

? Питання для самоконтролю

1. Охарактеризуйте схеми мереж трифазного струму.
2. Що таке лінійна і фазна напруга? Як вони пов'язані?
3. Поясніть позначення мереж за стандартом МЕК.
4. Напруга дотику у чотирипроводній мережі з глухозаземленою нейтраллю за нормального режиму роботи.
5. Напруга дотику у чотирипроводній мережі з глухозаземленою нейтраллю за аварійного режиму роботи.
6. Напруга дотику у трипроводній мережі з ізольованою нейтраллю за нормального режиму роботи.
7. Напруга дотику у трипроводній мережі з ізольованою нейтраллю за аварійного режиму роботи.
8. Чому зараз перевага віддається п'ятипроводним мережам?
9. Охарактеризуйте мережу TN-C.
10. Охарактеризуйте мережу TN-S.
11. Охарактеризуйте мережу TN-CS.
12. Чим небезпечний двофазний дотик?
13. Від чого залежить струм, що йде через тіло людини при двофазному дотику?
14. Від чого залежить струм, що йде через тіло людини при однофазному дотику?

8 ЗАХІСНІ МІРИ В ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

8.1 Електроізоляція

Стан електричної ізоляції значною мірою визначає безпеку експлуатації електроустановок, особливо - в мережах з ізольованою нейтраллю. Опір ізоляції в даному випадку визначає струм, що проходить через тіло людини. У мережах з напругою понад 1000 В пошкодження ізоляції призводить до замикання на землю. При заземленої нейтралі струм замикання на землю і струм, що проходить через людину, не залежать від опору ізоляції, але при пошкодженні ізоляції можливі замикання на корпус або короткі замикання. При замиканні на корпус виникає небезпека ураження людей, так як під напругою виявляються неструмоведучі частини. Коротке замикання може служити причиною пожежі.

Опір ізоляції кожної ділянки в мережах напругою до 1000 В повинен бути не нижче 500 кОм на фазу. Ділянкою вважається частина мережі між двома послідовно встановленими апаратами захисту або за останнім захисним апаратом (автоматичне реле, плавкий запобіжник і т.п.). Для ізоляції електричних апаратів та машин норми інші.

В електромеханічному й електронагрівальному устаткуванні для підприємств громадського харчування опір основної ізоляції між

струмопровідними частинами і корпусом приймається не менше 2 МОм. Опір посиленої ізоляції – не менше 7 МОм.

Опір ізоляції залежить від багатьох чинників - від питомого електричного опору ізоляційного матеріалу, від товщини ізоляції і довжини ділянки. Опір ізоляції зменшується зі збільшенням вологості повітря. Підвищена температура прискорює старіння ізоляції, що призводить до зниження її опору і навіть до руйнування. Опір ізоляції нелінійно залежить від прикладеної напруги - з ростом напруги він знижується.

Ізоляція електричних установок розділяється на зовнішню і внутрішню.

До зовнішньої ізоляції установок високої напруги відносять ізоляційні проміжки між електродами (проводами ліній електропередачі (ЛЕП), шинами розподільних пристроїв (РП), зовнішніми струмоведучими частинами електричних апаратів і т.д.), в яких роль основного діелектрика виконує атмосферне повітря. Ізольовані електроди розташовуються на певних відстанях один від одного і від землі (або заземлених частин електроустановок) і зміцнюються в заданому положенні за допомогою ізоляторів.

До внутрішньої ізоляції відноситься ізоляція обмоток трансформаторів і електричних машин, ізоляція кабелів, конденсаторів, герметизована ізоляція вводів, ізоляція між контактами вимикача у відкритому стані, тобто ізоляція герметично ізольована від впливу навколишнього середовища корпусом, оболонкою, баком і т.д. Внутрішня ізоляція як правило являє собою комбінацію різних діелектриків (рідких і твердих, газоподібних і твердих).

Для електроізоляції використовують покривні лаки, фарби. В якості електроізоляційних матеріалів застосовується бавовняна пряжа, гума, поліхлорвініл, нейрит та інші пластмаси. При високих температурах раніше використовувався азбест, але зараз його застосування заборонено завдяки канцерогенним властивостям. В цьому разі застосовують технічну кераміку, кремнеземні тканини, термостійкі пластмаси.

Вибір діелектриків для ізоляції залежить від умов її експлуатації. Наприклад, для ізоляції електричних машин (генераторів, двигунів) визначальне значення має стійкість до нагріву; в цьому випадку ізоляцію найчастіше виготовляють зі слюди.

Для ізоляції повітряних ліній електропередачі особливо важливі вологостійкість і механічна міцність, найбільш підходящі матеріали - порцеляна і скло.

У радіотехнічних пристроях ізоляція виконується звичайно з матеріалів, що володіють мінімальними діелектричними втратами і максимальним об'ємним і поверхневим електричними опорами.

У трансформаторах, електричних конденсаторах і кабелях застосовують комбіновану ізоляцію, що складається з мінерального масла і просоченої їм целюлози (паперу, електрокартону, прессшпана).

Розрізняють такі види ізоляції:

- Робоча — електрична ізоляція струмопровідних частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист від ураження електричним струмом;
- Додаткова — електрична ізоляція, передбачена додатково до робочої ізоляції для захисту від ураження електричним струмом в разі ушкодження робочої ізоляції;
- Подвійна — ізоляція, яка складається з робочої та додаткової ізоляції;
- Посилена — поліпшена робоча ізоляція, яка забезпечує захист від ураження електричним струмом не менше ніж подвійна ізоляція.

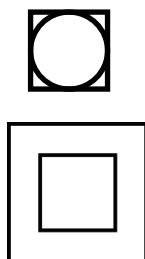
На рис. 8.1 показана електрична ізоляція кабелю.



Рисунок 8.1 - Електрична ізоляція кабелю.

З метою підвищення надійності застосовують подвійну ізоляцію, яка особливо ефективна в ручному електроінструменті. Тут використовується робоча ізоляція, тобто ізоляція струмоведучих частин всередині корпусу, і додаткова - ізолюваний сам корпус. Таке електрообладнання маркується знаком

або



Проводи повітряних ліній електропередач підвішують на порцелянових ізоляторах, щоб уникнути замикання через дугу (рис. 8.2).

Активний опір ізоляції на ділянці в разі проводів круглого перерізу можна приблизно визначити за формулою, Ом:

$$R_i = \frac{\rho \delta}{\pi d_i l},$$

де ρ - питомий електричний опір ізоляційного матеріалу, Ом · м; δ - товщина ізоляції, м; d_i – середній діаметр ізоляції, м; l – довжина ділянки, м.

У разі великої довжини ділянки необхідно враховувати ємнісну провідність. Ємнісний опір однієї фази відносно землі, Ом:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C},$$

де C – ємність фази відносно землі, Ф.

Повний опір фазного проводу Z_f відносно землі можна представити як два паралельно включених опори - активний і ємнісний. Тоді отримуємо, Ом:

$$Z_f = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R_i^2} + \frac{1}{X_c^2}}}$$

Контролюють опір ізоляції електричної мережі:

- у приміщеннях без підвищеної небезпеки – не рідше, ніж раз на рік;
- у приміщеннях підвищеної небезпеки і особливо небезпечних – не рідше, ніж двічі на рік;

Якщо опір ізоляції знижується на 50 % від початкового значення, проводку або ізоляцію замінюють.



