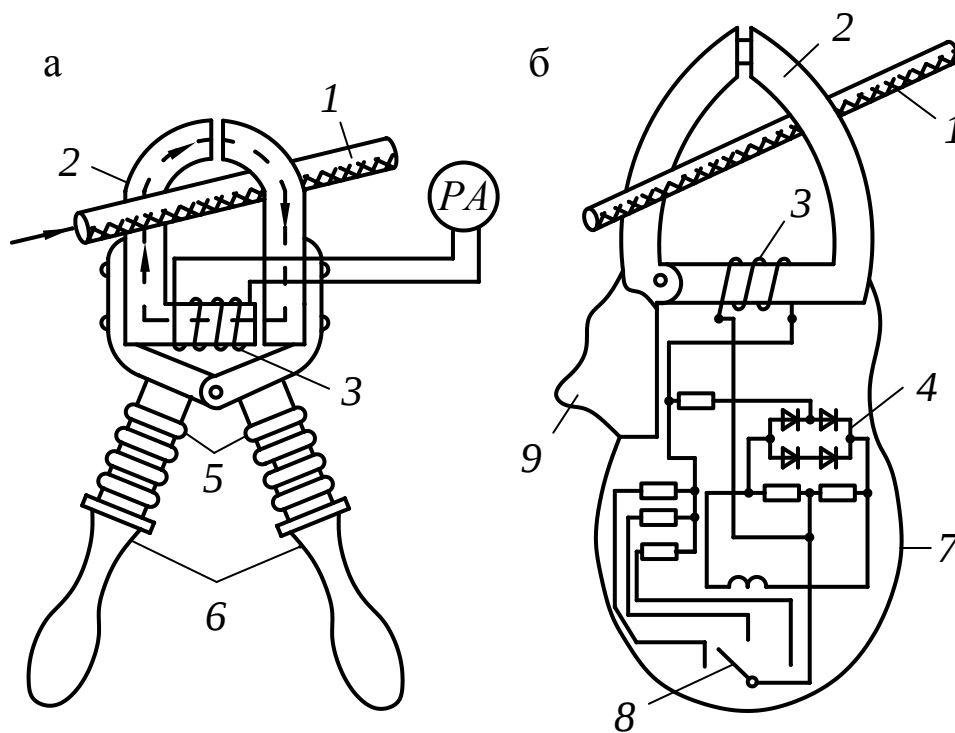


Рисунок 9.3 – Схеми струмовимірювальних кліщів змінного струму:

- а – схема кліщів з одновитковим трансформатором струму;
- б – схема, яка поєднує одновитковий трансформатор струму з випрямлячем; 1 – провідник з вимірювальним струмом;
- 2 – рознімний магнітопровід; 3 – вторинна обмотка;
- 4 – випрямний місток; 5 – ізолювальна частина; 6 – рукоятки;
- 7 – корпус; 8 – перемикач границь вимірювань; 9 – важіль розкриття магнітопроводу

Корпус вимірювального приладу, ізолювальна частина з упором і рукояткою повинні виготовлятися з електроізоляційного матеріалу.

Електровимірювальні кліщі для установок 2 – 10 кВ мають довжину ізолювальної частини не менше ніж 38 см, а рукояток не менше ніж 13 см.

Правила користування. Електровимірювальні кліщі можуть використовуватися в закритих електроустановках, а також у відкритих у суху погоду. Вимірювання кліщами припускається як на частинах, покритих ізоляцією, так і на голих частинах.

Людина, яка робить вимірювання, повинна користуватись діелектричними рукавичками і стояти на ізолювальній основі. Вона повинна слідувати за тим, щоб магнітопроводом не

замкнути струмовідні частини між собою або на заземлені конструкції, і не наблизитися до струмовідних частин на небезпечну відстань. Друга людина мусить стояти позаду і дещо збоку оператора і читати показання приладів кліщів.

9.2.2.4. Показчики напруги

Призначення. Показчики напруги є переносними приладами, призначеними для визначення наявності (відсутності) напруги в електроустановках до 1000 В і вище. Бувають контактного та безконтактного типів.

Показчики для електроустановок до 1000 В (рис. 9.4) бувають двополюсні й однополюсні:

- двополюсні, що працюють за умови протікання активного струму. Вони оснащені автоматичним захистом від пошкодження випробувальною напругою;
- однополюсні, що працюють за умови протікання ємнісного струму.

Застосовування контрольних ламп для перевірки наявності (відсутності) напруги забороняється у зв'язку з небезпекою їх вибуху при ввімкненні на лінійну напругу і травматизму працівників електричною дугою та осколками скла.

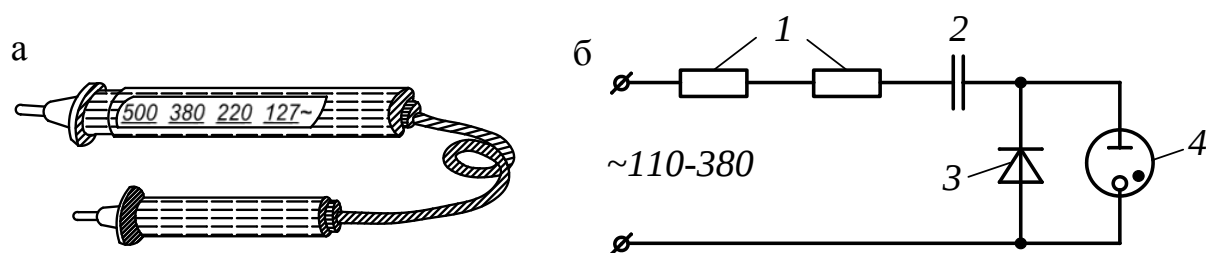


Рис. 9.4. Двополюсний показчик напруги для установки змінного струму напругою 110 – 700 В: а – загальний вигляд;

б – електрична схема; 1 – резистори; 2 – конденсатори; 3 – діод;
4 – неонова лампа

Конструкція. *Двополюсні показчики напруги* застосовуються в електроустановках змінного або постійного струму, а *однополюсні* – в електроустановках змінного струму. Спрацьовування показчиків напруги повинно відбуватися при

напрузі не менше ніж 45 В і не більше ніж 90 В (режим «наявність напруги»). Двополюсні показчики напруги (рис. 9.4) мають два корпуси (полюси), що містять елементи електричної схеми, полюси якої повинні з'єднуватись між собою гнучким провідником завдовжки не менше ніж 1 м.

Однополюсні показчики напруги розміщуються в одному корпусі і призначені переважно для перевірки кіл вторинної комутації, виявлення фазного проводу в патронах, вимикачах тощо. Під час роботи з ними треба звертати увагу на те, що сигнальна лампа показчика може горіти від наведеної напруги.

В електроустановках напругою понад 1000 В використовуються показчики напруги, що мають три частини: робочу, ізолювальну і рукоятку. Робоча частина таких показчиків напруги містить елементи електричної схеми, які забезпечують показання режиму “напруга наявна”. Ізолювальна частина розміщується між робочою частиною та рукояткою і може складатись з кількох частин, з'єднаних між собою. Найменші допустимі розміри показчиків високої напруги наведені в табл. 9.4.

Таблиця 9.4

Найменші допустимі розміри показчиків високої напруги

Номінальна напруга електроустановки, кВ	Довжина, м	
	ізолювальної частини	рукоятки
Від 1 до 10	0,23	0,11
Від 10 до 20	0,32	0,11
35	0,51	0,12
110	1,4	0,60
Від 110 до 220	2,5	0,80

Принцип дії контактних показчиків напруги ґрунтується на фіксації ємнісного струму через електричну схему показчика. Під час користування показчиком напруги його наближають до струмовідних частин електроустановки на відстань, необхідну для горіння газорозрядної лампи. Доторкатися показчиком до струмовідних частин дозволяється тільки у тих випадках, коли лампа показчика не світиться. Показчик напруги повинен мати ефективний відбивальний і затінювальний пристрої – для

забезпечення найкращого сприймання світлової індикації у разі яскравого зовнішнього освітлення.

Кожного разу перед застосуванням показчика він оглядається, щоб упевнитись у відсутності зовнішніх пошкоджень, після чого перевіряється справність його дії (здатність подавати світловий сигнал). Перевірка справності дії робиться шляхом наближення щупа показчика до струмовідної частини, яка явно перебуває під напругою. При цьому справний показчик повинен подавати світловий сигнал.

Безконтактні показчики напруги понад 1000 В застосовуються для перевірки наявності (відсутності) напруги в електроустановках напругою від 6 до 220 кВ включно. Їх робота ґрунтується на принципі фіксації наявності електричного поля біля струмовідних частин.

У таких показчиках для візуальної індикації використовують лампи розжарювання, світлодіоди, знаковинтезатори або інші елементи, що забезпечують чітке сприймання режиму «напруга наявна».

Безконтактні показчики напруги повинні складатися з робочої, ізолювальної частин та рукоятки. Якщо показчик напруги використовується в режимі сигналізатора, він може бути без ізолювальної частини.

Чутливість (відстань спрацьовування) безконтактних показчиків напруги повинна відповідати табл. 9.5.

Таблиця 9.5

Відстані спрацьовування безконтактних показчиків напруги

Номінальна напруга електроустановки, кВ	Відстань спрацьовування, мм
3,3	50±20
6,0	60±20
10,0	80±30
20,0	110±30
27,5	150±50
35	150±50
110	550±100
154	600±100
220	700±150

Під час роботи з покажчиками напруги повинні застосовуватися діелектричні рукавички. Доторкатися до ізолювальної частини за обмежувальним кільцем забороняється.

9.2.2.5. Діелектричні рукавички

Діелектричні рукавички (рис. 9.2, 3) **застосовуються** в електроустановках напругою до 1000 В включно як основний, а в електроустановках напругою понад 1000 В як додатковий електрозахисний засіб для захисту від ураження електричним струмом у разі доторкання руками до частин електроустановок, що перебувають під напругою. Рукавички, призначені для інших (хімічні, медичні тощо) робіт, застосовувати в електроустановках забороняється.

Діелектричні рукавички як і спеціальне діелектричне взуття виготовляють з натурального латексу або з листової гуми спеціального складу, яка має високу електричну міцність та хорошу еластичність.

Довжина діелектричних рукавичок повинна бути не менше ніж 350 мм, а їх розмір повинен давати змогу надягати під них вовняні або бавовняні рукавички – для захисту рук від холоду. Ширина діелектричних рукавичок по нижньому краю повинна давати змогу натягувати їх на рукави верхнього одягу на повну глибину. Під час виконання робіт у рукавичках підкручувати їх краї забороняється. Рукавички, які перебувають в експлуатації, періодично дезінфікуються содовим або мильним розчином. Перед кожним використанням рукавичок перевіряється їх герметичність шляхом наповнення повітрям для виявлення в них наскрізних отворів і надривів, які можуть стати причиною ураження людини струмом.

9.2.2.6. Спеціальне діелектричне взуття

Спеціальне діелектричне взуття **застосовується** під час виконання робіт у закритих, а у разі відсутності опадів – у відкритих електроустановках як додатковий електрозахисний засіб. До застосування в електроустановках допускається тільки

діелектричне взуття (рис. 9.2, 4, 5), виготовлене згідно з вимогами державних стандартів.

За захисними властивостями діелектричне взуття може мати таке маркування:

- Ен – гумові клеєні калоші, чоботи гумові та з полівінілхлориду – для захисту в електроустановках напругою до 1000 В;

- Ев – гумові клеєні формові боти та гумові формові калоші – для захисту в електроустановках напругою понад 1000 В.

Боти повинні мати закоти.

Спеціальне діелектричне взуття відрізняється від звичайного світлим кольором та відсутністю лакового покриття.

9.2.2.7. Гумові діелектричні килими та ізолювальні підставки

Гумові діелектричні килими та ізолювальні підставки (рис. 9.2, 6, 7) **застосовуються** в електроустановках як додатковий електрозахисний засіб. Гумові діелектричні килими використовуються в закритих електроустановках усіх класів напруги, крім електроустановок, розміщених у сирих приміщеннях, а також таких, що підлягають впливу забруднення. У відкритих електроустановках діелектричні килими дозволяється використовувати тільки в суху погоду.

Рекомендується застосовувати однокольорові гумові діелектричні килими з рифленою лицьовою поверхнею, розмірами не менше ніж 500×500 мм. При наявності видимих механічних пошкоджень килим слід відбракувати.

У сирих та забруднених приміщеннях використовуються ізолювальні підставки (дерев'яні настили, закріплені на опорних ізоляторах заввишки не менше ніж 70 мм). Ізолювальні підставки повинні бути міцними і стійкими.

9.2.2.8. Захисні огорожі

В електроустановках для запобігання випадковому наближенню й доторканню до струмовідних частин, що перебувають

під напругою і розміщені поблизу місця виконання робіт, застосовуються захисні огорожі таких **типів**:

- щити (ширми) – для тимчасового огорожування струмовідних частин, що перебувають під напругою;

- ізолювальні накладки – у разі неможливості огородити робоче місце щитами, для запобігання випадковому доторканню до струмовідних частин – в електроустановках напругою до 20 кВ включно та для запобігання помилковому увімкненню рубильників – в електроустановках напругою до 1000 В;

- ізолювальні ковпаки – в електроустановках напругою до 10 кВ, для ізолювання ножів однополюсних роз'єднувачів, що перебувають у вимкненому положенні, з метою запобігання їх помилковому увімкненню.

Щити встановлюються так, щоб не перешкоджати виходу працівників з приміщення у випадках виникнення небезпеки. Доторкання щитів до струмовідних частин, які перебувають під напругою, забороняється. У щитів під час огляду перед використанням перевіряється надійність з'єднання частин, їх стійкість та міцність деталей, які призначені для встановлення й кріплення огорож.

Конструкція й розміри **ізолювальних накладок** повинні бути такими, щоб струмовідні частини закривались ними повністю. З ізолювальних накладок перед використанням необхідно стерти пил та впевнитись у відсутності тріщин, пошкоджень лакового покриття, розривів та інших пошкоджень.

Установлювати накладки на струмовідні частини, якщо в їх конструкції не передбачувані ізолювальні рукоятки або держак, необхідно із застосуванням основних засобів захисту.

Ізолювальні накладки слід берегти від вологи й бруду.

Ізолювальні ковпаки виготовляються з діелектричної гуми, пластику, склопластику або інших подібних електроізоляційних матеріалів. Застосовуються для ізолювання ножів роз'єднувачів у відімкненому стані з метою запобігання їх помилковому вмиканню.

Для електроустановок напругою до 10 кВ ковпаки встановлюються:

- на жилах вимкнених кабелів, розташованих поблизу струмовідних частин, що перебувають під напругою;

- на вимкнених ножах однополюсних роз'єднувачів у збірках із вертикальним розташуванням фаз;
- на однополюсних і триполюсних роз'єднувачах.

Перед використанням ковпаки перевіряються на відсутність розривів, тріщин та інших пошкоджень поверхні.

9.2.2.9. Інструмент з ізольованими рукоятками

Слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими рукоятками (рис. 9.2, 8) **застосовується** для виконання робіт в електроустановках напругою до 1000 В як основний електрозахисний засіб. Він **включає**:

- гайкові, ріжкові і розвідні ключі;
- плоскогубці, пасатижі;
- бокові й торцеві кусачки;
- викрутки;
- монтерські нескладні ножі тощо.

Ізолювальні рукоятки інструменту виготовляються у вигляді діелектричних чохлів, що надіваються на ручки інструменту, або незнімного одно-двошарового покриття з матеріалу, який наносять способом лиття під тиском, занурюванням із упорами з боку робочого органа. Рукоятки повинні мати довжину не менше як 100 мм. Ізоляція стержнів викруток повинна закінчуватися на початку лопатки. Ізоляція інструменту повинна бути вологостійкою, мастилобензостійкою, некрихкою та неслизькою і покривати всю рукоятку. З'єднання ізоляції з інструментом повинно бути міцним, а також таким, що унеможливило б поздовжнє переміщення й провертання ізоляції та інструменту під час виконання робіт.

Під час виконання робіт з цим інструментом на струмовідних частинах, які перебувають під напругою, працівник повинен мати на ногах діелектричне взуття або стояти на ізолювальній основі. Крім того, він повинен бути в головному уборі та з опущеними й застебнутими рукавами. Діелектричні рукавички у цьому разі не потрібні.

9.2.2.10. Переносні заземлення

Переносні заземлення застосовуються в електроустановках під час виконання робіт на вимкнених струмовідних частинах для захисту працівників від помилково поданої або наведеної напруги. Вони складаються:

- із провідників (для заземлення і закорочування між собою струмовідних частин усіх фаз електроустановок);
- із затискачів (для закріплювання заземлювальних провідників на струмовідних частинах);
- із наконечників або струбцин (для приєднання до заземлювальних провідників або конструкцій).

Дозволяється застосовувати окремі переносні заземлення для кожної фази.

Проводи для заземлення і закорочування виготовляються з голих гнучких мідних жил і мають поперечний переріз, що задовольняє вимоги термічної стійкості у разі трифазних КЗ, але не менше:

- 16 мм^2 – в електроустановках напругою до 1000 В;
- 25 мм^2 – в електроустановках напругою понад 1000 В;
- 10 мм^2 – у пересувних установках.

В електричних мережах із заземленою нейтраллю поперечний переріз проводів повинен задовольняти вимоги щодо термічної стійкості у разі однофазного КЗ.

Затискачі для приєднання закорочувальних проводів до шин повинні мати таку конструкцію, щоб у разі протікання струму КЗ динамічні сили не могли зірвати переносне заземлення з місця приєднання. Затискачі повинні мати будову, що забезпечує їх накладання, надійне закріплення та зручне знімання із шин за допомогою штанги для накладання заземлення.

Гнучкий мідний провід необхідно приєднувати до затискача безпосередньо або за допомогою обпресованого мідного наконечника.

Наконечник на провіді для заземлення виготовляється у вигляді струбцини або спеціального затискача для приєднання до заземлювального проводу або конструкції.

Елементи переносного заземлення повинні бути міцно і надійно з'єднані способом обпресування, зварювання або болтами

з попереднім лудінням контактних поверхонь. Забороняється застосовувати паяння для з'єднання елементів переносного заземлення.

На кожному переносному заземленні позначається його номер і переріз заземлювальних проводів. Ці дані вибиваються на бирці, закріпленій на заземленні, або на струбці (наконечнику).