Рисунок 8.2 – Порцелянові ізолятори

8.2 Недоступне розташування струмоведучих частин

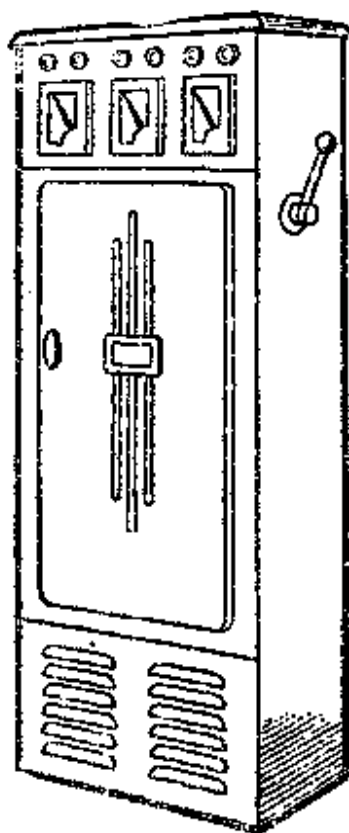
Недоступність відкритих струмоведучих частин можна забезпечити шляхом огороження або недоступного розташування.

Огороження застосовуються суцільні та сітчасті. Суцільні огорожі у вигляді кожухів та кришок використовуються при напрузі до 1000 В. Перевага повинна віддаватися замикаючим кришкам на шарнірах перед кришками на болтах. Останні легко знімаються і губляться.

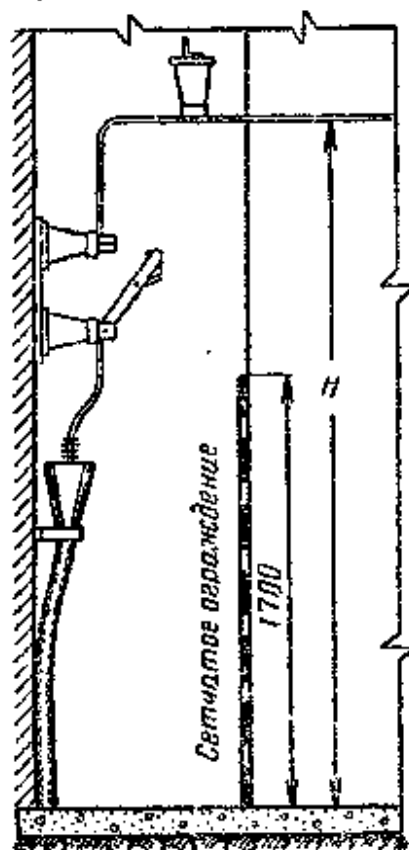
Сітчасті огорожі у вигляді сіток з осередками 25×25 мм застосовуються при будь-якій напрузі. Вони мають двері, що закриваються на замок.

У разі застосування розподільчого пристрою з відкритими струмоведучими частинами воно повинно бути огорожене й обладнане місцевим освітленням. При цьому огорожа повинна бути сітчастою, суцільною або змішаною висотою не менше 1,7 м. Дверцята входу за огорожу повинні замикатися на ключ. Відстань від сітчастої огорожі до неізольованих струмоведучих частин пристрою повинна бути не менше 0,7 м.

Приклади огорожень і недоступних розташувань надані на рис. 8.3



а



б

а) Електрична розподільча металічна шафа, що забезпечує суцільне укриття струмоведучих частин; б) Сітчаста огорожа і розташовані на недоступній висоті струмоведучі частини

Рисунок 8.3 – Огородження і недоступне розташування струмоведучих частин

При ремонтних і профілактичних роботах з частково знятою напругою або без зняття напруги використовують тимчасові огорожі у вигляді щитів.

Недоступне розташування полягає в розміщенні відкритих струмоведучих частин або ізольованих проводів високої напруги на досить великій висоті. Неізольовані струмопровідні частини напругою до 1000 В повинні розташовуватися всередині приміщення на висоті не менше 3,5 м, поза приміщенням - не менше 6 м. Відстані від таких струмопроводів до технологічного устаткування повинні бути не менше 1,5 м, до трубопроводів - не менше 1 м. Відстані по вертикалі до поверхні землі від проводів повітряних ліній електропередач напругою вище 1000 В повинні бути не менше 7 м при напрузі до 110 кВ включно, не менше 7,5 м при напрузі 150 кВ, і не менше 8 м при більш високій напрузі. Нормуються також відстані від проводів повітряних ліній до будівель і споруд, доріг, залізниць, річок і каналів і т.д.

8.3 Застосування малих напруг

Малою вважається напруга не більше 42 В. Мережі з малою напругою застосовуються для живлення переносних електроприймачів - ручного електроінструменту III класу і ламп місцевого освітлення. У виробничих приміщеннях використовують для цих цілей, як правило напруги 12, 36 і 42 В (у шахтарських лампах - 2,5 В). Вибір напруги диктується умовами робочого середовища. У приміщеннях без підвищеної небезпеки допускається напруга до 42 В, у приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних, а також в зонах зовнішніх електроустановок - не вище 12 В.

Корпуса електроприймачів з малою напругою не потрібно зануляти або заземляти, окрім пристроїв електрозварювань і електроприймачів, працюючих у вибухонебезпечних приміщеннях.

Але навіть така напруга може бути небезпечною. У приміщенні з нормальним середовищем при напрузі 42 В опір тіла людини можна вважати рівним 2000 Ом. Струм при двофазному дотику складе $42/2000 = 0,021 \text{ А} = 21 \text{ мА}$. Це невідпускаючий струм. У приміщенні, де присутні ознаки підвищеної або особливої небезпеки, опір тіла людини приймається рівним 1000 Ом. При напрузі 12 В струм двофазного дотику дорівнює 12 мА. Цей струм викликає сильні болі та судоми в кистях і передпліччях. Таким чином, малі напруги забезпечують безпеку тільки при однофазному дотику.

Джерелами малої напруги служать знижувальні трансформатори. Джерелами постійного струму можуть служити акумулятори, гальванічні батареї. Незважаючи на те, що такі значення напруг (12...42 В) вважаються відносно безпечними, поразку струмом не можна виключити при несприятливому збігу обставин, наприклад, при замиканні між обмотками знижувального трансформатора. В цьому випадку дотик до струмоведучих частин або до незаземленого корпусу, що опинився під напругою, в мережі малого напруги рівноцінний такому ж дотику в мережі вищої напруги. З метою зменшення небезпеки при переході вищої напруги на сторону вторинної малої напруги вторинна обмотка трансформатора заземлюється чи занулюється.

Застосування автотрансформаторів як джерел малої напруги заборонено, так як в цьому випадку є електричний зв'язок з мережею вищої напруги.

Протяжність мереж малої напруги обмежена через значні втрати напруги внаслідок великих робочих струмів.

Часто мала напруга застосовується для живлення ручного електроінструменту.

8.4 Захист при роботі з ручним електроінструментом

Електроінструмент для виконання багатьох дрібних робіт дуже широко використовується у промисловості. На рис. 8.4 показаний один з таких інструментів – електрична дріль.

Електрифікований інструмент за умовами безпеки поділяється на такі класи:

I - електроінструмент, у якого всі деталі, що перебувають під напругою, ізолювані і штепсельна вилка має заземлювальний контакт.

У електроінструмента класу I всі деталі, що перебувають під напругою, можуть бути з основною, а окремі деталі - з подвійною або посиленою ізоляцією;

II - електроінструмент, у якого всі деталі, що перебувають під напругою, мають подвійну або посилену ізоляцію. Цей електроінструмент не має пристроїв для заземлення.

Номінальна напруга для електроінструмента класів I і II має бути не більше 220 В для електроінструмента постійного струму; 380 В - для електроінструмента змінного струму;

III - електроінструмент на номінальну напругу не вище 42 В, у якого ні внутрішні, ні зовнішні кола не перебувають під іншою напругою. Він не має такого захисту, як інструменти I і II класу.

Електроінструмент класу III призначений для живлення від безпечної малої напруги.



Рисунок 8.4 – Електрична дріль

Електроінструмент, який живиться від електромережі, слід обладнувати незнімним гнучким кабелем (шнуром) зі штепсельною вилкою.

Незнімний гнучкий кабель електроінструмента класу I повинен мати жилу; яка з'єднує заземлювальний затискач електроінструмента із заземлювальним контактом штепсельної вилки. Кабель в місці введення до електроінструмента класу I слід захищати від стирань і перегинів еластичною трубкою з ізоляційного матеріалу. Трубку слід закріплювати в корпусних деталях електроінструмента, вона повинна виступати з них на довжину не менше п'яти діаметрів кабелю. Закріплення трубки на кабелі поза інструментом забороняється.

Для приєднання однофазного електроінструмента шланговий кабель повинен мати три жили: дві - для живлення, одну - для заземлення. Для приєднання трифазного електроінструмента застосовується чотирижильний кабель, одна жила якого слугує для заземлення. Ці вимоги стосуються тільки електроінструмента із таким корпусом, який слід заземлювати.

Доступні для доторкання металеві деталі електроінструмента класу I, які можуть опинитись під напругою, у випадку пошкодження ізоляції, повинні бути з'єднані із заземлювальним затискачем.

Електроінструмент класів II і III не заземлюють. Заземлення корпусу електроінструмента здійснюється спеціальною жилою живильного кабелю, яка не може одночасно бути провідником робочого струму. Використовувати з цією метою нульовий робочий провід забороняється.

Штепсельна вилка повинна мати відповідну кількість робочих і один заземлювальний контакт. Конструкція вилки повинна забезпечувати випереджальне замикання заземлювального контакту під час ввімкнення та більш запізнене розмикання його під час замикання. Конструкція

штепсельних вилок електроінструмента класу III повинна унеможливлувати з'єднання їх з розетками на напругу понад 42 В.

8,5 Електричний розподіл мережі

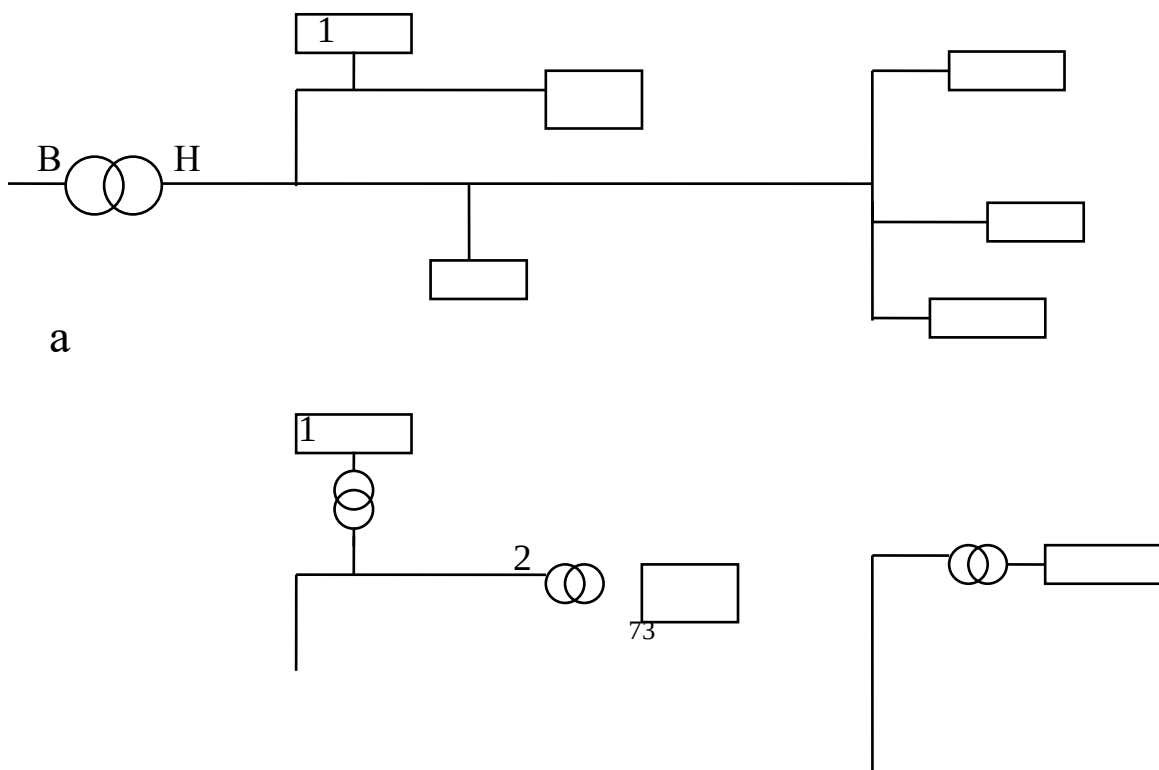
Струм, що проходить через тіло людини при однофазному дотику в мережі з ізолюваною нейтраллю залежить від активного опору ізоляції і ємнісного опору фази щодо землі. Чим довша мережа, тим менше опір ізоляції і більше ємність. Розгалужена мережа великої протяжності (рис. 8.5, а) має значну ємність і порівняно невеликий активний опір ізоляції відносно землі. Струм замикання на землю в такій мережі може бути значним. Однофазний дотик в такій мережі навіть з ізолюваною нейтраллю є небезпечним.