Перед кожним застосуванням переносного заземлення його оглядають. Огляд також проводиться у випадках, коли воно підлягало дії струмів короткого замикання. У разі виявлення руйнувань контактних з'єднань, порушення механічної міцності провідників, їх розплавлення, обриві більш ніж 5 % жил – заземлення використовувати забороняється.

Для запобігання помилкам, які призводять до нещасних випадків та до аварій, накладання заземлення на струмовідні частини робиться негайно після перевірки відсутності напруги на цих частинах. При цьому треба дотримуватися нижченаведеного **порядку**. Спочатку приєднують до «землі» заземлювальний провідник, потім перевіряють відсутність напруги на струмовідних частинах, які необхідно заземлити. Після перевірки відсутності напруги необхідно зняти ємнісний заряд, для цього затискачі для приєднання закорочувальних проводів за допомогою штанги притискають до всіх виводів вимкненої електроустановки. Зазначену операцію виконують декілька разів. Ознакою повного зняття ємнісного заряду є відсутність іскріння та потріскування. Він знімається за допомогою ізолювальної штанги в діелектричних рукавичках і захисних окулярах, стоячи на ізолювальній основі. Після цього заземлення накладають на струмовідні частини і закріплюють на них цією самою штангою або руками в діелектричних рукавичках. Знімання заземлення робиться у зворотному порядку.

9.2.2.11. Протигази й респіратори

Протигази **призначені** для захисту працівників від отруєння або задушення газами. В електроустановках застосовуються шлангові протигази, що забезпечують подавання повітря з чистої зони по шлангу (шлангах) вдиханням або через повітроподавальну установку. Шлангові протигази кожного разу перед видаванням, а

також періодично, не рідше 1 разу на 3 міс., необхідно перевіряти на придатність до роботи.

Дозволяється застосовувати, у разі необхідності, протигази фільтрувальної дії, що використовуються для індивідуального захисту працівників (наприклад ГП5), із гопкалітовим патроном, який захищає від окису вуглецю (чадного газу). Гопкалітовий патрон дозволяється застосовувати при температурі не нижче +6 °С; за більш низької температури його властивості втрачаються.

Протигази фільтрувальної дії, які не захищають від вуглецю (чадного газу), використовувати **забороняється**.

В електроустановках під час виконання зварювальних робіт для захисту від аерозолів **застосовуються** протипилові та протиаерозольні респіратори (наприклад, РПК, Ф62Ш, «Кама», ШБ1, «Лепесток 200» тощо). Респіратори і протигази призначені для індивідуального використання. Їх передача іншій особі дозволяється тільки після їх дезінфекції. Респіратори перед застосуванням необхідно оглянути на відсутність проколів, розривів напівмаски, перевірити стан обтюраторів, фільтра, клапанів.

9.2.2.12. Захисні каски

Каски в електроустановках **застосовуються** для захисту голови від механічних пошкоджень, агресивних рідин, води, ураження електричним струмом у разі випадкового доторкання до струмовідних частин. Каски повинні мати суцільний корпус із козирком або полями і внутрішнє оснащення (амортизатор і тримальну стрічку). Зовнішня поверхня касок повинна бути рівною, не мати пошкоджень у вигляді тріщин і вм'ятин, порушення цілісності внутрішнього оснащення. Перед застосуванням каски необхідно оглянути.

У процесі експлуатації випробування касок не проводиться.

9.2.2.13. Захисні окуляри

Захисні окуляри під час виконання робіт в електроустановках (заміна запобіжників, розрізання кабелю й розкривання муфт на кабельних лініях електропередачі, паяння й зварювання проводів

(шин, кабелів тощо, розігрівання кабельної маси й заливання муфт (вводів тощо), роботи з електролітом та обслуговування акумуляторів, шліфування кілець і колекторів, загострення інструменту та інші роботи, пов'язані із загрозою ушкодження очей) **застосовуються** для захисту очей від небезпечних і шкідливих виробничих факторів: електричної дуги, ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання, твердих часток і пилу, брызок кислот, лугів, електроліту, розплавленої мастики, розплавленого металу тощо.

У процесі експлуатації випробування окулярів не проводиться.

Перед застосуванням захисні окуляри необхідно оглянути і впевнитися у тому, що вони не мають подряпин, тріщин, інших дефектів.

9.2.2.14. Плакати і знаки безпеки

Плакати і знаки безпеки необхідно застосовувати для заборони дій з комутаційними апаратами, під час помилкового вмикання яких може бути подана напруга на місце виконання робіт (заборонні), для попередження про небезпеку наближення до струмовідних частин, що перебувають під напругою (застережні), для дозволу окремих дій (настановчі) тощо.

В електроустановках **застосовуються** плакати й знаки безпеки, виготовлені згідно з вимогами держстандартів.

Плакати і знаки безпеки поділяють на заборонні, застережні, настановчі і вказівні.

Заборонні плакати:

- Не вмикати! Працюють люди;
- Не вмикати! Робота на лінії;
- Небезпечне електричне поле! Без засобів захисту прохід заборонено;

- Не відкривати! Працюють люди;
- Робота під напругою! Повторно не вмикати.

Застережні плакати:

- Обережно! Електрична напруга;
- Стій! Напруга;
- Випробування! Небезпечно для життя;

- Не вилазь! Уб'є.
- Настановчі плакати:
- Працювати тут;
 - Вилазити тут.
- Вказівний плакат:
- Заземлено.

За характером застосування плакати і знаки безпеки можуть бути постійними й переносними. Постійні та переносні плакати й знаки безпеки повинні бути виготовлені з електроізоляційних матеріалів (склопластику, полістиролу, гетинаксу, текстоліту тощо). Плакати і знаки безпеки на бетонні та на металеві поверхні опор повітряних ліній електропередачі, двері камер тощо наносяться фарбами за допомогою трафаретів або на самоклеючій плівці. Віддалік від струмовідних частин допускається застосування постійних та переносних плакатів і знаків безпеки з металу. У цьому разі у верхній частині плаката (знака) повинні бути отвори (затискачі, кріючки, шнури) для їх укріплення на місці. Застосовувати для кріплення плакатів дрiт забороняється.

Порядок користування захисними засобами встановлений Правилами експлуатації електрозахисних засобів (ПЕЕЗ). Засоби захисту застосовуються за прямим призначенням в електроустановках напругою не вище тієї, на яку вони розраховані. Основні засоби захисту застосовуються в закритих розподільних пристроях за будь-яких погодних умов, а у відкритих розподільних пристроях – тільки в суху погоду, а в сиру погоду застосовуються тільки засоби захисту спеціальної конструкції, призначені для виконання робіт за таких умов.

Перед кожним застосуванням засобів захисту в електроустановках працівник зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити від забруднення, перевірити по штампі термін придатності. Користуватися засобами захисту з терміном придатності, що минув, забороняється.

Норми комплектування електроустановок захисними засобами наведені у ПЕЕЗ.

Засоби захисту **зберігаються** й перевозяться з дотриманням умов, що забезпечують їх справність і можливість негайного

застосування. Вони повинні бути захищені від вологи, забруднення і механічних пошкоджень, а також від прямої дії сонячних променів і нагрівальних приладів.

Усі електрозахисні засоби і запобіжні пояси, що перебувають в експлуатації, повинні мати інвентарні номери, за винятком захисних касок, діелектричних килимів, ізолювальних підставок, плакатів і знаків безпеки, захисних огорож та ізолювальних штанг.

Облік засобів захисту, які застосовуються в електроустановках підприємства, веде особа, відповідальна за електрогосподарство, у Журналі обліку та зберігання засобів захисту. Наявність і стан усіх засобів захисту перевіряються періодичним оглядом не менше ніж 1 раз у 6 міс., із записом результатів огляду в журнал.

Відповідальність за своєчасне забезпечення працівників і комплектування електроустановок випробуваними засобами захисту відповідно до норм комплектування, організацію зберігання, створення необхідного запасу, своєчасне проведення періодичних оглядів і випробувань, вилучення непридатних засобів і за організацію їх обліку покладається в цілому на керівника (власника) підприємства.

9.2.3. Електричні випробування ізолювальних електрозахисних засобів

Засоби захисту, крім ізолювальних підставок, діелектричних килимів, переносних заземлень, захисних огорож, плакатів і знаків безпеки, **випробовуються** згідно з нормами експлуатаційних випробувань. Позачергові випробування засобів захисту проводяться у разі наявності ознак несправності, після ремонту або заміни їх складових частин. Норми й терміни електричних експлуатаційних випробувань засобів захисту наведені в табл. 9.6.

Таблиця 9.6

**Норми й терміни електричних експлуатаційних випробувань
засобів захисту**

Найменування засобів захисту	Номінальна напруга, для якої використовується електрозахисний засіб, кВ	Випробувальна напруга, кВ	Тривалість випробування, с	Струм, що протікає через виріб, мА, не більше	Періодичність випробувань
1	2	3	4	5	6
Штанги ізолювальні (крім вимірювальних)	До 1	2	300	-	1 раз у 2 роки
	До 35 включно	Трикратна лінійна, але не менше ніж 40	300	-	
Вимірювальні штанги	До 35 включно	Трикратна лінійна, але не менше ніж 40	300	-	1 раз на рік
Ізолювальні кліщі	До 1	2	300	-	1 раз у 2 роки
	6 – 10	Трикратна лінійна, але не менше ніж 40	300	-	
Показчики напруги понад 1000 В з газорозрядною лампою:					1 раз на рік
робоча частина	До 10 включно	12	60	-	
ізольована частина	До 10 включно	Трикратна лінійна, але не менше ніж 40	60	-	
напруга індикації	2 – 10 6 – 10	Не більше ніж 0,55 Не більше ніж 1,5	- -	- -	
Показчики напруги понад 1000 В безконтактного типу:					1 раз на рік
ізольована частина	6 – 35	105	300	-	
Показчики напруги до 1000 В:					1 раз на рік
напруга індикації	До 1	Не більше ніж 0,09	-	-	
перевірка справності схеми:					
1) однополюсні показчики	До 1	Не менше ніж $1,2 U_{\text{роб.макс}}$	60	0,6	

Продовження табл. 9.6

1	2	3	4	5	6
2) двополюсні показчики	До 1	Не менше ніж $1,2 U_{\text{роб.макс}}$	60	10	
	До 0,5	1	60	-	
ізолювальна частина	$0,5 < U < 1$	2	60	-	
Показчики напруги для перевірки збігу фаз:					1 раз на рік
ізолювальна частина	До 10 включно	40	300	-	
робоча частина (поздовжня ізоляція)	До 10 включно	Не менше ніж 12	60	-	
напруга індикації:					
1) за схемою збігу фаз	3 – 6	Не менше ніж 7,6	-	-	
	10	Не менше ніж 12,7	-	-	
2) за схемою зустрічного увімкнення	3 – 6	Не більше ніж 1,5	-	-	
	10	Не більше 2,5	-	-	
з'єднувальний провід	До 20 включно	20	60	-	
Електровимірювальні кліщі	До 1 включно	2	300	-	1 раз у 2 роки
	Понад 1	Трикратна лінійна, але не менше ніж 40	300		
Гумові діелектричні рукавички	Усі класи напруг	6	60	6	1 раз у 6 місяців
Діелектричні боти	Понад 1	15	60	7,5	1 раз у 3 роки
Діелектричні калоші	До 1 включно	3,5	60	2	1 раз на рік
	Понад 1	15	60	7,5	1 раз у 3 роки
Ізолювальні накладки:					1 раз у 2 роки
жорсткі	До 0,5	1	60	-	
	$0,5 < U < 1$	2	60	-	
	$1 < U < 10$	20	300	-	
гумові	До 0,5	1	60	6	
	$0,5 < U < 1$	2	60	6	

1	2	3	4	5	6
Ізолювальні ковпаки на жили відімкнених кабелів	До 10	20	60	-	1 раз на рік
Ізолювальний інструмент з одношаровою ізоляцією	До 1	2	60	-	

Випробування проводяться, як правило, змінним струмом промислової частоти при кімнатній температурі.

Випробування штанг, ізолювальних і струмовимірювальних кліщів – це випробування їх ізолювальної частини підвищеною напругою (рис. 9.5). З цією метою один провід від випробувального трансформатора приєднується до робочої частини захисного засобу, а другий – до ізолювальної частини на межі ручки-затискача, вище від упорного кільця. Виріб вважається таким, що витримав випробування, якщо не виникали електричні розряди, а при ошупуванні після зняття напруги він не мав місцевих нагрівів.

Випробування діелектричного взуття та інструменту з ізолюваними рукоятками показано на рис. 9.6.

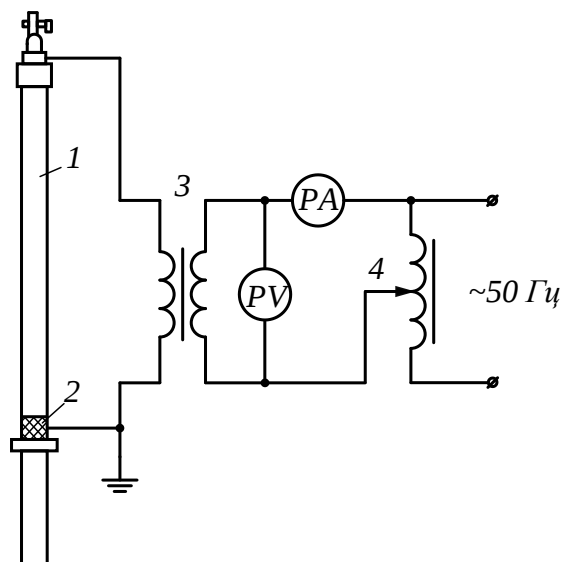


Рис. 9.5. Принципова електрична схема випробування ізолювальної штанги: 1 – штанга; 2 – тимчасовий електрод (фольга); 3 – випробувальний трансформатор; 4 – регулятор напруги

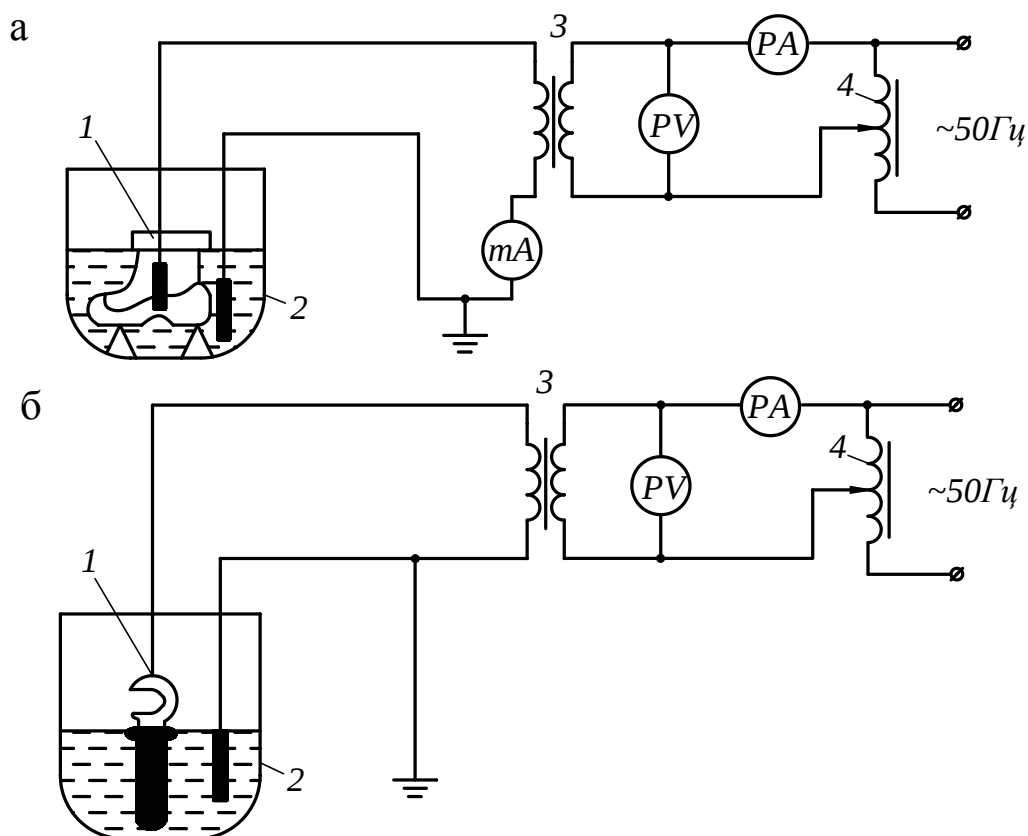


Рис. 9.6. Принципові електричні схеми випробування:
а – бот, калош, рукавиць, ковпаків ; б – інструменту з ізольованими рукоятками; 1 – засіб захисту; 2 – ванна з водою; 3 – випробувальний трансформатор; 4 – регулятор напруги

Випробування засобів захисту проводяться в спеціальних контрольно-вимірювальних лабораторіях або у лабораторіях місцевих підприємств, які мають право проводити такі випробування. На засоби захисту, що пройшли випробування, проставляється штамп. Засоби захисту, що не витримали випробування, вилучаються з експлуатації, і штамп на них перекреслюється червоною фарбою.

Особливості випробування окремих видів засобів захисту наведені в ПЕЕЗ.

Контрольні питання

1. Призначення та принцип дії засобів захисту.
2. Класифікація засобів захисту.
3. Дайте визначення основним та додатковим електрозахисним засобам.
4. Які засоби індивідуального захисту застосовуються в електроустановках?
5. Призначення та правила застосування ізолювальних електрозахисних засобів.
6. Які показники напруги застосовуються в електроустановках напругою до 1000 В для перевірки наявності або відсутності напруги?
7. Основні частини електровимірювальних кліщів для виконання робіт в електроустановках напругою від 1 до 10 кВ.
8. Призначення основних ізолювальних електрозахисних засобів.
9. Призначення додаткових ізолювальних електрозахисних засобів.
10. Які плакати й знаки безпеки застосовуються в електроустановках?
11. Назвіть норми й терміни електричних експлуатаційних випробувань деяких засобів захисту.

Розділ 10

ТЕХНІЧНІ СПОСОБИ ЗАХИСТУ У ПЕРЕСУВНИХ ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

10.1. Загальні положення

Умови експлуатації пересувних електроустановок передбачають їх тривалу роботу при температурі оточуючого повітря в діапазоні від -50 до $+50$ °С, відносній вологості повітря до 98 %, на висоті до 4000 м над рівнем моря, при дії атмосферних опадів (дощ, сніг, роса, туман) і сонячної радіації, при запиленості повітря до $2,5$ г/м³ та інших несприятливих для забезпечення електробезпеки факторах.

У зоні обслуговування пересувних електроустановок є одночасно декілька факторів підвищеної небезпеки (вогкість, струмопровідні пил і підлоги, можливість одночасного дотику людини до заземлених металоконструкцій і металевих корпусів електрообладнання). Тому зону обслуговування пересувних електроустановок прирівнюють до **особливо небезпечних приміщень**.

Забезпечення електробезпеки персоналу, який обслуговує пересувні електроустановки, досягають конструктивними рішеннями електрообладнання, а також передбачають технічні способи і засоби захисту, організаційні і технічні заходи, що забезпечують правильні дії працівників. При виборі технічних способів і засобів захисту враховують номінальну напругу, рід і частоту струму, спосіб електропостачання (автономне джерело, мережа), режим нейтралі джерела електричної енергії, вид виконання електрообладнання, а також характер можливого дотику людини (однофазний, двофазний) до струмовідних частин або металевих неструмовідних частин, які опинились під напругою внаслідок пошкодження ізоляції. У пересувних електроустановках наведені раніш способи та засоби захисту **не завжди ефективні**:

– занулення не забезпечує необхідну за умовами електробезпеки швидкодію струмового захисту, оскільки генератори пересувних джерел живлення мають відносно високий

внутрішній опір і недостатню кратність струму короткого замикання;

- рознімні з'єднувачі кабельної мережі не забезпечують надійного з'єднання захисних провідників;

- обмежений час розгортання пересувних електроустановок не дає змоги виконувати пристрої захисного заземлення з малим опором розтікання й ефективним вирівнюванням потенціалів.

Тому для забезпечення електробезпеки персоналу в різних аварійних режимах роботи пересувних електроустановок застосовують поєднання (систему) технічних способів захисту, а також електрозахисні засоби, запобіжну сигналізацію, блокування, попереджувальні плакати і знаки.

10.2. Контроль ізоляції

Опір ізоляції струмовідних частин значною мірою визначає ступінь безпеки експлуатації будь-яких електроустановок. У мережах з глухозаземленою нейтраллю від стану ізоляції залежить частота виникнення аварійних режимів замикання на землю і, отже, імовірність потрапляння людини під напругу дотику (кроку). У мережах з ізольованою нейтраллю опір ізоляції визначає струми однофазного дотику, замикання на землю або на корпус.

Особливого значення набуває стан ізоляції струмовідних частин у пересувних електроустановках, які експлуатують на відкритому повітрі без захисту від атмосферних дій, в умовах вологості, струмопровідних підлог. Тому в цих електроустановках ізоляцію виконують посиленою або подвійною і, крім періодичного контролю, передбачають постійний контроль ізоляції.

Контроль ізоляції полягає у вимірюванні її активного або омичного опору з метою знаходження дефектів та запобігання замиканням на землю і коротким замиканням. Існує два **методи визначення стану** ізоляції електрообладнання: періодичний та постійний контроль ізоляції.

Періодичний контроль ізоляції пересувних електроустановок здійснюється шляхом вимірювання опору їх ізоляції при прийнятті електричної установки після монтажу або

періодично в терміни, які встановлені правилами (для пересувних електроустановок не менше одного разу на рік, а для ручного електроінструменту і переносних світильників – не менше одного разу на 6 місяців) чи у випадку знаходження дефектів. Вимірювання відповідно до правил повинно проводитися на вимкненій установці. При такому вимірюванні можна визначити опір ізоляції окремих ділянок електричної мережі, електричних апаратів, трансформаторів, двигунів тощо. Вимірюється опір ізоляції кожної фази відносно землі і між кожною парою фаз на ділянці між двома послідовно встановленими запобіжниками, апаратами захисту тощо або за останнім запобіжником. Опір ізоляції вимірюють мегаомметром з номінальною напругою 500–1000 В при знятих плавких вставках на ділянці між суміжними запобіжниками або за останніми запобіжниками між будь-яким проводом і землею, а також між двома будь-якими проводами. Він повинен бути не менше ніж 0,5 МОм для кожного електроприймача, апарата, приладу, кожної ділянки мережі і кожної комірки РУ. Норми на опір ізоляції регламентовані в ПУЕ, ПТЕ.

Постійний контроль ізоляції можливий тільки в мережах з ізолюваною нейтраллю (проводом).

Аналіз режимів роботи електричних мереж і їх впливу на електробезпеку (див. розд. 4) показує, що електроустановки з постійним чергуванням оперативного персоналу при постійному контролі опору ізоляції, швидкому виявленні й усуненні пошкоджень ізоляції, що виникають у мережах з ізолюваною нейтраллю, забезпечують більшу безпеку і більшу надійність електропостачання відповідальних електроприймачів. Ось чому у пересувних електроустановках заземлювати нейтраль джерела живлення забороняється.

На кожному автономному пересувному джерелі електроенергії мусить бути прилад постійного контролю ізоляції PR (рис. 10.1), який контролює опір ізоляції відносно землі (корпусу) всіх струмовідних частин електроустановки, які перебувають під робочою напругою.

З цією метою на бензинових електроагрегатах і електростанціях установлюють індикатори М-143 і мегаомметри М-419. Джерелом оперативної напруги в цих приладах є

конденсатор, заряджений до амплітудної лінійної напруги електроустановки; реєструвальний елемент у них – міліамперметр, шкала якого проградуєвана в мегаомах. Показання приладу PR відповідають сумі опорів $R_{з.р.}$ робочого заземлення та еквівалентного опору ізоляції фаз відносно землі R_{iA} , R_{iB} , R_{iC} і нейтралі R_{iN} , тобто

$$R_{PR} = R_{з.р.} + \frac{1}{1/R_{iA} + 1/R_{iB} + 1/R_{iC} + 1/R_{iN}}.$$

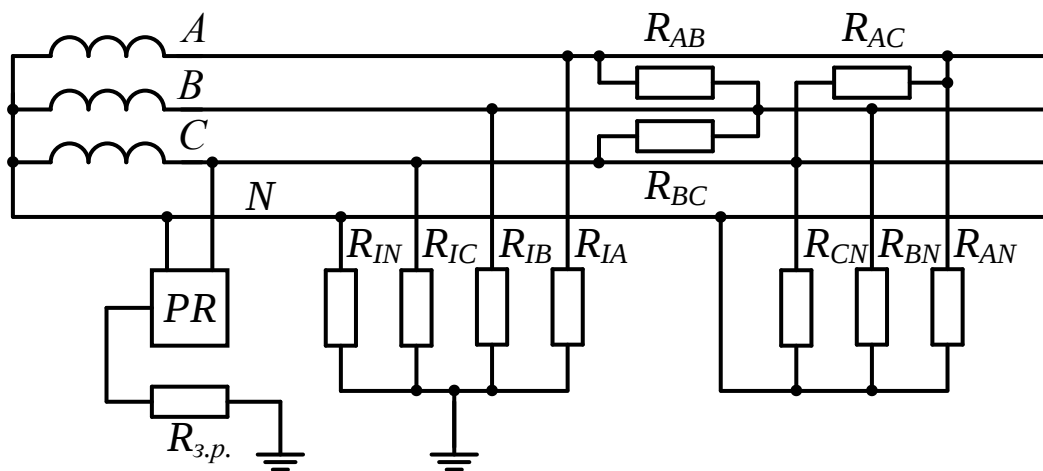


Рис. 10.1. Схема вмикання пристрою постійного контролю опору ізоляції

Для окремого випадку рівності всіх опорів ізоляції трифазної мережі:

– чотирипроводової ($R_{iA} = R_{iB} = R_{iC} = R_{iN} = R_i$) опір ізоляції визначається за формулою $R_{PR} = R_{з.р.} + \frac{R_i}{4}$;

– трипроводової (без нульового проводу, $R_{iA} = R_{iB} = R_{iC} = R_i$) опір ізоляції визначається за формулою $R_{PR} = R_{з.р.} + \frac{R_i}{3}$.

Для окремого випадку пошкодження ізоляції тільки однієї фази, наприклад, фази A ($R_{iA} \ll R_{iB}$, $R_{iA} \ll R_{iC}$, $R_{iA} \ll R_{iN}$), опір ізоляції може бути визначений за формулою $R_{PR} = R_{з.р.} + R_{iA}$.

На дизельних електроагрегатах і електростанціях установлюють більш складні прилади постійного контролю опору ізоляції типів ПКІ-1, ПКІ-2, Ф-419, які не тільки вимірюють опір

ізоляції, але й забезпечують можливість перевірки справності приладу і подачу сигналу про зниження опору ізоляції мережі нижче від допустимого рівня.

Пристрій постійного контролю опору ізоляції (ПКІ) повинен автоматично забезпечувати оцінку величини опору ізоляції, а за необхідності й світлову та звукову сигналізацію у разі зниження опору ізоляції однієї з фаз нижче від заданого значення.

В електроустановках забороняється контролювати опір ізоляції за допомогою трьох вольтметрів або інших пристроїв, які працюють за принципом використання напруги нульової послідовності або асиметрії напруги фаз (полюсів) відносно землі та які не показують величину опору ізоляції.

Пристрій контролю ізоляції встановлюється безпосередньо на електроустановках та підключається до головного (генераторного) комутаційного апарата з боку генератора.

У колі підмикання ПКІ забороняється встановлення апаратів (приладів), якими воно може бути розірвано.

Робоче заземлення ПКІ встановлюється безпосередньо біля пересувного джерела електроенергії відповідно до інструкції з експлуатації цього пристрою.

Для забезпечення безпеки працівників опір ізоляції відносно землі всієї працюючої електроустановки, що утримується під робочою напругою, виміряний за допомогою ПКІ, повинен бути (у разі відсутності пристрою для компенсації ємнісного струму в мережі) не менше від зазначеного в табл. 10.1 або в експлуатаційній документації. Електроустановки, що мають опір ізоляції, нижчий від допустимого, експлуатувати забороняється.

Після сигналу про зменшення опору ізоляції електроустановки нижче від допустимого необхідно шляхом послідовних короточасних відмикань ліній, що відходять, знайти несправний елемент електроустановки, від'єднати його від мережі живлення та вжити заходів щодо усунення несправності. Короточасне вимкнення здійснюється за допомогою комутаційних апаратів розподільних устаткувань.

Постійний контроль опору ізоляції, швидке виявлення й усунення пошкоджень ізоляції мережі з ізольованою нейтраллю забезпечують безпеку однофазних дотиків у нормальному режимі роботи тільки при достатньо високому значенні опору ізоляції. В

аварійному режимі при зниженні опору ізоляції однофазні дотики стають небезпечними, тому правила забороняють експлуатацію електроустановок після отримання сигналу від ПКІ. В окремих випадках, коли перерва в подачі електроенергії неприпустима, можлива робота електроустановки з опором ізоляції нижче від допустимого, але тривалістю не більше ніж 1 год і з обов'язковим застосуванням електрозахисних засобів.

Таблиця 10.1

Опір ізоляції ЕУ

Рід струму	Напруга, В	Частота струму, Гц	Мінімально допустимий опір ізоляції відносно землі, кОм
Змінний	230	50	10,0
Змінний	400	50	15,0
Змінний	230	200	25,0
Змінний	230	400	50,0
Постійний	115		2,5
Постійний	230		5,0

10.3. Технічні способи захисту у пересувних електроустановках

Через умови забезпечення електробезпеки, пересувні електроустановки застосовуються тільки з ізолюваною нейтраллю. В електроустановках з ізолюваною нейтраллю застосовуються дві системи технічних способів захисту – допоміжна й основна.

10.3.1. Допоміжна система технічних способів захисту

Захисне заземлення джерела електричної енергії в поєднанні з металевим зв'язком корпусів утворює **допоміжну систему технічних способів захисту**. Крім заземлення і системи захисних провідників вона може також включати постійний контроль ізоляції або захисне вимикання.

Захисний заземлювальний пристрій у пересувних електроустановках з ізольованою нейтраллю для зменшення часу розгортання може виконуватися тільки у джерела живлення, а для заземлення електроприймачів як заземлювальні провідники допускається використовувати провідники металевого зв'язку корпусів. При цьому слід дотримуватися вимог до його опору або до напруги дотику при однофазних замиканнях на корпус. Опір захисного заземлення розраховують за допустимою напругою дотику та найбільш можливим у цій мережі струмом однофазного замикання на землю. Якщо цей струм неможливо виміряти або розрахувати, то потрібне значення опору захисного заземлення приймають рівним 25 Ом. Захисне заземлення з таким опором цілком забезпечує безпеку.

Випадки *експлуатації без захисного заземлення* пересувних електроустановок з ізольованою нейтраллю та ПКІ:

- джерело живлення електроенергією та електроприймачі розташовані безпосередньо на пересувній установці, їх корпуси з'єднані металевим зв'язком, а від джерела не живляться інші електроустановки;

- пересувні (переносні) приймачі електричної енергії живляться від спеціально призначеного для них джерела електроенергії, їх корпуси з'єднані за допомогою провідників металевого зв'язку з корпусом джерела електроенергії. Їх будова, кількість та загальна довжина кабельної мережі такі, що величина напруги дотику при однофазному замиканні на землю не перевищує допустимого значення;

- потрібний опір заземлювального пристрою, одержаний розрахунком за напругою дотику, перевищує опір робочого заземлення ПКІ.

Система захисних провідників у пересувних електроустановках з ізольованою нейтраллю має у своєму складі заземлювальні провідники та провідники металевого зв'язку корпусів електрообладнання. Вона забезпечує захист при дотику до металевих неструмовідних частин, що можуть бути під напругою при однофазному замиканні на корпус або подвійному замиканні різних фаз на різні корпуси електрообладнання.

Із захисними провідниками з'єднують усі металеві корпуси електрообладнання (крім електроприймачів з подвійною ізоляцією та електроприймачів, що працюють на малій напрузі).

Як захисні провідники використовують жилу кабелю:

- п'яту в трифазних мережах з нульовим робочим провідником;
- четверту в трифазних мережах без нульового робочого провідника;
- третю в однофазних мережах.

Ефективність допоміжної системи технічних засобів захисту значною мірою визначає цілість провідників металевого зв'язку корпусів електрообладнання. Тому наявність цього зв'язку періодично контролюється. Вона оцінюється за результатами розрахунку струму однофазного дотику до корпусів електрообладнання при однофазних замиканнях на корпус і подвійних замиканнях та визначення часу існування небезпечного режиму.

На рис. 10.2 наведені варіанти виконання допоміжної системи захисту в пересувних електроустановках з трифазними трипроводовими кабельними лініями.

Як заземлювальний провід дозволяється застосовувати окремий гнучкий мідний провідник. Як давач ПЗВ застосовується реле безпеки персоналу (РБП).

В усіх варіантах забезпечений металевий зв'язок корпусів електроагрегата, кабельної мережі та електроприймача, на електроагрегатах встановлене захисне заземлення.

Застосування ПКІ (рис. 10.2, а) або ПЗВ (рис. 10.2, б) в цьому випадку підвищує надійність системи захисту.

Допоміжна система технічних способів захисту проста, економічна, але не завжди ефективна при подвійних пошкодженнях ізоляції. Вона потребує систематичного контролю справності захисних провідників, складна в реалізації для чотирипроводових мереж. Тому для пересувних електроустановок, що розробляються, рекомендована основна система технічних способів захисту.

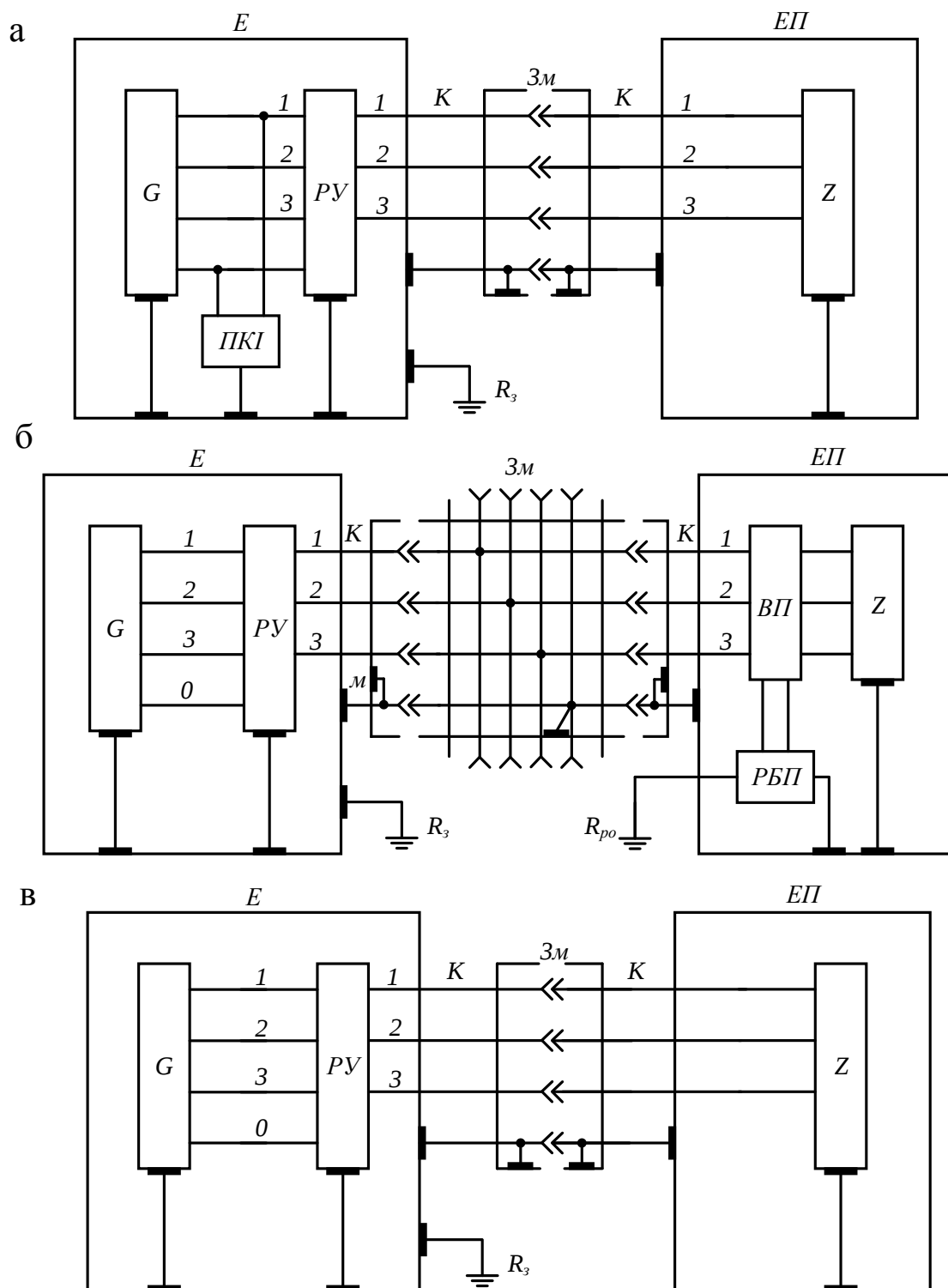


Рис. 10.2. Електрична схема допоміжної системи технічних способів захисту в пересувних установках з трифазними трипровідними кабельними лініями: а – з трипровідною мережею з чотирижильним кабелем (четверта жила – заземлювальна) в електроустановках з ПКІ; б – з трипровідною мережею з трижильним кабелем в електроустановках із ПЗВ; в – в електроустановках без ПКІ і ПЗВ

На рис. 10.2 прийняті такі позначення: Е – електроагрегат; ЕП – електроприймач; РУ – розподільне устаткування; G – генератор; ПКІ – пристрій постійного контролю ізоляції; Z – навантаження; R_z – захисне заземлення; Z_m – електричний з’єднувач з металевим корпусом електроагрегата; К – кабель; РБП – реле безпеки персоналу; ВП – пристрій захисного вимикання; R_{po} – робоче заземлення РБП; М – додатковий провід, що забезпечує металевий зв’язок корпусів з’єднувачів з корпусами електроагрегата.