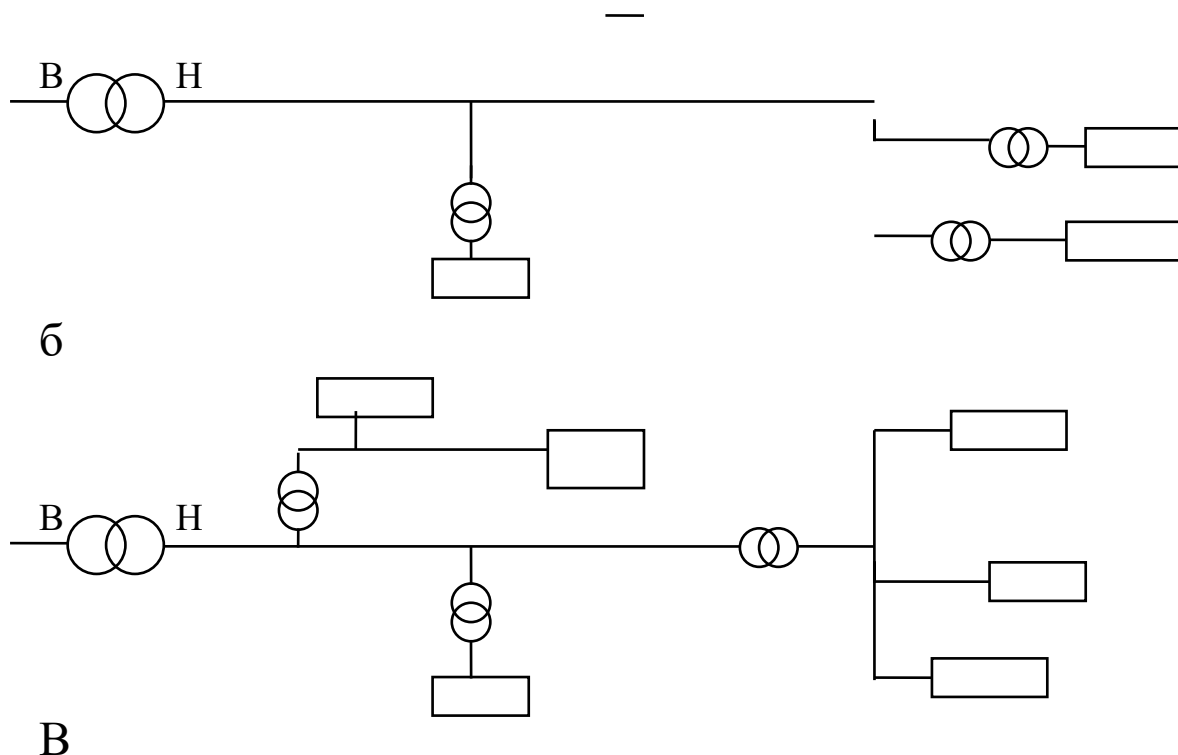
Якщо єдину довгу розгалужену мережу з ізолюваною нейтраллю розділити на ряд невеликих мереж такої ж напруги, електрично зв'язаних одна з одною, які будуть мати незначну ємність і високий опір ізоляції, небезпека ураження різко знизиться.

Зазвичай електричний розподіл мереж здійснюється шляхом підключення окремих електроприймачів через розділові трансформатори (рис. 8.5, б), що живляться від основної мережі.

Можлива й інша схема - поділ розгалуженої мережі на кілька приблизно однакових незв'язаних мереж (рис. 8.5, в). Розділові трансформатори мають коефіцієнт трансформації 1: 1, тобто не підвищують і не знижують напругу.

Для поділу мереж можуть застосовуватися не тільки трансформатори, але перетворювачі частоти і випрямні установки, які повинні зв'язуватися з живильною їх мережею тільки через трансформатор. При прямому сполученні або через автотрансформатор мережа залишається єдиною і струм через людину при однофазному дотику не зменшується.





1- електроприймач; 2- розподільчий трансформатор

Рисунок 8.5 - Електричний розподіл мережі

Область застосування захисного розподілу мереж - електроустановки напругою до 1000 В, експлуатація яких пов'язана з підвищеною небезпекою, зокрема пересувні установки, ручний електроінструмент і т.п.

Не допускається заземлення нейтралі або одного з виводів вторинної обмотки розділового трансформатора.

Чималу небезпеку становить можливість продовження роботи електроустановки при замиканні фази на землю з малим опором замикання. При цьому людина, що доторкнеться до справної фази, опиняється під напругою, близьким до лінійного. Щоб уникнути цього необхідний постійний контроль за станом ізоляції.

8.6 Блокування

В даному випадку під блокуванням розуміють автоматичне відключення електроустановки при виникненні можливості ураження людини струмом.

Блокуванням забезпечуються всі електроустановки напругою понад 250 В, установки в апаратах, що працюють в умовах, в яких пред'являються підвищені вимоги безпеки (суднові, підземні тощо), в яких часто проводяться роботи на огорожених струмоведучих частинах (наприклад, випробувальні стенди).

Блокування бувають електричні і механічні.

Розглянемо дію електричного блокування на прикладі, показаному на рис. 8.6.

[illegible]

1 - електроустаткування; 2 – сітчасте огороження; 3 - двері огороження; 4 - силові контакти; 5 - магнітний пускач; 6 - кнопка «пуск»; 7 - кнопка «стоп»; 8 - блок-контакт; 9 - контакт ланцюгу управління

Рисунок 8.6 – Схема електричного блокування

При механічному блокуванні включення напруги можливо тільки при закритому замку або клямці, які механічно пов'язані з вимикачем.

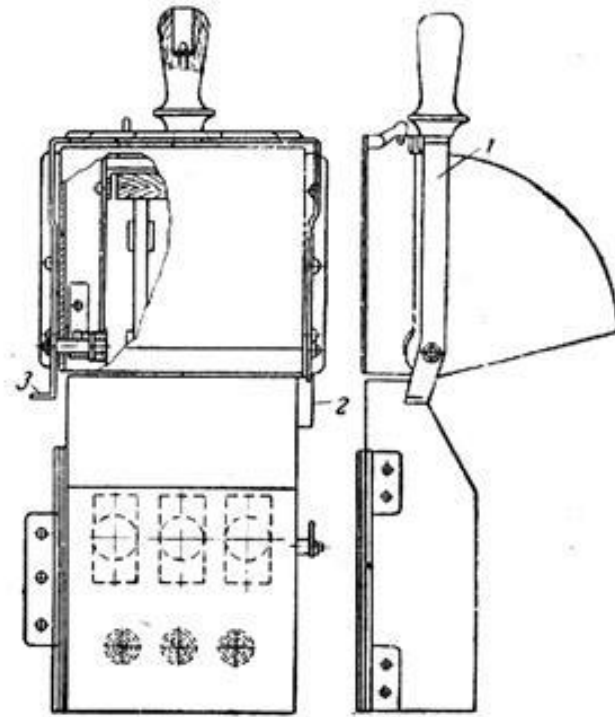
При напрузі понад 1000 В обладнання підвищеної потужності повинне мати обидва блокування - електричне і механічне.

Використовуються жезлові і важільні системи механічного блокування.

При жезловій системі всі двері шаф або огорож мають спеціальні замки, які відкриваються одним ключем. Конструкція замка така, що повернути ключ і вийняти його з замку можна, тільки вимкнувши попередньо рубильник, що знімає високу напругу. Конструкція дверних замків не дозволяє вийняти ключ, якщо двері не закриті. Включити рубильник можна тільки в тому випадку, якщо двері огорожі буде зачинені і замкнені.

При важільній системі ручка управління рубильником механічно пов'язана з дверним заслоном замку. При виключенні рубильника одночасно висувається заслін замку і тільки після цього можна відкрити двері шафи або огорожі. При відкритих дверях конструкція замку не дозволяє засунути заслін замку назад і, отже, не допускає включення рубильника, коли за огорожею працює обслуговуючий персонал.

Механічні блокування застосовують також для блокування кожухів рубильників, пускачів, вимикачів з пристроєм, що їх включає (рис. 8.7). При включеному рубильнику (пускачі) механічний пристрій не дозволяє зняти огорожуючий кожух, а при знятому кожусі механізм не дозволяє включити рубильник (пускач).