10.3.2. Основна система технічних способів захисту

Захисне вимикання електроприймачів у поєднанні з постійним контролем опору ізоляції відносно землі в мережі з ізолюваною нейтраллю і захисним заземленням джерела електричної енергії утворює **основну систему технічних способів захисту**.

Захисний вимикальний пристрій служить для убезпечення працівників, встановлюється на ввідному щиті з метою забезпечення одночасного відмикання фазних та нульового проводів.

Конструкція вводу кабелю живлення й виконання самого вводу повинні унеможливити замикання струмовідних жил кабелю на корпус приймача електроенергії до захисного вимикального пристрою.

Допускається установлення одного захисного вимикального пристрою на групу електроустановок.

У цьому разі повинен забезпечуватися металевий зв’язок корпусів усіх електроустановок, що захищаються, із захисним вимикальним пристроєм. Для цього корпус кожної електроустановки приєднується до ПЗВ окремим провідником. Послідовне приєднання корпусів електроустановок до ПЗВ забороняється.

У пересувних електроустановках застосовують захисні вимикальні пристрої, у яких **вимірювальним органом** є РБП, що реагує на збільшення напруги корпусу електроприймача, який захищають, відносно землі.

Реле безпеки персоналу вмикають між корпусом електроприймача та робочим заземлювачем. При цьому забезпечують надійну ізоляцію заземлювального провідника цього реле від корпусу електроприймача. Робочий заземлювач РБП встановлюють поза зоною розтікання струму замикання на землю (на відстані не менше ніж 20 м від електроприймача, який захищають).

Як **виконавчий орган** ПЗВ застосовують три- і чотириполюсні контактори, триполюсні автоматичні вимикачі типів АЗ100 та АЗ700 з незалежними розчіплювачами. У чотирипроводовій мережі їх доповнюють однополюсними контакторами. Час вимкнення електроприймача захисним вимикальним пристроєм з РБП не перевищує 0,2 с.

Перевірка справності захисного вимикального пристрою під час експлуатації здійснюється короткочасним замиканням (з дотриманням заходів безпеки) будь-якої струмовідної частини електроустановки на її корпус. При цьому повинен спрацювати ПЗВ.

Його справність перевіряють також короткочасним підмиканням вимірювального органа пристрою до стороннього джерела живлення напругою 24 В.

Ефективність основної системи технічних способів захисту оцінюють за результатами розрахунку напруги дотику до корпусів електрообладнання з пошкодженою ізоляцією та розрахунку часу існування небезпечного режиму (для пересувних електроустановок приймається, що напруга дотику дорівнює напрузі корпусу відносно землі).

Застосування основної системи технічних способів захисту в електроустановках з трифазною чотирипроводовою мережею та діелектричними корпусами з'єднувачів забезпечує безпеку дотику до корпусів електрообладнання з пошкодженою ізоляцією як при однофазних, так і при подвійних замиканнях на корпус.

Найхарактерніші приклади застосування основної системи технічних способів захисту в пересувних електроустановках з три- і чотирипроводовими кабельними лініями наведені на рис. 10.3.

На рис. 10.3 прийняті такі ж позначення, як і на рис. 10.2.

На рис. 10.3, а наведений варіант такої системи, коли корпуси електроприймачів з'єднані з корпусом джерела провідниками

металевого зв'язку, який забезпечується за допомогою четвертої заземлювальної жили кабелю.

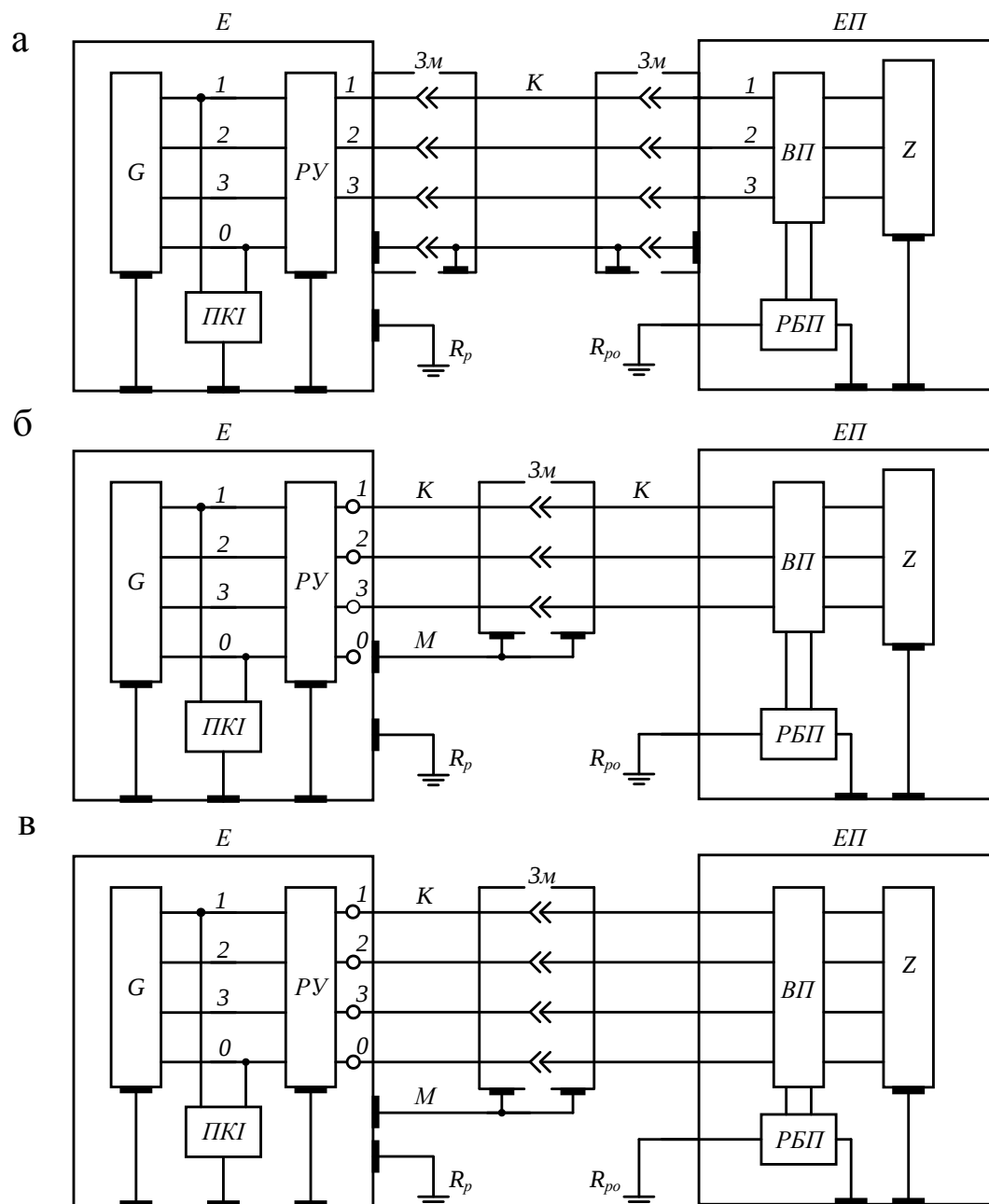


Рис. 10.3. Електрична схема основної системи захисту в пересувних електроустановках з трифазною мережею: а – з трипроводною мережею з чотирижильним кабелем (четверта жила – металевий зв'язок); б – з трипроводною мережею з трижильним кабелем; в – з чотирипроводною мережею з чотирижильним кабелем (четверта жила – нульова);
 R_p – робоче заземлення ПКІ

На рис. 10.3, б та 10.3, в наведені варіанти без металевого зв'язку корпусів електроагрегата й електроприймача. У цих варіантах металевий зв'язок з'єднувачів кабельної мережі з корпусом електроагрегата забезпечується допоміжним проводом М.

Перевірка наявності металевого зв'язку корпусів джерела живлення електроенергії, кабельної мережі й електроприймача проводиться на електроустановці, що не працює. Для перевірки необхідні омметр і відрізок проводу, приєднані відповідно до рис. 10.4.

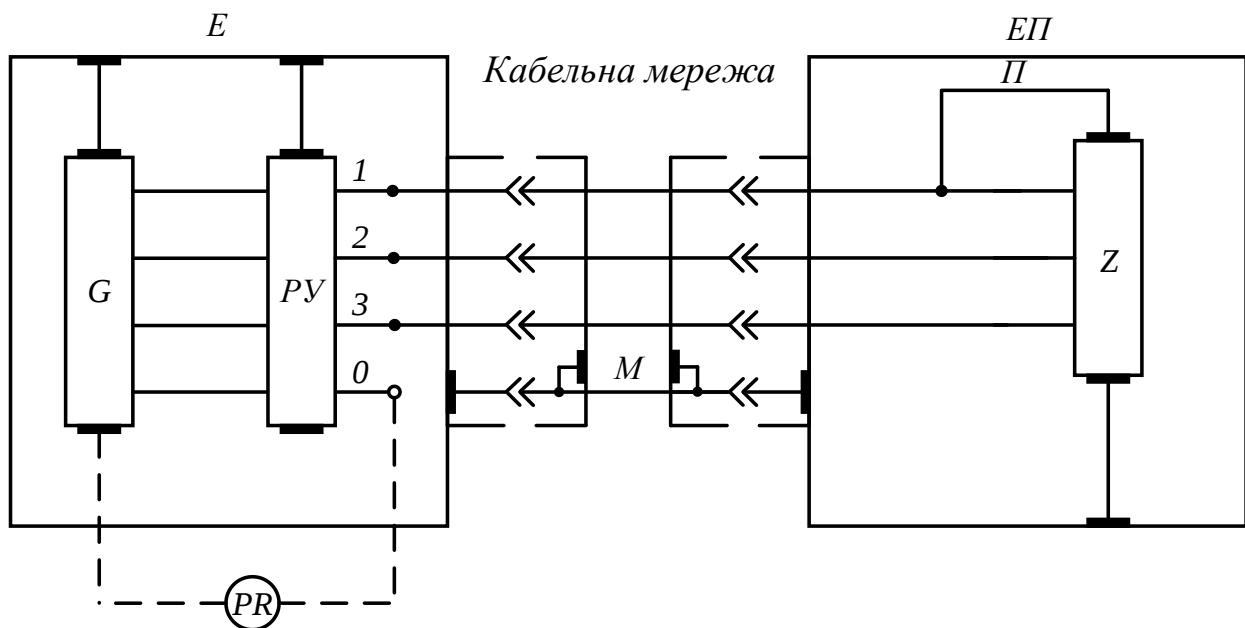


Рис. 10.4. Схема перевірки наявності металевого зв'язку корпусів електроагрегата, електроприймача та кабельної мережі:

PR – омметр; П – провід-перемичка;
М – жила кабелю, з'єднана з корпусами

Перевірка проводиться у такій послідовності:

- з'єднати проводом П одну з фаз електроприймача з корпусом електроприймача;
- увімкнути автомати (вимикачі навантаження) джерела електроенергії й електроприймача;
- приєднати омметр до корпусу і до одного з виводів фідера відбору потужності джерела електроенергії, у цьому разі показання омметра повинні бути близькі до нуля.

Після вимірювання від'єднати провід П.

При паралельній роботі двох аналогічних пересувних електроустановок (рис. 10.5) пристрій контролю ізоляції вмикається тільки на одній із працюючих електроустановок. Таке положення зберігається при будь-якій кількості пересувних електроустановок, що працюють паралельно.

S – вимикач пристрою ПКІ

Пересувні електроустановки часто змінюють місце підмикання до стаціонарної електромережі, тому опір петлі фаза-

нуль та розрахункове значення струму однофазного короткого замикання для них не визначені. У цих умовах занулення не завжди забезпечує вимкнення електроприймача з пошкодженою ізоляцією, а тому не повинно застосовуватись як єдиний спосіб захисту.

Зниження напруг дотику та кроку при однофазних замиканнях на корпус електроприймача пересувної електроустановки шляхом повторного заземлення нульового захисного провідника та вирівнювання потенціалів також неприйнятно через велику втрату часу на влаштування захисного заземлення та його демонтаж.

Приєднання пересувних електроустановок до стаціонарних мереж з глухозаземленою нейтраллю виконують через ПЗВ (рис. 10.6) за допомогою розподільних пристроїв цих електроустановок. Захисне вимикання може застосовуватися окремо або в поєднанні із зануленням.

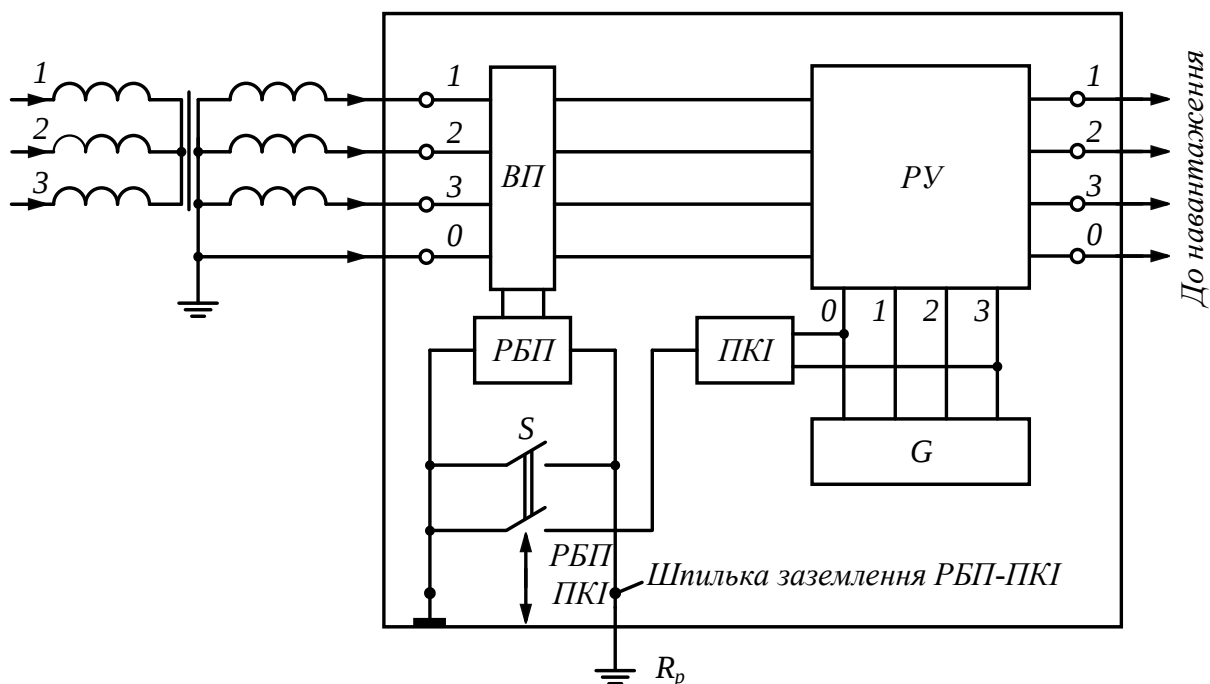


Рис. 10.6. Електрична схема захисту при живленні електроприймачів пересувних електроустановок від стаціонарних джерел живлення та при паралельній роботі пересувної електроустановки зі стаціонарним джерелом живлення:

S – перемикач РБП-ПКІ

Принцип дії ПЗВ, що установлюється на ввіді пересувних електроприймачів, не повинен залежати від режиму нейтралі джерела живлення, тому в пересувних електроустановках застосовують такий пристрій, що реагує на напругу корпусу відносно землі (РБП). Перемикання ПКІ та РБП здійснюється (залежно від режиму роботи електроустановки) за допомогою перемикача S.

При живленні навантаження від генератора G фідер мережі вимкнений, перемикач S установлений у положення ПКІ. При цьому один з контактів перемикача S вмикає ПКІ, інший шунтує обмотку РБП, вимикаючи тим самим ПЗВ.

При живленні навантаження від мережі фідер мережі ввімкнутий, перемикач S установлений у положення РБП, чим забезпечується вимкнення ПКІ і ввімкнення РБП. При появі небезпечної напруги на корпусі пересувної електроустановки спрацьовує РБП, електроустановка відмикається від мережі.

Приєднання стаціонарних електроприймачів до автономних пересувних електроагрегатів виконують за умови, що режим нейтралі джерела та технічні способи захисту відповідають режиму нейтралі та технічним способам захисту, що прийняті в мережах стаціонарних електроприймачів.

Наприклад, при роботі пересувного електроагрегата на стаціонарний електроприймач із заземленою нейтраллю (рис. 10.7) пристрій контролю ізоляції відмикається, а електроагрегат переводиться в режим із заземленою нейтраллю. Для забезпечення електробезпеки здійснюється надійний металевий зв'язок корпусів усього обладнання й корпусу електроустановки з нейтраллю генератора та встановлюється заземлення R_3 .

На рис. 10.8 та 10.9 наведені приклади застосування систем захисту в інженерних та освітлювальних електростанціях.

В інженерних електростанціях (рис. 10.8, а) застосовується допоміжна система технічних способів захисту.

Корпуси електрифікованих інструментів, світильників та інших електроприймачів мають металевий зв'язок з корпусом електроагрегата, який заземлений через R_3 .

Перевірка металевого зв'язку корпусів кожного електрифікованого інструмента (світильника) із заземлювальним штировим контактом вилки здійснюється омметром. Для цього

омметр підмикають одним виводом до заземлювального штирового контакту вилки електроінструмента (світильника), а другим виводом треба по черзі торкнутися корпусу вилки і корпусу електроінструмента (світильника). Відхилення стрілки омметра до нульової відмітки шкали показує наявність металевого зв'язку.

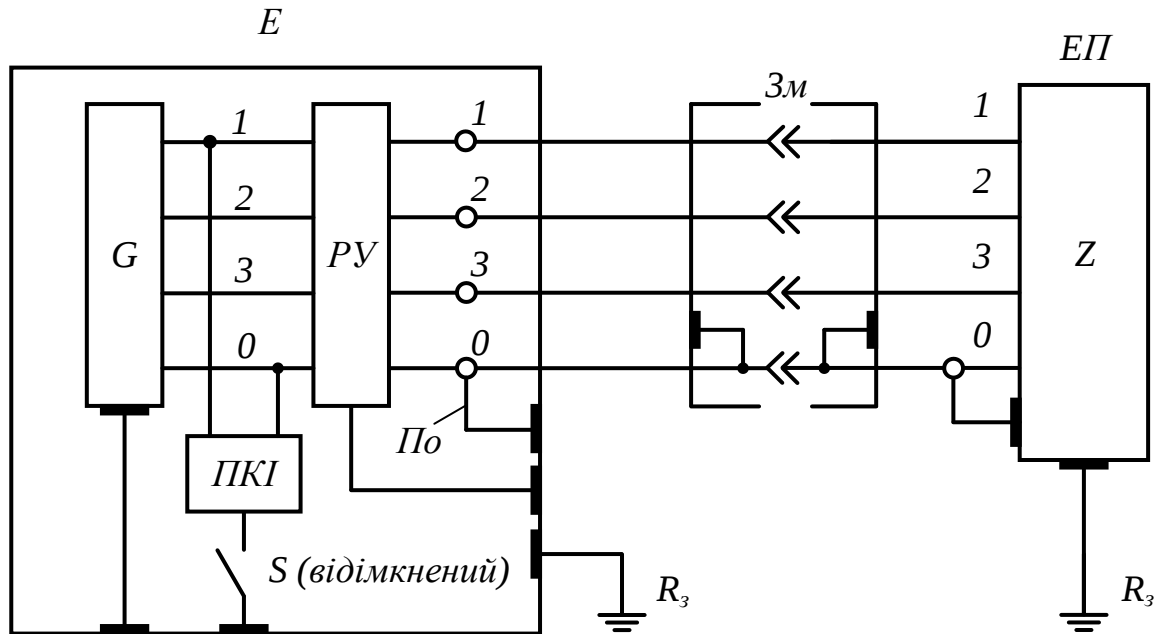


Рис. 10.7. Електрична схема системи захисту стаціонарних електроприймачів при їх живленні від пересувної електроустановки: P_0 – провідник, що з'єднує нульовий вивід генератора з корпусом

В електростанції (рис. 10.8, б, в) застосована основна система технічних способів захисту. У цьому випадку ПЗВ установлений на групу електроприймачів. При цьому забезпечений металевий зв'язок корпусів усіх електроприймачів, що захищаються, з корпусом щита Щ1 і з ПЗВ. При виникненні небезпечного потенціалу на корпусі одного з електроприймачів відбувається вимикання всієї групи електроприймачів.

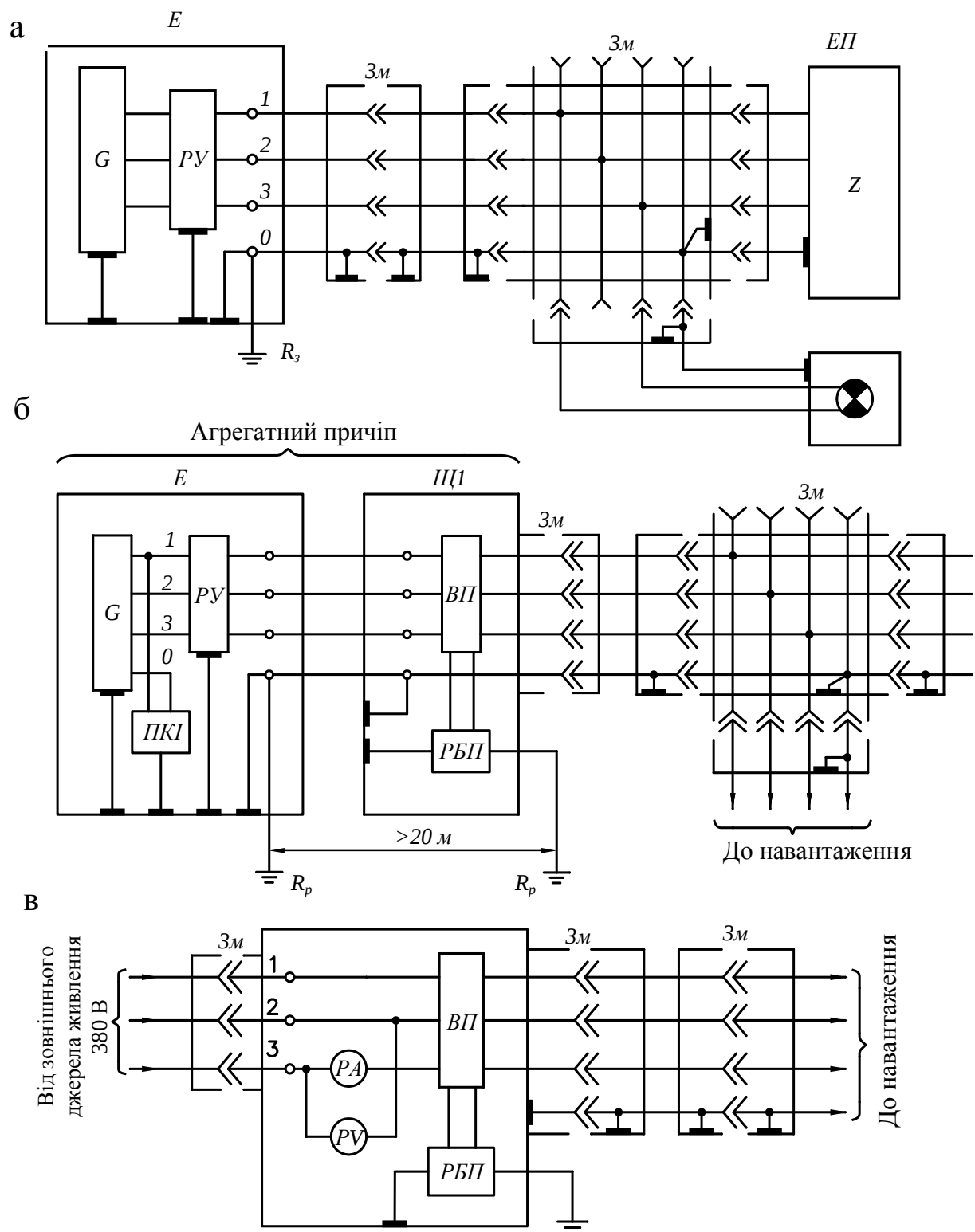


Рис. 10.8. Електрична схема системи технічних способів захисту в інженерних електростанціях: Щ1 – щит розподільний на агрегатному причепі; Щ2 – щит розподільний у кузові автомобіля

Перевірка металевих зв'язку корпусів з'єднувачів кабельної мережі з корпусом електроагрегата здійснюється аналогічним способом або за методом, викладеним раніше.

Для визначення електроприймача з несправною ізоляцією роблять так: від'єднують від мережі один з електроприймачів і вмикають автомат пристрою захисного вимикання. При повторному спрацьовуванні автомата від'єднують від мережі другий електроприймач і знову вмикають автомат. Так роблять доти, поки при черговому вимкненні електроприймача і вмиканні автомата його спрацьовування не відбудеться. Тобто вимкнений електроприймач несправний.

Пересувні джерела живлення електроенергією, які працюють паралельно із стаціонарною мережею або резервують її і живлять пересувні електроприймачі через своє РУ, повинні на ввіді стаціонарної мережі мати ПЗВ і занулення корпусів пересувного джерела, як це зроблено, наприклад, у пересувній автоматизованій електростанції марки ЕСДА-100-Т/400-ЗРК, яка резервує стаціонарну мережу.

На електростанції передбачена можливість живлення навантаження від зовнішнього джерела напругою 380 В через розподільний щит Щ2. Ввід напруги здійснюється через ПЗВ.

В освітлювальних електростанціях (рис. 10.9) застосована допоміжна система захисту.

При відсутності металевих корпусів у кабельній мережі і світильниках (рис.10.9, а, б) заземлюється тільки корпус електроагрегата. Металеві корпуси елементів кабельної мережі (рис. 10.9, в) мають металевий зв'язок із заземленим корпусом електроагрегата.

Пересувні джерела живлення електроенергією, які працюють паралельно зі стаціонарною мережею або резервують її і живлять пересувні електроустановки через своє РУ, повинні на ввіді стаціонарної мережі в РУ пересувного джерела мати ПЗВ і занулені корпуси пересувного джерела.

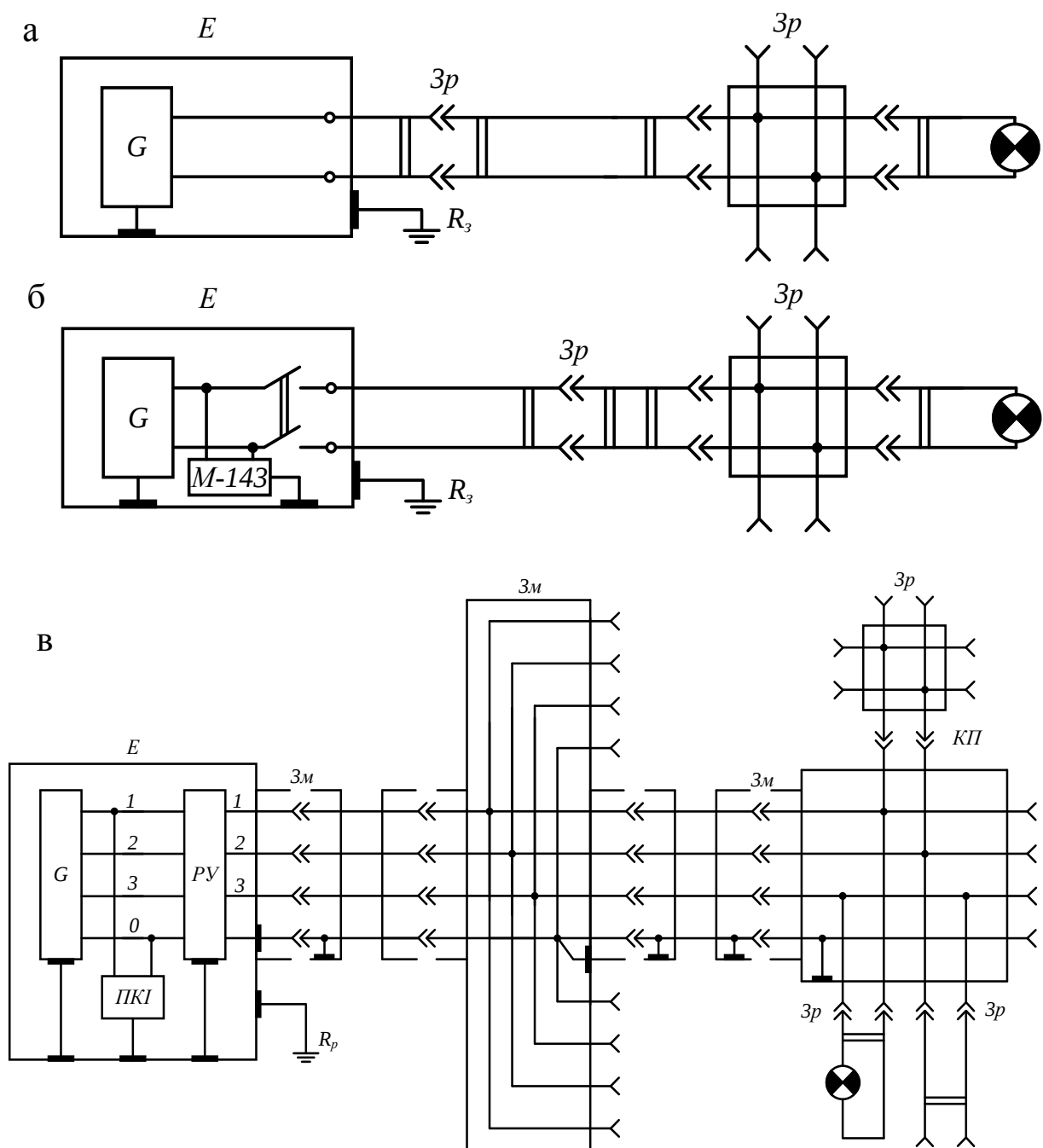


Рис. 10.9. Електрична схема захисту в освітлювальних електростанціях: З_р – з'єднувач, що має діелектричний корпус; КП – кабель перехідний

Контрольні питання

1. Що утворює основну систему технічних способів захисту у пересувних електроустановках?
2. Призначення пристрою постійного контролю опору ізоляції.
3. Що утворює допоміжну систему технічних способів захисту?
4. Як виконують приєднання стаціонарних електроприймачів до автономних пересувних електроагрегатів?
5. Як виконують приєднання пересувних електроустановок до стаціонарних мереж з ізольованою нейтраллю?
6. Яка система захисту застосована в освітлювальних електростанціях?
7. Яка система захисту застосована в інженерних електростанціях?
8. Як виконують приєднання пересувних електроустановок до стаціонарних мереж з глухозаземленою нейтраллю?
9. Поясніть принцип дії допоміжної системи захисту в пересувних електроустановках.

Розділ 11

ЗАХИСТ ВІД ДІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ ПРОМИСЛОВОЇ, ВИСОКОЇ І НАДВИСОКОЇ ЧАСТОТ ТА СТАТИЧНОЇ ЕЛЕКТРИКИ

11.1. Дія на людину електромагнітного поля промислової частоти

При експлуатації відкритих розподільних устаткувань і повітряних ліній електропередачі надвисокої напруги (330 кВ і вищих) можлива дія на персонал електромагнітного поля, яке виникає в просторі навколо струмовідних частин діючих електроустановок.

Електромагнітне поле промислової частоти викликає у працівників порушення функціонального стану центральної нервової та серцево-судинної систем, а також периферичної крові. При цьому спостерігається підвищена стомлюваність, кволість, головний біль, зниження точності робочих рухів, виникнення болю в серці тощо. В електроустановках напругою менше ніж 330 кВ дія електромагнітного поля менш значна. Вона практично не впливає на організм людини.

Ступінь впливу електромагнітного поля на біологічні об'єкти оцінюється кількістю електромагнітної енергії, поглинутої об'єктами, що розміщені в полі. При малих частотах, у тому числі 50 Гц, електромагнітне поле розглядається як таке, що складається з електричної та магнітної складових, практично не пов'язаних між собою, тому їх можна розглядати окремо, так само, як і дії, що вони справляють на людину.

У будь-якій точці поля в електроустановках надвисокої напруги поглинута тілом людини енергія магнітного поля приблизно в 50 разів менша, ніж поглинута енергія електричного поля. У робочих зонах відкритих розподільних пристроїв та проводів повітряних ліній електропередачі напругою 750 кВ напруженість магнітного поля становить 20–25 А/м при небезпечному рівні 150–200 А/м. Таким чином, небезпечна дія електромагнітних полів електроустановок надвисокої напруги при частоті 50 Гц обумовлюється в основному електричним полем;

магнітне ж поле справляє незначну біологічну дію і в практичних умовах ним можна знехтувати.

Основними параметрами електричного поля промислової частоти є потенціал точки поля відносно землі ϕ , кВ, та напруженість електричного поля E , кВ/м.

На характер розподілу та на величину параметрів електричного поля промислової частоти біля високовольтної лінії та на відкритому розподільному пристрої впливають напруга електроустановок, режим роботи та провисання дротів. Напруженість та потенціал електричного поля промислової частоти прямо пропорційно і лінійно залежать від напруги лінії. Провисання дротів на лініях надвисокої напруги за нормальних умов складає 10–13 м, унаслідок чого в 3–5 разів збільшуються параметри електричного поля промислової частоти. Заземлені опори спричиняють екранувальну дію, і через це поруч з опорами параметри поля в декілька разів менші, ніж на деякому віддаленні від опор (табл. 11.1).

Таблиця 11.1

Параметри електричного поля залежно від напруги
електроустановки

Електроустановка	Параметри електричного поля при нарузі електроустановки, кВ							
	330		400		500		750	
	ϕ , кВ	E , кВ/м	ϕ , кВ	E , кВ/м	ϕ , кВ	E , кВ/м	ϕ , кВ	E , кВ/м
Високовольтні лінії електропередачі	4–7	2–4	6–9	4–6	8–12	8–10	12–37	6–22
Відкриті розподільні пристрої	3–10	5–7	4–15	5–8	6–20	6–15	10–50	5–30

Примітка. Значення потенціалів та напруженостей електричного поля вказані на висоті зросту людини (1,8–2 м від землі).

Для запобігання професійним захворюванням встановлені гранично допустимі напруженості електричних полів на місці перебування персоналу.

Напруженість електричного поля електроустановок постійного струму $E_{\text{доп}}$, кВ/м, залежно від часу перебування визначається як

$$E = 60 / \sqrt{t}, \quad (11.1)$$

де t – час впливу, хв.