1 - рубильник; 2, 3 - виступи, які перешкоджають включенню рубильника при знятому кожусі або зняттю кожуха при включеному рубильнику

Рисунок 8.7 - Механічне блокування рубильника

8.7 Класифікація і маркування вибухозахищеного електрообладнання

Електрообладнання може служити причиною пожеж і вибухів завдяки коротким замиканням, струмовим перевантаженням, великим перехідним опорам тощо. Несправність або неправильна експлуатація електроустановок – основна причина пожеж у промисловості України. Для того, щоб знизити імовірність відмов, загорянь, пожеж і вибухів, пов'язаних з електрообладнанням, останнє може виконуватися у вибухозахищеному виді.

Вибухозахищене електрообладнання поділяється за рівнями та видами вибухозахисту, групами і температурними класами.

Визначені такі **рівні** вибухозахисту електрообладнання:

- електрообладнання (електротехнічний пристрій) підвищеної надійності проти вибуху - вибухозахищене електрообладнання, у якому вибухозахист забезпечується тільки у визначеному режимі його роботи. Знак рівня - 2;

- вибухозахищене електрообладнання (електротехнічний пристрій) - вибухозахищене електрообладнання, у якому вибухозахист забезпечується як при нормальному режимі роботи, так і при ймовірних пошкодженнях,

які визначаються умовами експлуатації, крім пошкоджень засобів вибухозахисту. Знак рівня - 1;

- особливо вибухозахищене електрообладнання (електротехнічний пристрій) - вибухозахищене електрообладнання, у якому щодо вибухозахищеного електрообладнання (електротехнічного пристрою) вжито додаткових заходів вибухозахисту, які передбачені стандартами на види вибухозахисту. Знак рівня - 0.

Вид вибухозахисту електрообладнання (електротехнічного пристрою) - сукупність заходів, які встановлені нормативними документами. Ці види вибухозахисту визначені в стандартах на вибухозахищене електрообладнання.

ПУЕ встановлено 9 видів вибухозахисту.

1) **«Вибухонепроникна оболонка»** (ГОСТ 22782.6). Позначення «d». Вибухозахист забезпечується за рахунок наявності оболонки електричного обладнання, яка витримує тиск вибуху в її середині та унеможливорює його розповсюдження з оболонки в навколишнє вибухонебезпечне середовище.

2) **«Заповнення або продування оболонки захисним газом під надлишковим тиском»** (ГОСТ 22782.4). Позначення «р». Оболонка електричного обладнання заповнюється або продувається надлишковим тиском повітря чи інертного газу.

3) **«Іскробезпечне електричне коло»** (ГОСТ 22782.5). Позначення «i». Електричне коло виконане так, що електричний розряд або нагрівання не може запалити вибухонебезпечне середовище в умовах спеціальних випробувань.

4) **«Кварцове заповнення оболонки»** (ГОСТ 22782.2). Позначення «q». Оболонка електричного обладнання заповнюється кварцовим або іншим негорючим порошком.

5) **«Масляне заповнення оболонки»** (ГОСТ 22782.1). Позначення «o». Оболонка електричного обладнання заповнюється маслом або рідким негорючим діелектриком.

6) **«Захист виду «e»** (ГОСТ 22782.7). Позначення «e». В електричному обладнанні або його частинах нема деталей, що нормально іскрять, і вжито низку заходів додатково до використаних в електрообладнанні загального призначення, які утруднюють появу небезпечного нагрівання, електричних іскор і дуг.

7) **«Захист виду "m"»**. Будь-яка частина електричного обладнання, здатна запалити вибухонебезпечне середовище через іскріння або нагрівання, замкнена в компаундну оболонку.

8) **«Спеціальний вид вибухозахисту»** (ГОСТ 22782.3). Позначення «s». Вибухозахист забезпечується на принципах, відмінних від приведених у пп. 1-7, але достатніх для його здійснення.

9) **«Захист виду "n"»**. Електрообладнання відповідає вимогам стандартів щодо електричних приладів, які в нормальному режимі експлуатації не мають гарячих поверхонь, здатних до загоряння, та не

створюють електричних дуг або іскор. Електрообладнання з цим видом вибухозахисту слід застосовувати у вибухонебезпечних зонах класу 2.

У залежності від області застосування, вибухозахищене електроустаткування поділяють на дві **групи**:

1) рудничне електроустаткування - призначене для підземних виробіток, шахт, рудників. Знак групи I;

2) електроустаткування, призначене для внутрішньої і зовнішньої установки у вибухонебезпечних зонах. Знак групи - II.

Електроустаткування групи II розділяється на три підгрупи (IIA, IIB, IIC), що відповідають категоріям вибухонебезпечних сумішей.

Категорії визначаються за величиною проміжку, через який не може пройти полум'я. Ця величина визначається експериментально, на спеціальному приладі і позначається БЕМЩ. Безпечна експериментальна максимальна щілина (БЕМЩ) - максимальний проміжок між фланцями оболонки, крізь який не передається вибух з оболонки в навколишнє середовище за будь-якої концентрації горючих газів у повітрі. Категорії вибухонебезпечних сумішей за величиною БЕМЩ надані у табл. 8.1.

Таблиця 8.1 - Категорія вибухонебезпечних сумішей повітря з газами або з парою

Категорія суміші	Найменування суміші	Значення БЕМЩ, мм
II	Промислові гази і пара	-
II A	Те саме	0,9 і більше
II B	"-	більше 0,5, але менше 0,9
II C	"-	0,5 і менше

Електроустаткування групи II, у залежності від значення граничної температури, підрозділяються на шість температурних класів (табл. 8.2), що відповідають групам вибухонебезпечних сумішей (T1-T6).

Таблиця 8.2 – Температурні класи електроустаткування

Температурний клас електрообладнання	Температура самозаймання суміші °C	Група вибухонебезпечної суміші, для якої електрообладнання є вибухозахищеним
T1	>450	T1
T2	300 - 450	T1, T2
T3	200 - 300	T1 - T3

T4	135 - 200	T1 - T4
T5	100 - 135	T1 - T5
T6	85 - 100	T1 - T6

Приклад маркування: 1ExsdIIAT6. 1 - знак рівня вибухозахисту «вибухозахищене»; Ex - знак, що вказує на відповідність електроустаткування стандартам МЕК на вибухозахищене електроустаткування; s, d - знаки видів вибухозахисту; IIА - знак підгрупи; Т6 - знак температурного класу.

Знак "Х", який може мати місце після позначення маркування вибухозахисту електротехнічного пристрою, означає, що в експлуатаційній документації на нього вказані особливі умови монтажу та (або) експлуатації, пов'язані з забезпеченням його вибухозахисту.

8.8 Ступені захисту електрообладнання

При експлуатації електрообладнання на нього можуть впливати різні зовнішні чинники - пил, волога, температура. Також повинен забезпечуватися його захист від попадання всередину виробів сторонніх предметів, випадкового торкання різних частин. Крім того, будь-який електричний прилад або виріб несуть в собі небезпеку ураження електричним струмом.

Безпека експлуатації електрообладнання забезпечується відповідними організаційними заходами (наприклад, дотриманням правил електробезпеки), а також його конструктивним виконанням.