Напруженість електричного поля електроустановок промислової частоти 50 Гц залежно від часу перебування визначається як

$$E = \frac{50}{t + 2}. \quad (11.2)$$

Гігієнічні норми часу перебування людини без засобів захисту в електричному полі електроустановок промислової частоти встановлені діючими правилами залежно від напруженості поля в зоні, де буде перебувати людина (табл. 11.2).

Таблиця 11.2

Гранично допустимий час перебування людини в електричному полі електроустановок промислової частоти (50 Гц) протягом однієї доби

Напруженість електричного поля, кВ/м	Допустимий час перебування, хв	Примітка
< 5	Без обмежень	-
5 – 10	≤ 180	Іншу частину робочого дня людина перебуває в місцях, де напруженість електричного поля не перевищує 5 кВ/м
10 – 15	≤ 90	
15 – 20	≤ 10	
20 – 25	≤ 5	

Електричне поле обумовлює також виникнення розрядів між людиною і металевими предметами, які мають різні потенціали.

Через тіло людини, яка перебуває в електричному полі, постійно проходить електричний струм до 130 мкА при напрузі електроустановки 500 кВ і до 180 мкА при напрузі 750 кВ.

Допустиме значення зумовленого впливом електричного поля струму, який тривалий час проходить через тіло людини, становить 50–60 мкА, що відповідає напруженості електричного поля 5 кВ/м. Це значення вважається допустимим, оскільки при електричних розрядах, які виникають у момент дотику до металевої конструкції, яка має інший, ніж людина, потенціал, болісні відчуття не виникають.

Таким чином, електричне поле, яке викликає проходження струму в тілі людини до 50 мкА, не чинить суттєвого впливу на її здоров'я.

Простір, у якому напруженість електричного поля дорівнює або більше ніж 5 кВ/м, називають **небезпечною зоною**, або **зоною дії електричного поля**.

11.2. Дія на людину електромагнітних полів високих і надвисоких частот

Електромагнітне поле високих і надвисоких частот (ВЧ і НВЧ) здатне поширюватись (випромінюватись) у просторі, у якому немає провідників електричного струму. Джерелами випромінювання можуть бути антени, елементи фідерного тракту, нещільності в елементах хвилеподібного тракту тощо.

При експлуатації цих джерел випромінювання бувають такі **фізичні явища**:

- рентгенівське випромінювання (м'яке – при напругах на електровакуумних приладах від 5 до 100 кВ і жорстке – при напругах вище ніж 100 кВ);
- зміна газового та іонного складу навколишнього повітря;
- шуми та вібрації;
- зміни температури та вологості.

Для кількісної оцінки ступеня (рівня) опромінення електромагнітним полем НВЧ прийнята **інтенсивність опромінення**, яка виражається у величинах густини потоку енергії і дорівнює енергії, що проходить за одиницю часу через одиничну площу поверхні, що розташована перпендикулярно до напрямку

поширення електромагнітної хвилі. Густина потоку енергії вимірюється у ватах на квадратний метр (Вт/м^2) і чисельно дорівнює добутку напруженості електричного і магнітного полів.

Ступінь впливу електромагнітного поля на організм людини залежить:

- від діапазону частот (виду опромінення);
- інтенсивності та тривалості дії;
- характеру випромінювання (неперервне чи модульоване);
- режиму опромінення поверхні тіла;
- індивідуальних особливостей організму та інших факторів.

Специфічний вплив електромагнітних полів може викликати зворотні або незворотні функціональні та біологічні ефекти в організмі людини.

Функціональні ефекти проявляються у передчасній втомлюваності, частому головному болі, погіршенні сну, порушеннях центральної нервової та серцево-судинної систем. При систематичному опроміненні електромагнітним полем спостерігаються зміни кров'яного тиску, складу крові, сповільнення пульсу, катаракта очей, нервово-психічні захворювання, деякі трофічні явища (випадіння волосся, ламкість нігтів та ін.).

Біологічні ефекти впливу електромагнітного поля проявляються у тепловій та нетепловій дії.

Теплова дія електромагнітного поля призводить до підвищення температури тіла та місцевого вибіркового нагрівання органів та тканин. Таке нагрівання особливо небезпечне для органів із слабкою терморегуляцією (головний мозок, очі, нирки, шлунок, кишечник, сім'яники). Ці явища спостерігаються при дії на тканини поля надвисоких частот з інтенсивністю, що перевищує 4000 мкВт/см^2 , тобто коли кількість електромагнітної енергії, яка перетворилася в теплову, перевищує кількість тепла, яке нормально розсіюється тілом.

Нетеплова дія енергії надвисоких частот буває при опроміненні організму електромагнітною енергією меншої інтенсивності, але такою, яка перевищує гранично допустимі рівні і призводить до біологічних змін різного ступеня: легкого, який характеризується підвищеною стомлюваністю, головним болем, порушенням сну; середнього, який супроводжується болем у

серці, зміною артеріального тиску, трофічними порушеннями, зниженням статевої потенції; важкого, який виявляється у вигляді сильного головного болю, порушення діяльності нервової системи, зниження пам'яті й уваги, неприємності.

Функціональні та біологічні порушення, викликані впливом електромагнітних полів, здатні накопичуватися в організмі, але вони зворотні при припиненні опромінення або поліпшенні захисту. Проте зворотність не може бути безмежною і значною мірою визначається (поряд з параметрами випромінювання) індивідуальними особливостями організму.

Для безпеки людей установлені такі гранично допустимі інтенсивності електромагнітних полів надвисоких частот випромінювання на робочих місцях:

- по електричній складовій – 50 В/м у діапазоні частот від 60 кГц до 3 МГц; 20 В/м – від 3 до 30 МГц; 10 В/м – від 30 до 50 МГц; 5 В/м від 50 до 300 МГц;

- по магнітній складовій – 5 А/м у діапазоні частот від 60 кГц до 1,5 МГц і 0,3 А/м – від 30 до 50 МГц.

Гранично допустиму густину потоку енергії електромагнітного поля в діапазоні частот 300 МГц – 300 ГГц на робочих місцях та у місцях можливого перебування персоналу, пов'язаного з впливом електромагнітного поля, встановлюють виходячи з допустимого значення енергетичного навантаження на організм і часу перебування в зоні опромінення, однак в усіх випадках це навантаження не повинно перевищувати 10 Вт/м^2 , а при наявності рентгенівського випромінювання або високої температури повітря у робочих приміщеннях (вище ніж 28°C) – 1 Вт/м^2 . При цьому відповідно зменшується допустимий час перебування на робочих місцях працівників, пов'язаних професійно з впливом електромагнітного поля.

Інтенсивність електромагнітного поля вимірюють на заново обладнаних позиціях при вводі радіотехнічних засобів в експлуатацію, після модернізації (ремонт) систем і проведення захисних заходів, а також періодично в процесі експлуатації, але не рідше одного разу на рік. Результати вимірювань оформляють актом.

Для запобігання професійним захворюванням згідно з чинними санітарними нормами проводять медичний контроль

стану здоров'я працівників з генераторами надвисоких частот. Контроль включає:

- попереднє обстеження (при призначенні на посаду);
- періодичне (один раз на рік) обстеження, а також лікувально-профілактичні заходи для раннього виявлення в обслуговуючого персоналу початкових ознак дії електромагнітного поля шляхом щомісячних медичних оглядів, опитувань персоналу;
- позачергові обстеження при надходженні скарг про поганий стан здоров'я окремих осіб.

Обслуговуючий персонал, у якого при періодичних обстеженнях і оглядах виявлено будь-які зміни стану здоров'я, пов'язані з опроміненням енергією електромагнітного поля, за висновком медичної комісії повинен бути переведений на іншу роботу, не пов'язану з дією на організм випромінювання електромагнітного поля. При цьому час перерви в роботі з генераторами надвисоких частот визначається індивідуально залежно від характеру хвороби та умов роботи.

11.3. Захист від дії електричного поля промислової частоти

Відповідно до фізіологічних особливостей людей, місць розташування та технічних характеристик високовольтних ліній електропередач і розподільних пристроїв застосовують такі **методи захисту від впливу електричних полів промислової частоти:**

- захист часом або віддаленням;
- захист вибором оптимальних геометричних параметрів високовольтних ліній електропередач і розподільних пристроїв;
- захист застосуванням заземлених тросів, стаціонарних пересувних екранувальних пристроїв, екранувального одягу.

Захист часом досягається скороченням часу перебування людини в електричному полі промислової частоти, якщо напруженість поля перевищує 5 кВ/м.

Захист віддаленням. Оскільки напруженість електричного поля промислової частоти зменшується при збільшенні відстані від джерела поля, то існують такі відстані, на яких напруженість

поля не перевищує допустимого значення. Допускається працювати на землі в зоні впливу електричного поля на робочих місцях у таких випадках:

- біля високовольтних ліній напругою 400 – 500 кВ без обмеження часу в межах 20 м від осі опори будь-якого типу і не більше ніж 90 хв у випадку виконання робіт у прольоті;
- біля високовольтних ліній напругою 750 кВ не більше ніж 180 хв у межах 30 м від осі проміжної опори і не більше ніж 10 хв при виконанні робіт у прольоті або поблизу анкерної або кутової опори.

З метою захисту населення від впливу електричного поля високовольтних ліній передбачаються санітарно-захисні зони. Установлені такі значення гранично допустимих рівнів напруженості електричного поля: у середині житлових будинків – 0,5 кВ/м; на території зони житлової забудови – 1 кВ/м; у населеній місцевості (міста, селища, села, території городів та садів) – 5 кВ/м; на ділянках перетину високовольтних ліній з автомобільними дорогами I – IV категорій – 10 кВ/м; у ненаселеній місцевості (включаючи сільськогосподарчі угіддя) – 15 кВ/м; у важкодоступній місцевості – 20 кВ/м.

Території санітарно-захисних зон розташовуються вздовж трас повітряних ліній електропередач по обидва їх боки. Для повітряних ліній електропередачі напругою 330 кВ встановлюється межа санітарно-захисної зони в один бік 20 м, для 500 кВ – 30 м, для 750 кВ – 40 м, для 1150 кВ – 55 м.

У межах санітарно-захисних зон повітряних ліній електропередач забороняється розміщувати житлові і громадські будівлі, дачні ділянки та інші місця перебування людей, майданчики для стоянки та зупинки всіх видів транспорту, підприємства з обслуговування автомобілів, а також сховища нафти і нафтопродуктів.

Відстань від осі повітряних ліній електропередач, що проектуються, до межі населених пунктів не повинна бути меншою ніж 250 м для повітряних ліній напругою 750 кВ і 300 м – для повітряних ліній напругою 1150 кВ.

Якщо напруженість електричного поля перевищує гранично допустимі рівні, повинні бути передбачені заходи щодо її зниження шляхом віддалення житлової забудови від

високовольтних ліній, тобто повинні бути виключені умови для тривалого перебування людей у зоні дії електричного поля.

Машини та механізми, які перебувають у санітарно-захисних зонах, повинні бути заземленими.

Вибір оптимальних геометричних параметрів високовольтних ліній та відкритих розподільних пристроїв. Величина потенціалів та напруженості електричного поля залежать від конструктивних параметрів дротів високовольтної лінії та шин відкритих розподільних пристроїв. Суттєво знизити потенціал та напруженість електричного поля можна шляхом оптимального вибору цих параметрів.

Застосування заземлених тросів. Заземлені троси, що підвішуються під струмовідними з'єднувальними шинами, дають змогу значно знизити параметри електричного поля промислової частоти.

Відносне зменшення потенціалу при цьому характеризується коефіцієнтом зменшення потенціалу

$$K_{\phi} = \frac{\phi - \phi'}{\phi} \cdot 100, \quad (11.3)$$

де ϕ та ϕ' – потенціали в точці при відсутності та при наявності заземлених тросів відповідно, В.

У випадку використання одного заземленого троса на висоті 2,5 м від поверхні землі під з'єднувальними шинами відкритого розподільного пристрою напругою 750 кВ K_{ϕ} під цією шиною сягає 70 %, тобто потенціал зменшується з 30 до 9 кВ. При наявності трьох заземлених тросів, розташованих під кожною фазою, K_{ϕ} під крайніми фазами становить 50 %, а під середніми – 75 %. Найсуттєвіше впливають на потенціал зменшення висоти підвищування та відстані між заземленими тросами.

Екранувальні пристрої (екрани). Стаціонарні та переносні екрани виготовляються звичайно з металеві сітки у вигляді козирків, навісів, перегородок, щитів, які розташовуються між екранованим простором та джерелом електричного поля. Захисні властивості екранів базуються на ефекті послаблення напруженості електричного поля в просторі поблизу заземленого

металевого предмета. Якщо в електричне поле внести заземлений металевий предмет, то внаслідок розділення індукованих на ньому зарядів і стікання однойменних зарядів у землю відбудеться різке спотворення електричного поля. При цьому на боці предмета, який звернений до індуковного провідника, відбудеться значне зростання напруженості поля, а на протилежному боці, як і в просторі, який немовби огорожується або екранується внесеним предметом, напруженість поля різко послабне. При відповідних розмірах, формі і розташуванні екранувального пристрою захищений простір може мати мізерну напруженість поля і досить великі розміри з тим, щоб у ньому безпечно і зручно могли виконуватися роботи.

Висота розташування стаціонарних навісів – 2–2,5 м від поверхні землі над проходами та ділянками, з яких здійснюється огляд обладнання. Стаціонарні перегородки встановлюють посередині між сусідніми повітряними вимикачами таким чином, щоб нижня грань перегородки розміщала на висоті 2–3 м над поверхнею землі для вільного проходу людей та проїзду транспорту.

Переносні екранувальні пристрої призначені для захисту персоналу, який протягом тривалого часу виконує експлуатаційні, ремонтні та монтажні роботи в зоні впливу, якщо стаціонарні екрани відсутні. Вони виготовляються з металевих сіток. Намети та навіси виготовляють з металізованої тканини або брезенту, вкритого алюмінієвою фарбою.

Для забезпечення безпеки робіт у зоні дії електричного поля екранувальні пристрої повинні бути надійно заземлені; опір заземлення не повинен перевищувати 10 Ом. Повинні бути заземлені як вимкнені, так і заново змонтовані струмовідні та інші металеві частини обладнання і предмети, ізольовані від землі, для запобігання виникненню іскрового розряду. Машини і механізми на гумовому ході повинні мати металеві ланцюги для контакту їх корпусу із землею, а при їх роботі в зоні дії електричного поля – бути надійно заземлені.

Екранувальний одяг – це індивідуальний захисний засіб, захисні властивості якого ґрунтуються на принципі електростатичного екранування.

Як відомо, заряди, що наводяться на нейтральному (тобто незарядженому) провіднику, внесеному в електричне поле, розподіляються так, що всередині провідника поле цих зарядів компенсує поле всіх зовнішніх зарядів, у результаті чого всередині провідника поля немає. Отже, щоб запобігти електризації цього тіла, досить помістити його в металеву оболонку (екран). При цьому заряди, що наводяться, розташовуються на зовнішній стороні екрана. Електричного поля у внутрішньому просторі екрана, як і в самому екрані, не буде. Досвідом установлено, що екран може бути не тільки суцільним, але й сітчастим: якщо плетіння сітки не особливо рідке, то силові лінії поля будуть замикатися на її дротинках і у внутрішній простір не проникнуть.

Індивідуальний екранувальний комплект одягу повинен складатися з таких струмопровідних елементів: куртки і штанів (або комбінезона), капюшона або накасника, екрана для обличчя, взуття і шкарпеток, рукавичок. Екранувальні комплекти одягу виготовляють зі спеціальної металізованої струмопровідної тканини. Під час теплового періоду року використовуються металеві або металізовані пластмасові шоломи. Усі предмети екранувального комплекту одягу, їх металеві елементи повинні мати між собою надійний електричний зв'язок, що здійснюється спеціальними провідниками. Крім того, комплект оснащений затискачем для заземлення, тобто приєднанням до заземлювального пристрою за допомогою гнучкого провідника.

Екранувальні комплекти як індивідуальний засіб захисту використовують при роботах у відкритих розподільних устаткуваннях і на лініях електропередачі напругою 500 і 750 кВ у межах небезпечної зони, тобто на відстані до 30 м від струмовідних частин, що перебувають під напругою, поза межами стаціонарних і тимчасових екранувальних пристроїв, а також у випадках, якщо напруженість поля на робочому місці перевищує 25 кВ/м або тривалість роботи перевищує гігієнічні норми.

Екранувальні комплекти одягу забороняється застосовувати при роботах, пов'язаних з можливістю випадкового торкання частин обладнання, які перебувають або можуть опинитись під напругою, при електричних випробуваннях обладнання, під час електрозварювальних робіт, при використанні ручного електрифікованого інструменту. У всіх цих випадках захист

працівників від впливу електричного поля повинен здійснюватись за допомогою стаціонарних або тимчасових екранувальних пристроїв.

11.4. Захист від опромінення електромагнітними хвилями

Захист від опромінення електромагнітними хвилями досягається за рахунок інженерно-технічних, організаційних і лікувально-профілактичних заходів. Залежно від умов експлуатації обладнання, діапазону частот, розташування робочого місця, рівня опромінення застосовують такі **інженерно-технічні методи захисту**:

- захист часом або віддаленням;
- зменшення випромінювання безпосередньо в самих джерелах;
- екранування джерела випромінювання або робочого місця;
- використання індивідуальних засобів захисту;
- раціональне розташування установок у приміщенні;
- раціоналізація режимів експлуатації установок та роботи обслуговуючого персоналу;
- застосування попереджувальної світлової та звукової сигналізації.

Захист часом передбачає обмеження часу перебування людини в робочій зоні, якщо інтенсивність опромінення перевищує встановлені норми. Метод використовується, коли немає можливості знизити інтенсивність опромінення до допустимих значень і лише для електричного поля частотою 50 Гц та випромінювань у діапазоні 300 МГц – 300 ГГц. Якщо інтенсивність опромінення в діапазоні 300 МГц – 300 ГГц міститься між двома нормованими рівнями, то допустиме значення часу опромінення визначається за формулою

$$t_{\text{доп}} = T \frac{1 + 0,0054 \frac{\Psi}{\Psi_{\text{доп}}}}{0,65 + 0,355 \frac{\Psi}{\Psi_{\text{доп}}}}, \quad (11.4)$$

де ψ – інтенсивність опромінення, Вт/м²;

$\psi_{\text{доп}}$ – допустима інтенсивність опромінення, Вт/м².