Останнє визначається класифікацією електрообладнання, яка включає:

- Ступінь захисту IP від зовнішніх впливів.
- Кліматичне виконання електрообладнання.
- Клас захисту від ураження електричним струмом.

Ступінь захисту він же «IP», це ніщо інше як індекс за яким визначається герметичність виробу. Технічною мовою цей індекс і звучить як - IP (ай-пи). *Ingress Protection Rating* — міжнародна система класифікації ступенів захисту оболонки електрообладнання від проникнення твердих предметів і води відповідно до міжнародного стандарту IEC 60529 (DIN 40050, ГОСТ 14254-96).

Різні електричні прилади, обладнання (двигуни, вимикачі, світильники тощо), мають кожен свій IP. Ступінь захисту виражається в двох цифрах, кожна з яких має задане міжнародним стандартом значення.

Значення першої цифри означає захист від попадання твердих предметів, а значення другої — захист від проникнення води. Нижче наведені таблиці міжнародної класифікації значень індексу «ступеня захисту», з якого видно, що чим вище індекс тим герметичніше виріб

(табл.. 8.3, 8.4). Наприклад, вироби зі ступенем захисту IP20 може встановлюватися тільки в закритих приміщеннях і умовно не можуть встановлюватися в приміщеннях з підвищеною вологістю, а пристрої зі ступенем захисту IP65 мають певну герметичність, експлуатація таких виробів рекомендується до установки в умовах високої вологості і запиленості.

Таблиця 8.3 – Ступінь механічного захисту

1-а цифра в індексі IP: захист від попадання твердих тіл і частинок	
1	2
0	Захист відсутній
1	Захист від проникнення всередину оболонки до струмоведучих і рухомих частин великої ділянки поверхні людського тіла і захист від проникнення під оболонку твердих тіл розміром понад 50 мм
2	Захист від проникнення всередину оболонки до струмоведучих і рухомих частин пальців або предметів довжиною більше 80 мм і від проникнення під оболонку твердих тіл розміром понад 12 мм.
3	Захист від проникнення всередину оболонки до струмоведучих і рухомих частин інструментів, дроту і т.д. діаметром або товщиною понад 2,5 мм і від проникнення під оболонку твердих тіл розміром понад 2,5 мм

Закінчення таблиці 8.3

1	2
4	Захист від проникнення всередину оболонки до струмоведучих і рухомих частин дроту та інших предметів завтовшки понад 1 мм і від проникнення під оболонку твердих тіл розміром понад 1 мм.
5	Повний захист персоналу від випадкового дотику з струмоведучими і рухомими частинами, що перебувають під оболонкою проникнення пилу всередину не попереджено повністю, проте пил не може проникати в кількості, достатній для порушення роботи виробу.
6	Повний захист персоналу від випадкового дотику з

	струмоведучими і рухомими частинами, що перебувають під оболонкою і повний захист від проникнення пилу.
--	---

Таблиця 8.4 – Захист від проникнення вологи

2-а цифра в індексі IP: захист від проникнення вологи	
0	Захист відсутній
1	Захист від крапель води. Краплі води, вертикально падаючі на оболонку, не повинні мати шкідливий вплив на вироби.
2	Захист від крапель води, падаючих на оболонку при нахилі 15 °. Краплі не повинні мати шкідливий вплив на виріб.
3	Захист від дощу. Дощ, що падає на оболонку під кутом 60 ° від вертикалі, не повинен мати шкідливого впливу на виріб, що знаходиться під оболонкою.
4	Захист від бризок, падаючих під будь-яким кутом. Бризки не повинні мати шкідливого впливу на виріб, що знаходиться під оболонкою.

Закінчення таблиці 8.4

1	2
5	Захист від водяних струменів. Струмінь води, який викидається в будь-якому напрямку на оболонку, не повинен надавати шкідливої дії на виріб.
6	Захист від впливів, характерних для палуби корабля (включаючи палубне водонепроникне обладнання, наприклад, <u>вологозахищені розетки і вимикачі</u>).
7	Захист при зануренні у воду. Вода не повинна проникати в оболонку, занурену в воду, при певних умовах тиску і часу в кількості, достатній для пошкодження виробу.

8	Захист при тривалому зануренні у воду. Вироби придатні для тривалого занурення в воду за умов, встановлених виробником.
---	--

8.9 Класи захисту від ураження струмом

Щоб запобігти ураженню людини електричним струмом при конструюванні електротехнічних виробів виробники закладають певні рішення щодо зниження ризику. Залежно від складності конструкції і заходів, вжитих для захисту людей, визначається клас захисту від ураження електричним струмом. Він нормується у ГОСТ 12.2.007.0-75 «Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки».

Клас захисту – це комплекс конструктивних заходів щодо забезпечення безпеки людини при роботі з пристроєм або його обслуговуванні. Вони залежать від наявності заземлення, пристроїв захисного відключення, додаткової ізоляції, матеріалу корпусу і конструктивних його особливостей. Маркується клас знаками від 0 до III, де 0 – немає захисту, а III – безпечне обладнання з живленням від зниженої напруги.

Класи захисту

0. Електричні прилади з маркуванням захисту «0» не мають жодних захисних засобів від ураження людини електричним струмом. Єдиним захисним елементом є робоча ізоляція. При цьому всі відкриті провідні (металеві) неструмоведучі частини пристрою не мають з'єднання із заземленням або будь-яким захисним провідником. Також немає ніякого індикатора наявності на корпусі небезпечної напруги.

Якщо робоча ізоляція пошкодиться, на корпусі може з'явитися електричний потенціал, а вас зможе захистити тільки покриття підлоги. Але якщо ви торкнетеся корпусу, стоячи на вологій підлозі – напевно вас вдарить струмом.

МЕК не рекомендує випускати електроприлади з класом захисту «0», але ПУЕ допускає використання таких світильників у приміщеннях. Варто зазначити, що використовувати такі вироби можна в приміщеннях, де немає заземлених провідних елементів по близькості і в робочій зоні і там, куди немає доступу стороннім особам або він обмежений. У більшості країн вони визнані небезпечними. З цієї ж причини заборонені старі обігрівачі та електроплити з відкритими спіралями, адже це не тільки пожежебезпечно, але і не відповідає вимогам електробезпеки.

00. У «00» все аналогічно «0», клас відрізняється лише тим, що з'явилася індикація присутності небезпечної напруги корпусі. За умови, що обслуговуючий персонал навчений і є засоби індивідуального захисту, можна використовувати в сирих приміщеннях.

000. Доданий пристрій захисного відключення з чутливістю не більше ніж в 30 мА, зі швидкістю відключення не більше 0,08 с. В іншому

все аналогічно класам захисту від ураження електричним струмом «0» і «00».

0I. Є робоча ізоляція, але металеві частини корпусу і інші неструмоведучі частини не мають ізоляції. При цьому, на відміну від попередніх класів, заземлюються спеціальним проводом або мають механічний контакт заземлення корпусу з контуром заземлення. Місце приєднання захисного провідника або контакту з контуром позначається відповідним символом.

Як приклад можна привести: вантажопідйомні крани, рухоме обладнання, яке переміщається по рейках або іншим способом, але не далі ніж це дозволяє заземлення.

Заземлення згідно з ПУЕ має жовто-зелений колір ізоляції.

I. Більш високий клас захисту від ураження електричним струмом. У таких електроприладах на вилці для підключення в електромережу доданий додатковий контакт «заземлення» (рис. 8.8). Також як і в класі «000», у електроустаткуванні цього типу присутня робоча ізоляція – це основний засіб захисту. Провідні ж частини обладнання, наприклад, корпус, заземлені та забезпечені захистом від виникнення напруги на неструмоведучих частинах.

До цього класу захисту від ураження електричним струмом відноситься велика частина побутової техніки: пральна і посудомийні машини, кухонні комбайни та інше.



Рисунок 8.8 – Електрична вилка із заземлюючим контактом

I+. Аналогічно до попереднього класу, але обов'язково присутній пристрій захисного відключення. При відключенні заземлення – клас прирівнюється до «000».

II. Головною відмінністю електрообладнання з другим класом захисту від ураження електрикою є наявність подвійної або посиленої ізоляції провідників. Однак корпус залишається незаземленим, а на вилці

немає додаткових заземлюючих контактів. Можливе використання такого обладнання у вологих приміщеннях до 85% вологості, за умови, що клас захисту нижче IP65.

Устаткування буває з ізолюваною оболонкою (корпусом) і металевим. Для останнього можливе підключення заземлюючого провідника, але це регламентується стандартами і конкретними електроприладами. Залежно від виконання може бути присутнім захисний опір на контактах і клеммах живлення, контроль справності захисних кіл.

II+. Відрізняється від другого класу наявністю пристрою захисного відключення. У свою чергу, заземлення корпусу відсутнє, як і заземлюючий контакт на вилці.

III. Устаткування з класом захисту від ураження електричним струмом «III» відрізняється зниженою напругою живлення до безпечного рівня, а саме 42 В.

При наявності корпусу з металу можлива наявність заземлюючого контакту, клеми або болта для підключення заземлюючого проводу. А також у випадках, коли заземлення несе не тільки захисну, але і функціональну роль.

Для прикладу можна навести переносні світильники для роботи в умовах з підвищеною небезпекою, в обмеженому просторі, при високій вологості. Також до них відноситься те обладнання, яке живиться низькою напругою, а блок живлення винесений за межі їх корпусу, наприклад: деякі монітори, ноутбуки та інше.

? Питання для самоконтролю

1. Вимоги до електричної ізоляції.
2. Наведіть класифікації ізоляції.
3. Які вимоги до матеріалу ізоляції?
4. Що таке подвійна ізоляція?
5. Від чого залежить активний опір ізоляції?
6. Від чого залежить ємнісний опір ізоляції?
7. Як ізолюють проводи повітряних ліній електропередач і чому?
8. Яке буває огороження струмоведучих частин?
9. Вимоги до розташування неізольованих струмоведучих частин.
10. Яка напруга називається малою?
11. Коли застосовується мала напруга?
12. Які існують джерела малих напруг?
13. Чим обмежується довжина мережі з малою напругою?
14. Охарактеризуйте класи електрифікованого інструменту за умовами безпеки.
15. Електроінструменти яких класів не заземлюють і чому?
16. Що являє собою електричний розподіл мережі?
17. У яких мережах застосовують електричний розподіл мережі?

18. Які існують схеми електричного розподілу мережі?
19. Опишіть блокування у електроустановках.
20. Які є види блокування у електроустановках?
21. Опишіть електричне блокування.
22. Опишіть жезлове блокування.
23. Опишіть важільне блокування.
24. Як поділяється вибухозахищене електрообладнання?
25. Опишіть рівні вибухозахисту електрообладнання.
26. Які існують види вибухозахисту електрообладнання?
27. Опишіть вид вибухозахисту «Вибухонепроникна оболонка».
28. Опишіть вид вибухозахисту «Іскробезпечне електричне коло».
29. Опишіть групи і підгрупи вибухозахищеного електрообладнання.
30. Що таке БЕМЩ?
31. Які існують температурні класи електрообладнання?
32. Охарактеризуйте індекс IP.
33. Як позначається в індексі IP захист від попадання твердих тіл і частинок?
34. Як позначається в індексі IP захист від проникнення вологи?
35. Які існують класи захисту електрообладнання від ураження людини електричним струмом?
36. Опишіть клас захисту 0.
37. Опишіть клас захисту 00.
38. Опишіть клас захисту 000.
39. Опишіть клас захисту 0I.
40. Опишіть клас захисту I.
41. Опишіть клас захисту I+.
42. Опишіть клас захисту II.
43. Опишіть клас захисту II+.
44. Опишіть клас захисту III.

9 ЗАХИСНЕ ЗАЗЕМЛЕННЯ

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

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

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

Захисне заземлення слід відрізняти від робочого заземлення та заземлення блискавкозахисту.

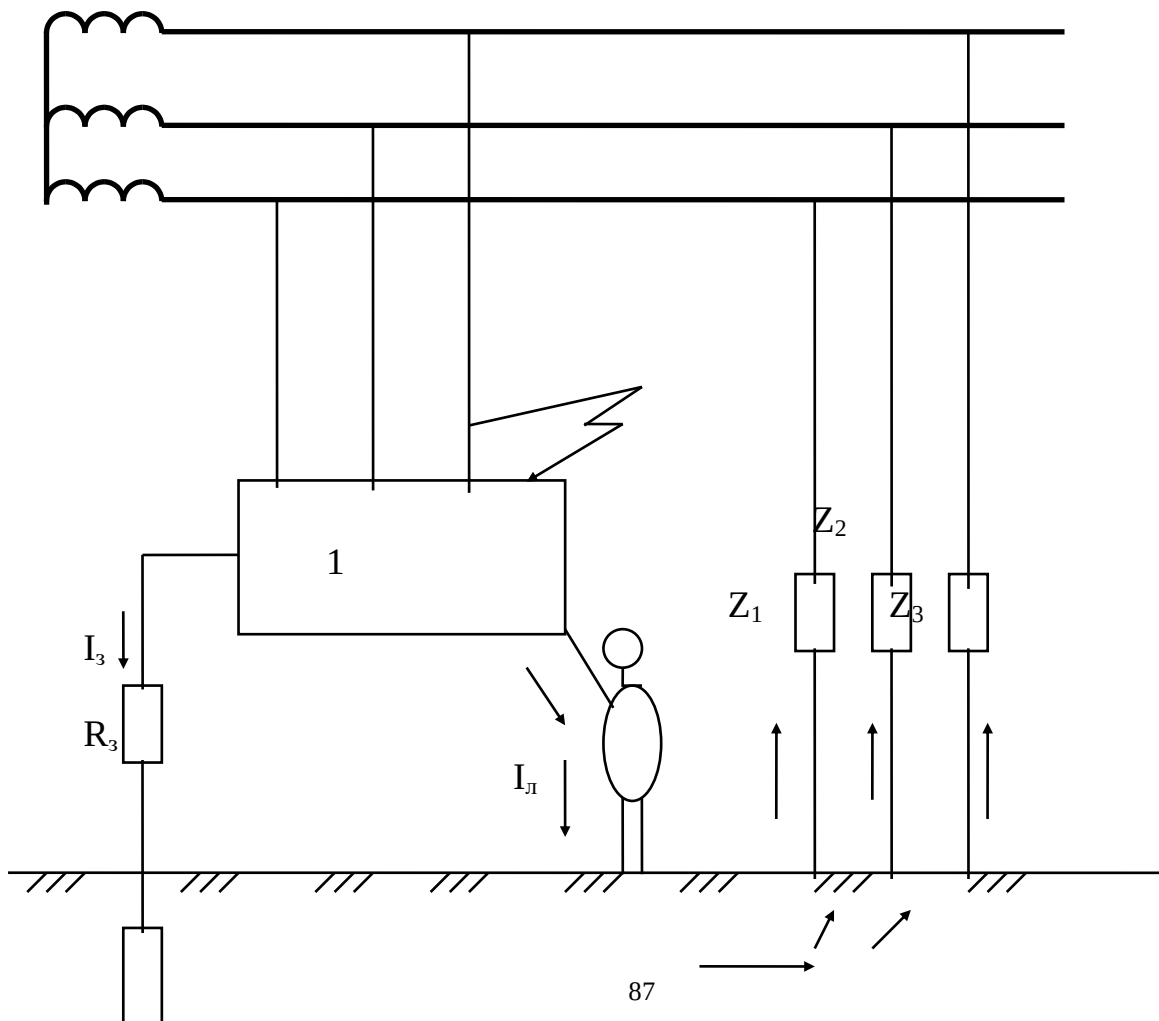
Принцип дії захисного заземлення - зниження до безпечного значення напруг дотику і кроку. Це досягається шляхом зменшення