За допомогою цієї формули можна визначити допустимий час опромінення при значеннях ψ в інтервалі 10 – 1000 мкВт/см².

Захист віддаленням використовується тоді, коли неможливо послабити інтенсивність опромінення за допомогою інших методів. У цьому випадку збільшують відстань між джерелом випромінювання та обслуговуючим персоналом.

Зменшення випромінювання безпосередньо в самих джерелах досягається шляхом застосування захисних конструктивних елементів апаратури та забезпеченням допустимих рівнів випромінювання тактико-технічними завданнями, які передбачають:

- роботу джерел випромінювання як на відкритий випромінювач, так і на поглинаюче навантаження;
- мінімальне випромінювання елементів фідерного тракту;
- блокування, які виключають можливість вмикання джерел надвисоких частот при відокремленні антенно-фідерного тракту або при порушенні зовнішнього екранування;
- улаштування світлової та звукової сигналізації про початок випромінювання у простір;
- механічні або електричні блокування, які виключають можливість дотику до струмовідних частин високочастотної установки, а також її аварійне вимикання при нещасному випадку;
- безпечне розташування випромінювальних антен відносно одна одної, житлових і службових приміщень;
- обладнання приміщень для розташування в них апаратури надвисоких частот з урахуванням вимог безпеки (працюючі генератори надвисоких частот повинні розташовуватися окремо від вимірювальних систем, а розміри приміщень, улаштування вентиляції, опалення й освітлення, екранування тощо – відповідати встановленим вимогам).

Екранування джерела випромінювання використовується для зниження інтенсивності електромагнітного поля на робочому місці. Застосовуються екрани з металевих листів (алюмінієвих або залізних) товщиною не менше ніж 0,5 мм, у вигляді замкнених камер, шаф або кожухів. Екранування двопроводових ліній, які

підводять високочастотний струм до робочих контурів, здійснюється металевими трубами з товщиною стін не менше ніж 0,5 мм.

Якщо інтенсивність опромінення перевищує гранично допустимі значення, установки огорожуються або вивішуються попереджувальні надписи «Не заходити, небезпечно». Така зона може додатково позначатись яскравою фарбою на підлозі приміщення. Якщо конструкція захисних пристроїв та екранування елементів не забезпечують зниження інтенсивності поля надвисокої частоти на робочих місцях до гранично допустимих рівнів, застосовують **екранування робочих місць** металевими сітками або щитами, покритими поглинаючими матеріалами, або використовують кабінку з металевою обшивкою, причому її двері та вікна повинні мати металеві сітки або розташовуватися так, щоб виключити проникання електромагнітної енергії всередину кабінки.

При розміщенні потужних джерел випромінювань в окремому приміщенні екранують усе приміщення. При цьому панель керування виносять за його межі. При налаштуванні та роботі на апаратурі надвисоких частот допускається короткочасне перебування обслуговуючого персоналу в засобах захисту в електромагнітних полях з інтенсивним опроміненням.

До індивідуальних засобів захисту належать захисні окуляри та захисний одяг.

Захисні окуляри (сітчасті, у вигляді напівмаски та скляні, покриті золотом або двооксидом олова) використовують при густині потоку енергії, яка міститься в межах близько 100 – 1000 мкВт/см², а захисний одяг при короткочасних роботах з густиною потоку енергії, величина якої приблизно дорівнює 1000 мкВт/см².

Захисний одяг складається з комбінезона, капюшона та захисного взуття. Комбінезон виготовляється зі спеціальних радіотехнічних тканин, у структурі яких тонкі металеві нитки утворюють сітку і послаблюють густину потоку енергії електромагнітного поля сантиметрового діапазону в 100 разів і більше.

Організаційні заходи визначають:

- порядок підготовки і допуску особового складу до самостійної роботи;
- порядок інструктажів з правил і заходів безпеки при роботі з установками надвисоких частот;
- організацію робіт і систему їх контролю;
- вимірювання інтенсивності випромінювання установок надвисоких частот не менше двох разів на рік з оформленням акта.

Лікувально-профілактичні заходи визначають порядок проведення медичного контролю (оглядів), способи і методи загартовування організму і лікування потерпілих від випромінювання.

11.5. Заходи безпеки при експлуатації установок надвисоких частот

Безпека працівників при експлуатації установок надвисоких частот **забезпечується:**

- справністю самих установок і засобів захисту;
- проведенням організаційно-технічних заходів;
- виконанням установлених правил і заходів безпечної експлуатації обладнання, яке випромінює електромагнітну енергію.

Уведення в експлуатацію нових систем, які мають генератори надвисоких частот, дозволяється тільки після проведення вимірювання інтенсивності випромінювання електромагнітної енергії в апаратних приміщеннях і на робочих місцях. При інтенсивності випромінювання, яка перевищує допустимі рівні, працювати до проведення необхідних заходів щодо захисту або зниження зазначених рівнів забороняється.

Якщо під час експлуатації інтенсивність випромінювання перевищить граничний рівень, роботу радіотехнічних засобів на випромінювання треба припинити, виявити й усунути причини збільшення інтенсивності випромінювання, провести медичний огляд осіб, які отримали опромінення, організувати їх раціональний відпочинок, харчування тощо, вжити заходів щодо посилення системи захисту працівників.

Правила і заходи безпечної експлуатації конкретних систем, у яких використовуються установки надвисоких частот, наведені в інструкціях з експлуатації цих систем.

Посадові особи, відповідальні за експлуатацію установок високих і надвисоких частот, **зобов'язані:**

- забезпечити їх правильне розташування й експлуатацію;
- навчати працівників правил безпечної експлуатації;
- вимагати безумовного виконання положень експлуатаційно-технічних документів, правил і заходів безпеки;
- не допускати до експлуатації несправні установки;
- організовувати проведення технічного обслуговування і контролювати технічний стан установок;
- вживати заходів щодо ліквідації аварійних ситуацій і наслідків аварій.

Настроювати і випробовувати установки надвисоких частот необхідно вдалині від населених пунктів при забезпеченні мінімального рівня опромінення. При цьому по межі зони з густиною опромінення, яка перевищує допустимі норми, треба встановлювати загорожі або знаки з написом: «Не входити, небезпечно!». Перебування працівників у цій зоні без індивідуальних засобів захисту при роботі установок надвисоких частот забороняється.

Якщо неможливо екранувати джерело випромінювання (наприклад при зніманні діаграми спрямованості антен), робочі місця захищають екранами або застосовують прилади дистанційного керування.

Анени та інші елементи установок надвисоких частот випробовують на електричну міцність в екранованих камерах або при екрануванні робочих місць. При цьому технічний стан об'єкта випробування перевіряють через спеціальні оглядові вікна. При знятті параметрів радіотехнічних засобів рекомендується використовувати поглиначі потужності (еквіваленти антен). При визначенні діаграм спрямованості антен, які працюють від потужних передавачів, і перевірці режиму роботи радіотехнічних засобів необхідно використовувати хвилеподібні ослаблювачі та відгалужувачі, подільники потужності, які вмикаються в антенно-фідерний тракт, що сприяє зменшенню рівня опромінення обслуговуючого персоналу.

У процесі настроювання та випробування установок для зниження впливу випромінювання надвисокої частоти **необхідно виконувати** такі вимоги:

- ремонт і настроювання апаратури, за можливості, проводити при роботах на еквівалент антени;
- екранувати джерела випромінювання із заземленими металевими кожухами або стінками, екранувати отвори у захисних екранах;
- використовувати індивідуальні засоби захисту (захисний одяг, окуляри тощо);
- спрямовувати випромінюваний антеною потік енергії тільки в заданий сектор;
- обслуговувати установку тільки після зняття напруги, розрядження конденсаторів і перевірки відсутності напруги на них.

При роботі з джерелами надвисоких частот **забороняється**:

- залишати без нагляду ввімкнену установку;
- порушувати екранування джерел випромінювання та знімати захисні пристрої;
- оглядати відкриті кінці хвилеводів і випромінювачів на ввімкнених передавачах;
- вмикати передавальну апаратуру при знятих захисних кожухах, відчинених оглядових люках, дверцятах, а також при несправності їх блокування;
- перебувати біля блоків з електровакуумними приладами, що працюють під напругою 1 кВ і більше, при відчинених дверцятах і кришках у шафах, знятих кожухах тощо;
- залишати нещільно засунутими в ніші шаф блоки передавальної апаратури і блоки живлення;
- проводити роботу з антенними установками при ввімкнених передавачах і перебувати у зоні випромінювання антен;
- перебувати у приміщеннях з ввімкненою високочастотною апаратурою стороннім особам;
- перебувати у процесі роботи апаратури на відстані від неї ближчій, ніж це встановлено інструкцією з експлуатації.

Усі елементи установок надвисоких частот, по яких поширюються електромагнітні хвилі, повинні бути ретельно суміщені один з одним (для запобігання випромінюванню енергії через нещільності) і надійно з'єднані.

Розбирання і складання трактів установок надвисоких частот повинно проводитися тільки за умови, яка виключає надходження електромагнітної енергії в тракти. При роботах, що вимагають випромінювання енергії надвисоких частот у простір, слід вживати заходів щодо запобігання дії на працівників електромагнітного поля з інтенсивністю, яка перевищує гранично допустиму.

При технічному обслуговуванні установок надвисоких частот **необхідно перевірити:**

- справність екранувальних і заземлювальних пристроїв;
- відсутність пошкоджень, здатних загрожувати безпеці працівників;
- дотримування організаційних та технічних заходів, що забезпечують безпеку робіт на установках (в обсязі, передбаченому для електроустановок).

Ремонтні роботи оформляють як роботи з підвищеною небезпекою з видачею наряду на їх виконання при ретельному контролі відновлення вихідного положення установок після закінчення роботи. Особливу увагу приділяють підготовці працівників, їх навчанню і допуску до самостійної роботи, проведенню інструктажів та своєчасному медичному огляду посадових осіб. При розробленні окремих інструкцій для кожного робочого місця необхідно передбачити додаткові заходи безпеки з урахуванням конкретних конструктивних особливостей радіотехнічних засобів, їх розташування та умов експлуатації.

11.6. Захист від небезпечної дії статичної електрики

Електростатичні заряди виникають при операціях з нафтопродуктами, при роботі верстатів і машин з ремінною передачею, при обробці діелектричних матеріалів і в інших випадках. Так, при наповненні цистерн потенціал на поверхні нафтопродуктів у цистерні відносно землі може досягати 180 кВ.

Статична електрика часто буває причиною вибухів і пожеж, перешкоджає нормальному ходу технологічного процесу, створює перешкоди в роботі електричних приладів, несприятливо діє на людину. Якщо не вживати спеціальних заходів захисту, можливі ураження працівників. Для захисту від небезпечної дії статичної електрики використовують засоби колективного та індивідуального захисту.

До **засобів колективного захисту** належать:

- заземлювальні пристрої;
- нейтралізатори (індукційні, високовольтні, променеві, аеродинамічні);
- зволожувальні пристрої (випарні, розпилювальні);
- антиелектростатичні речовини, які введені в об'єм або нанесені на поверхню;
- екранувальні пристрої (козирки, перегородки).

Заземлювальні пристрої – найбільш простий і доступний засіб захисту. Опір заземлювального пристрою, призначеного виключно для захисту від статичної електрики, повинен бути не більше ніж 100 Ом. Його припускається об'єднувати з заземлювальним пристроєм для електрообладнання і вторинних виявів блискавки. Слід заземляти цистерни з пальними рідинами, автоцистерни, візки й електрокари, які використовуються для перевезення посудин з пальними рідинами та речовинами, металеві наконечники наповнювальних шлангів тощо. Пересувні агрегати, призначені для транспортування вибухо- і пожежонебезпечних рідин і зріджених газів, повинні мати ланцюжки заземлення, які відводять у землю заряди статичної електрики, що накопичуються на агрегаті під час його руху.

Засобами індивідуального захисту є:

- спеціальний антиелектростатичний одяг і взуття;
- антиелектростатичні запобіжні пристосування (кільця, браслети);
- засоби захисту рук.

Загальні технічні вимоги до засобів захисту від статичної електрики встановлені чинним державним стандартом. Вибираючи засоби захисту, треба керуватися необхідністю виключення виникнення іскрових розрядів з енергією, яка перевищує на 40 % мінімальну енергію запалювання предметів

навколишнього середовища, або із зарядом в імпульсі, який перевищує на 40 % запалювальне значення заряду в імпульсі для навколишнього середовища.

Параметри статичної електрики вимірюють приладами ІСПІ-4, МІЕП-1, МІЕП-2, П2-2; ІСЕП-9 у вибухозахищеному виконанні.

Контрольні питання

1. Назвіть джерела електромагнітних полів.
2. Поясніть дію на людину електромагнітного поля промислової частоти.
3. Як залежать параметри електричного поля від напруги електроустановки?
4. Який гранично допустимий час перебування людини в електричному полі електроустановок промислової частоти (50 Гц) протягом однієї доби?
5. Якими параметрами визначається дія електричного поля на організм людини?
6. Поясніть дію на людину електромагнітних полів високих і надвисоких частот.
7. Які фізичні явища бувають при експлуатації джерел випромінювання електромагнітного поля?
8. Від яких параметрів залежить ступінь впливу електромагнітного поля на організм людини?
9. Які застосовують методи захисту від впливу електричних полів промислової частоти?
10. Поясніть вибір оптимальних геометричних параметрів високовольтних ліній та відкритих розподільних пристроїв.
11. Як виконується захист від опромінення електромагнітними хвилями?
12. Як виконується захист установок надвисоких частот?
13. Захист від небезпечної дії статичної електрики.

ТЕСТИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Сухі приміщення:

- а) вологість повітря не перевищує 50 %;
- б) вологість повітря не перевищує 60 %;
- в) вологість повітря не перевищує 75 %;
- г) вологість повітря не перевищує 100 %;

2. Вологі приміщення:

- а) відносна вологість повітря 50–60 %;
- б) відносна вологість повітря 60–75 %;
- в) відносна вологість повітря 75–100 %;
- г) відносна вологість повітря більше ніж 100 %;

3. Жаркі приміщення – такі, у яких температура перевищує постійно або періодично:

- а) 50 °С;
- б) 60 °С;
- в) 45 °С;
- г) 35 °С.

4. Наявність одночасно якої кількості умов підвищеної небезпеки характеризує особливо небезпечні приміщення:

- а) одного і більше;
- б) двох і більше;
- в) трьох і більше;
- г) кількість цих умов не має значення.

5. Територія розміщення зовнішніх електроустановок прирівнюється до:

- а) приміщень без підвищеної небезпеки;
- б) приміщень з підвищеною небезпекою;
- в) особливо небезпечних приміщень;
- г) до звичайних приміщень.

6. Захисне заземлення призначене для:

- а) заземлення блискавководів і розрядників;
- б) забезпечення нормального режиму електроустановок;

- в) усунення небезпеки ураження електричним струмом ;
- г) для вирішення інших завдань.

7. Заземлення електроустановок змінного струму слід виконувати:

- а) при напрузі вище ніж 42 В у всіх випадках;
- б) при напрузі 220 В і вищій – у всіх випадках;
- в) при напрузі 380 В і вищій – у всіх випадках;
- г) при напрузі 660 В і вищій – у всіх випадках.

8. Заземлення електроустановок змінного струму в приміщеннях з підвищеною небезпекою й особливо небезпечних приміщеннях слід виконувати:

- а) при напрузі вище ніж 42 В у всіх випадках;
- б) при напрузі 220 В і вищій – у всіх випадках;
- в) при напрузі 380 В і вищій – у всіх випадках;
- г) при напрузі 660 В і вищій – у всіх випадках.

9. Не потрібно заземлювати:

- а) корпуси електричних машин;
- б) приводи електричних апаратів;
- в) вторинні обмотки трансформаторів;
- г) арматуру ізоляторів усіх типів.

10. Струм, який проходить через тіло людини, що доторкнулася до однієї фази трифазної мережі з глухозаземленою нейтраллю, дорівнює:

- а) $I_h = U_{ном} / R_h$;
- б) $I_h = U_{лин} / R_h$;
- в) $I_h = U_{\phi} / R_h$;
- г) $I_h = U_{н.роб} / R_h$.

11. Струм, який проходить через тіло людини, що доторкнулася до однієї фази трифазної мережі з ізольованою нейтраллю, дорівнює:

- а) $I_h = \frac{U_{ном}}{R_h + R_{i3}/3}$;
- б) $I_h = \frac{U_{\phi}}{R_h + R_{i3}/3}$;

$$в) I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_{i3}};$$

$$г) I_h = U_\phi / R_h.$$

12. При напрузі вище 1000 В на залізничному транспорті застосовуються:

- а) трифазні трипроводові мережі з ізолюованою нейтраллю;
- б) трифазні чотирипроводові мережі з глухозаземленою нейтраллю;
- в) трифазні трипроводові з компенсованою нейтраллю;
- г) будь-які мережі.

13. Захисне заземлення застосовується при $U > 1000$ В:

- а) у всіх електроустановках;
- б) у мережах з ізолюованою нейтраллю;
- в) у мережах з глухозаземленою нейтраллю;
- г) у мережах з компенсованою нейтраллю.

14. Занулення застосовується в:

- а) трифазних трипроводових мережах;
- б) трифазних чотирипроводових мережах;
- в) однофазних двопроводових мережах, ізолюованих від землі;
- г) однофазних двопроводових мережах із заземленим проводом.

15. Укажіть зайвий елемент у схемі занулення:

- а) нульовий захисний провідник;
- б) глухе заземлення нейтралі;
- в) заземлення корпусу електроустановки;
- г) повторне заземлення нульового захисного провідника.

16. Під якою напругою виявиться людина, яка доторкнулася до однієї фази мережі з ізолюованою нейтраллю, якщо інша фаза має пробій на землю:

- а) $U_{\text{лін}}$;
- б) U_ϕ ;
- в) $U_{\text{н.роб}}$;

г) $U_D = 0$.

17. Під якою напругою виявиться людина, яка доторкнулася до однієї фази мережі з глухозаземленою нейтраллю, якщо інша фаза має пробій на землю:

- а) $U_{\text{лін}}$;
- б) $U_{\text{ф}}$;
- в) $U_{\text{н.роб}}$;
- г) $U_{\text{ф}} < U_D < U_{\text{лін}}$.

18. Яка мережа найбільш небезпечна: з ізольованою або з глухозаземленою нейтраллю:

- а) з ізольованою нейтраллю;
- б) з глухозаземленою нейтраллю;
- в) небезпечні обидві рівною мірою;
- г) безпека не залежить від режиму нейтралі.

19. Від чого залежить величина струму, який проходить через тіло людини при двополюсному дотику:

- а) режиму нейтралі;
- б) схеми мережі;
- в) ступеня ізоляції струмовідних частин від землі;
- г) напруги мережі.

20. Крокова напруга має найбільшу величину:

- а) на відстані 10 м і більше від місця замикання;
- б) на відстані 20 м і більше від місця замикання;
- в) поблизу місця замикання;
- г) відстань від місця замикання не має значення.

21. Укажіть, який елемент не можна застосовувати як штучні заземлювачі:

- а) сталеві труби;
- б) кутова сталь;
- в) металеві стержні;
- г) голі алюмінієві провідники.

22. Укажіть, що не можна використовувати як природні заземлювачі:

- а) водопровідні труби;
- б) каналізаційні труби;
- в) арматуру залізобетонних конструкцій;
- г) трубопроводи горючих рідин і газів.

23. Призначення заземлення нейтралі в схемі занулення:

- а) забезпечити необхідну для електроустановки величину струму КЗ ;
- б) зменшити небезпеку ураження людини струмом при обриві нульового проводу;
- в) знизити до безпечного значення напругу нульового проводу відносно землі при замиканні фази на землю;
- г) забезпечити необхідний режим роботи електроустановки.

24. Призначення нульового проводу в схемі занулення:

- а) забезпечити необхідну для електроустановки величину струму КЗ;
- б) зменшити небезпеку ураження людини струмом при обриві нульового проводу;
- в) знизити до безпечного значення напругу нульового проводу відносно землі при замиканні фази на землю;
- г) забезпечити необхідний режим роботи електроустановки.

25. Сухі приміщення:

- а) вологість повітря не перевищує 50 %;
- б) вологість повітря не перевищує 60 %;
- в) вологість повітря не перевищує 75 %;
- г) вологість повітря не перевищує 100 %.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Правила улаштування електроустановок [Текст]. – Харків : Форт, 2014. – 736 с.
2. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [Текст]. – К. : Основа, 1998. – 380 с.
3. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей [Текст]. – Харьков : Форт, 2012. – 404 с.
4. Правила експлуатації електрозахисних засобів [Текст]. – К. : Форт, 2001. – 117 с.
5. Правила безпечної роботи з інструментом та пристроями [Текст]. – К. : Форт, 2001. – 171 с.
6. Правила безпечної експлуатації пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку на залізницях України [Текст]. – К. : Мануфактура, 2004. – 156 с.
7. Правила безпеки для працівників залізничного транспорту на електрифікованих лініях [Текст]. – К. : Основа, 2000. – 144 с.
8. Правила безпечної експлуатації контактної мережі та пристроїв електропостачання автоблокування залізниць [Текст]. – К. : НВП Поліграфсервіс, 2012. – 144 с.
9. Правила пожежної безпеки в Україні [Текст]. – Харків : Форт, 2004. – 174 с.
10. Електротехніка та електромеханіка систем залізничної автоматики [Текст] : підручник / М. М. Бабаєв, М. Г. Давиденко, Г. І. Загарій [та ін.]. – Харків : УкрДАЗТ, 2011. – 608 с.
11. Долин, П. А. Основы техники безопасности в электроустановках [Текст] / П. А. Долин. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.
12. Долин, П. А. Справочник по технике безопасности [Текст] / П. А. Долин. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
13. Манойлов, В. Е. Основы электробезопасности [Текст] / В. Е. Манойлов. – Л. : Энергоатомиздат, 1991. – 480 с.
14. Дулицкий, Г. А. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок напряжением до 1000 В [Текст] : справочник / Г. А. Дулицкий, А. П. Комарцев. – М. : Воениздат, 1988. – 128 с.
15. Надин, В. А. Электробезопасность. [Текст] / В. А. Надін. – М. : Воениздат, 1985. – 164 с.

16. Правила техники безопасности при эксплуатации военных электроустановок [Текст]. – М. : Воениздат, 1984. – 208 с.
17. Бухаров, А. И., Основы безопасной эксплуатации электроустановок [Текст] / А. И. Бухаров, В. В. Петунин. – М. : Воениздат, 1989. – 272 с.
18. Техника безопасности и противопожарная техника в электрорадиоэлектронной промышленности [Текст] / под ред. И. И. Девяткина. – М. : Энергия, 1969. – 352 с.
19. Кузнецов, Ю. М. Охрана труда на автотранспортных предприятиях [Текст] / Ю. М. Кузнецов. – М. : Транспорт, 1990. – 288 с.
20. Бухаров, А. И. Средства заряда аккумуляторных батарей [Текст]: справочник / А. И. Бухаров, И. А. Емельянов, В. П. Суднов. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
21. Кораблев, В. П. Устройства электробезопасности. [Текст] / В. П. Кораблев. – М. : Энергия, 1979. – 72 с.
22. Равикович, И. Д. Техника безопасности в передвижных электроустановках [Текст] / И. Д. Равикович. – М.: Энергия, 1976. – 144 с.
23. Инженерно-технический справочник по электросвязи. Электроустановки [Текст] / И. А. Казаринов [и др.]. – М. : Связь, 1976. – 592 с.
24. Акимов, А. И. Электроснабжение [Текст]: учебник / А. И. Акимов; под ред. В. И. Шапошникова и Б. Т. Кононова. – М. : МО СССР, 1987. – Ч. 1 – 329 с.
25. Крылов, В. А. Защита от электромагнитных излучений [Текст] / В. А. Крілов, Т. В. Юченкова. – М. : Сов. радио, 1972. – 216 с.
26. Титов, Е. Г. Монтаж, эксплуатация и ремонт электроустановок [Текст] / Е. Г. Титов. – М. : Воениздат, 1991. – 472 с.
27. Охорона праці в електроустановках [Текст] / В. Г. Іванов [та ін.]. – К. : Око, 1994. – 226 с.
28. Акімов, О. І. Російсько – український словник основних термінів з електротехніки та електропостачання [Текст] / О. І. Акімов. – Харків : ХВУ, 1999. – 86 с.

29. Правила безпечної експлуатації військових електроустановок [Текст]: затв. наказом МО України від 13.05.2003 № 133. – К., 2003. – 359 с.

30. Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту оборудования тяговых подстанций, пунктов питания и секционирования электрифицированных железных дорог [Текст]. – К. : Основа, 1999. – 125 с.

31. Інструкція по заземленню пристроїв електропостачання на електрифікованих залізницях [Текст]. – К. : НВП Поліграфсервіс, 2009. – 92 с.

32. Михеев, В. П. Контактные сети и линии электропередачи [Текст] / В. П. Михеев. – М. : Маршрут, 2003. – 416 с.

33. Южаков, Б. Г. Технология и организация обслуживания и ремонта устройств электроснабжения [Текст] / Б. Г. Южаков. – М. : Маршрут, 2004. – 272 с.

34. Акімов, О. І. Електробезпека [Текст] : метод. вказівки до виконання контрольної роботи з дисципліни «Охорона праці в галузі та цивільний захист» / О. І. Акімов. – Харків : УкрДУЗТ, 2015. – 18 с.

35. Методическое пособие для лиц, ответственных за электрохозяйство, при организации ими безопасного выполнения работ в электроустановках потребителей структурных подразделений Донецкой железной дороги [Текст]. – Донецк, 2003. – 110 с.

36. Охрана труда на железнодорожном транспорте. [Текст] / под. ред. Ю. Г. Сибарова. – М. : Транспорт, 1981. – 287 с.

37. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Експлуатація систем електропостачання» [Текст] / О. І. Акімов [та ін.]. – Харків : УкрДАЗТ, 2005. – 62 с.

38. Мозырский, В. И. Автоматические отключения питания и защитное заземление в электроустановках зданий в свете требований новых стандартов по электробезопасности. [Текст] / В. И. Мозырский. – К. : ООО “ДИА”, 2001. – 319 с.

39. Справочник по электробезопасности [Текст]. – М. : Воениздат, 1981. – 176 с.

40. Гажаман, В. І. Електробезпека на виробництві. [Текст] / В. І. Гажаман. – К. : Ред. журналу «Охорона праці», 1998. – 272 с.

41. Акімов, О. І. Техніка високих напруг. Ізоляція та перенапруги в пристроях електропостачання і електричної тяги залізничного транспорту [Текст] : навч. посібник / О. І. Акімов, Д. Л. Сушко. – Харків : УкрДАЗТ, 2009. – 217 с.
42. Бондарев, Н. А. Контактная сеть [Текст] : учебник / Н. А. Бондарев, В. Е. Чекулаев. – М. : Маршрут, 2006. – 590 с.
43. Акімов, О. І. Електричні мережі електрифікованих залізниць [Текст] : навч. посібник / О. І. Акімов, Д. Л. Сушко. – Харків : УкрДАЗТ, 2012. – 278 с.
44. Косарев, Б. И. Электробезопасность в тяговых сетях переменного тока [Текст] / Б. И. Косарев. – М. : Транспорт, 1988. – 216 с.
45. Вибір раціональної стратегії обслуговування електрообладнання [Текст] / О. І. Акімов, Д. Л. Сушко, В. В. Панченко, Д. А. Стояновський // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 153. – С. 103 – 107.
46. Кузнецов, К. Б. Электробезопасность в электроустановках железнодорожного транспорта [Текст] / К. Б. Кузнецов, А. С. Мишарин; под. ред. К. Б. Кузнецова. – М. : Маршрут, 2005. – 456 с.
47. Акімов, О. І. Визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування за умовами мінімальної вартості. [Текст] / О. І. Акімов, Ю. О. Акімова // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків : УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 159. – С. 5 – 9.
48. Иванов, В. Г. Основы электробезопасности. [Текст] / В. Г. Иванов, Е. Н. Курочкин. – М. : МО СССР, 1983. – 188 с.
49. Російсько-український електрорадіотехнічний словник [Текст] / Укладачі: Ю. Г. Величко, К. М. Соболевський, Ю. В. Ковальчук-Іванюк, В. П. Карпенко, Г. І. Гурський, М. Ю. Косенко. – К. : АН УССР, 1961. – 534 с.
50. Акімов, О. І. Сучасні джерела автономного, резервного та гарантованого живлення. [Текст] : метод. вказівки до виконання курсової роботи і практичних занять з дисципліни «Сучасні джерела автономного, резервного та гарантованого живлення» та дипломного проектування. / О. І. Акімов, В. В. Панченко. – Харків : УкрДУЗТ, 2015. – 100 с.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

Автоматичні вимикачі 166, 185, 249

Асфіксія 20

Блокування 211, 212

Боти діелектричні 43, 214, 225

- - випробування 235, 237

Взуття діелектричне 216, 224

Вибір режиму нейтралі 97, 128

Вимірювання опору заземлювача 157

- - землі 161

- - - методи 157 – 161

- - петлі фаза-нуль 177

Випробування електрозахисних засобів 235, 237

Вирівнювання потенціалів 89, 206

Вологість повітря 24, 129

Глина 72

Ґрунт 64, 72

Двопроводова мережа 96

Діелектричні гумові вироби 225, 235

Дія електромагнітна 168, 260

- електростатична 269, 277

- струму біологічна 261

- - електролітична 12

- - механічна 12

- - термічна 12

Допустимі рівні напруг дотику і струмів, які протікають через тіло людини 36 – 38

Дотик двофазний 109

- до заземленого проводу 115, 116

- - незаземленого проводу 115, 116

- однофазний 109, 110

Дугогасильні котушки 102 – 104

Еквіпотенціальні криві 67, 92
Екранувальний пристрій 215, 268
- - умови застосування 269
- комплект одягу 269 – 271

Електрична міцність ізолювальних пристроїв 104, 224
Електричні мережі 96 – 109
Електрод 22, 63, 73
Електрозахисні ізолювальні засоби 214
- - - додаткові 216
- - - огорожувальні 226
- - - основні 215
Електрокардіограма 31
Електромагнітне поле 260, 263
- - біологічна дія 260, 261
- - захист 266 – 271
Електроофтальмія 13, 16
Електротравма 12, 13, 18
- загальна 17, 18
- місцева 13 – 17

Ємнісний струм замикання на землю 100 – 104

Заземлення захисне 138 – 157
- блискавкозахисту 140
- - встановлення, зняття 229
- нейтраль 96 – 97
- - галузь застосування 140
- -переносне 228, 229
- - переріз проводів 228
- повторне 166, 172
- - призначення 172 – 176
- - принцип дії 172
- робоче 139, 140
- - розрахунок 162 – 164
Заземлювальний електрод 143
- провідники 145 – 149
Заземлювач 63

- груповий 63, 72 – 84
- одиночний 63, 64 – 72
- природний 145
- складний 63
- штучний 143, 144

Замикання на корпус 98, 167, 173

- на землю 97, 100, 192
- однофазне 97

Занулення 166

- галузь застосування 168
- переносних електроприймачів 151
- призначення 167
- принцип дії 167
- розрахунок 178

Засоби захисту 36, 211

- - екранувальні 215, 269, 270
- - електрозахисні ізолювальні 214
- - запобіжні 233, 278

Затискач ізолювальний 108, 160

Захисне вимикання 184

Заходи першої допомоги 45

Звільнення людини від дії струму 41

Земля 64, 72

З'єднання заземлювальних провідників 141, 147

Знак електричний 13

Зона впливу 263

- охоронна 266
- екранування 269

Зупинення дихання 19

- роботи серця 19, 46

Ізолювальна частина 215, 218

Ізоляція подвійна 209

- робоча 209

Індуктивність проводів 118

Інструмент слюсарно-монтажний 227

- - - випробування 233

Калоші діелектричні 42, 214
 - - випробування 233
 Килими діелектричні 214, 225
 Кліщі ізолювальні 218
 - - випробування 233
 - електровимірювальні 219
 - - випробування 233
 Ковпак ізолювальний 216, 226
 - - випробування 233
 - - встановлення 226
 Коефіцієнт використання заземлювача 81
 - напруги дотику 85
 - - кроку 90
 Комплект одягу екранувальний 269
 - - заземлення 270
 - - захисний принцип 270
 - - конструкція 270
 - - галузь застосування 269
 Критерії електробезпеки 36

 Лінії еквіпотенціальні 67, 92

 Масаж серця 53
 - - виконання 54, 55
 Мережі однофазні 96, 111
 - - із заземленим проводом 96, 114
 - - ізольовані від землі 96, 111
 - трифазні 116
 - - з глухозаземленою нейтраллю 120
 - - з ізольованою нейтраллю 100, 123
 - - з компенсованою нейтраллю 97, 102
 - - чотирипроводові з нейтраллю, заземленою через активний та індуктивний опори 116
 Металізація шкіри 13, 15
 Метод амперметра – вольтметра 157
 Механізм смерті від електричного струму 18
 Механічне пошкодження 16

Накладка ізолювальна 216, 226
Напруга відносно землі 99, 172, 174
- дотику 84
- - допустимі значення 36, 37
- - при груповому заземлювачі 87
- - при одиночному заземлювачі 85
- кроку 90
- - при груповому заземлювачі 92
- - при одиночному заземлювачі 91
- мала 138, 205

Нейтраль 96

- глухозаземлена 96, 98, 104
- ізольована 97, 99, 100
- компенсована 97, 102

Нейтральний провідник 108

- точка 96

Норми випробувань електрозахисних засобів 234 – 236

Огорожі тимчасові 225

Окуляри захисні 230

Опіки електричні 13

Опір 79

- групового заземлювача 79
- заземлення нейтралі 118, 123, 166
- заземлювача 63, 69, 157
- землі 161
- - питомий 161
- - - вимірювальний 161
- петлі фаза – нуль 176, 179
- повторного заземлення 166
- одиночного заземлювача 68
- складного заземлювача 79
- тіла людини 21
- - - схема заміщення 22
- тканин тіла людини 21

Параліч дихання 30

Петля фаза-нуль 176
Питомий опір землі 161
Підставка ізолювальна 225
Пісок 72
Плавкі запобіжники 167
Плакати безпеки 215, 231
Повітряна лінія 44
Показчик напруги 221
- - випробування 234
- - двополюсний 221
- - однополюсний 222
Поля розтікання струму 73, 92
Потенціальна крива заземлювача 65, 67, 94
- - - групового 73
- - - півкульового 68
- - - одиночного 66
Пристрій захисного вимикання 185, 248
- заземлювальний 141
- - - галузь застосування 187
- - - основні елементи 184
- - - типи 188
Провідність активна 118
- реактивна 118
Провідник заземлювальний 107, 145
- - кріплення 146, 147
- - переріз 146
- - призначення 141
Промені інфрачервоні 16, 231
- ультрафіолетові 16, 231

Режим нейтралі 96, 128
Різниця потенціалів 90, 95
Роботи під напругою 15, 110, 215
Роговий шар шкіри 24
Розподіл потенціалу навколо заземлювача 65, 67, 94
Рукавички діелектричні 224

Смерть біологічна 19

- клінічна 18
- - тривалість 19
- Стікання струму в землю 63
- Струм через людину 28
 - відчутний 28
 - невідпускаючий 29
 - фібриляційний 30
- Тимчасові переносні заземлення 228
 - - - встановлення 229
 - - - зняття 229
 - - - конструкція 228
- Точка нейтральна 96
- Трансформатор розділовий 203
- Трипроводова мережа 123
- Удар електричний 17
 - - ступені небезпеки 17
- Уражаючий фактор 28
- Фаза Т кардіоциклу 31
- Фібриляція серця 20
- Фільтри напруги нульової послідовності 185, 188
 - струму нульової послідовності 188, 190
- Формули опорів заземлювачів 70, 71
- Частини електрообладнання, які підлягають заземленню 149
 - - зануленню 149
- Чотирипроводова трифазна мережа 116
- Чутливість пристроїв захисного вимикання 185
- Шок електричний 19
- Штанги ізолювальні 216
 - - випробування 233
- Штучне дихання 48
 - - виконання 40