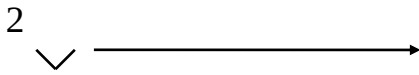
потенціалу заземленого обладнання, а також шляхом вирівнювання потенціалів основи, на якій стоїть людина, і заземленого обладнання.

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

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

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





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

Рисунок 9.1 – Захисне заземлення

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

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

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

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

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

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

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

У вибухонебезпечних зонах заземлення виконується незалежно від значення напруги.

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

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

Найбільші допустимі значення опору заземлюючого пристрою становлять:

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

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

$$I_3 = U_{\text{л}}(35L_{\text{к}} + L_{\text{п}})/350,$$

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

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

за напругою дотику, Ом

$$R_{\text{н}} = U_{\text{дп}}/I_3\alpha_1\alpha_2$$

за напругою кроку

$$R_{\text{н}} = U_{\text{дк}}/I_3\beta_1\beta_2,$$

де α_1 , α_2 —коефіцієнти дотику; β_1 , β_2 —коефіцієнти кроку, що знаходяться з таблиць. Для найгірших умов $\alpha_1 = \alpha_2 = \beta_1 = \beta_2 = 1$.

Розрахунок кількості штучних вертикальних заземлювачів ведеться в наступній послідовності.

За довідковими даними приймається питомий електричний опір ґрунтур_о. Сезонні коливання опору верхнього шару ґрунту враховуються коефіцієнтом сезонності ψ . Для Запорізького регіону можна вважати $\psi_{\text{в}} = 1,3$ у випадку вертикального заземлювача, $\psi_{\text{г}} = 2,5$ у випадку горизонтального заземлювача довжиною 10 м і менш, $\psi_{\text{г}} = 2,0$ - довжиною 50 м і більш. У проміжних випадках значення коефіцієнта знаходиться інтерполяцією. Розрахункове значення питомого опору ґрунту, Ом · м :

$$\rho = \psi\rho_{\text{о}}$$

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

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

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

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

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

Орієнтовна кількість вертикальних заземлювачів:

$$n = 1,3R_o/R_n$$

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

Опір групи вертикальних заземлювачів з урахуванням екранування, Ом:

$$R_v = R_o/n\eta_v$$

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

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

де b - ширина смуги, м.

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

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

Опір розтіканню струму заземлювача в цілому, Ом:

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

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

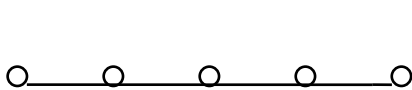
При використанні в якості природного заземлювача арматури залізобетонного фундаменту площею S , м^2 , опір розтіканню струму такого заземлювача, Ом:

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

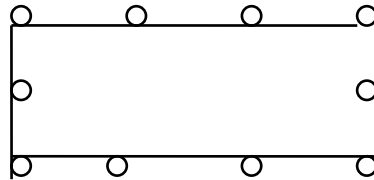
Якщо опір природного заземлювача більше нормативного, то додатково застосовують штучний заземлювач. Його допустимий опір, Ом:

$$R_{\text{доп}} = R_n R_{\text{н}} / (R_{\text{н}} - R_n)$$

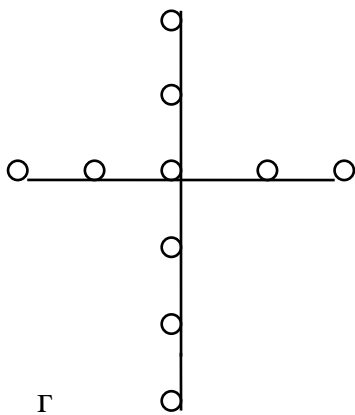
Розрахунок складних заземлювачів і заземлювачів в двошаровому ґрунті див.: П.А. Долін. Основи техніки безпеки в електроустановках.



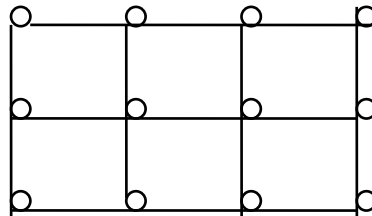
а



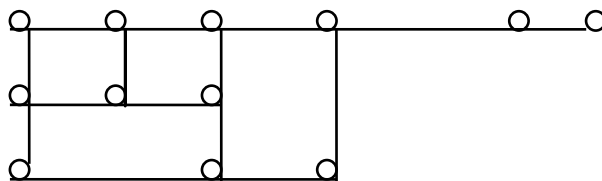
б



г



в



д

а - в ряд; б - по контуру; в - променеве; г - увигляді сітки; д - складне

Рисунок 9.2 – Схеми розміщення вертикальних заземлювачів

? Питання для самоконтролю

1. Як працює захисне заземлення?
2. У яких мережах застосовується захисне заземлення?
3. З чого складається захисне заземлення?
4. Що являє собою заземлювач?
 5. Що являють собою заземлюючі провідники?
 6. У яких випадках заземлення обов'язкове?
 7. Опишіть штучні заземлювачі.
 8. Опишіть природні заземлювачі.
 9. Найбільші допустимі значення опору заземлюючого пристрою.
 10. Що таке коефіцієнт сезонності?
 11. Що таке коефіцієнти використання? Від чого вони залежать?
 12. Послідовність розрахунку захисного заземлення.
 13. Від чого залежить опір розтіканню струму залізобетонного фундаменту?

10 ЗАХИСНЕ ЗАНУЛЕННЯ

10.1 Загальні поняття

У мережі з глухозаземленою нейтраллю звичайне заземлення електрообладнання не забезпечує належної безпеки. Струм, що проходить через тіло людини при дотику до частин електроустановки, що випадково опинилися під напругою, може досягати небезпечних величин навіть при наявності захисного заземлення.

Небезпека ураження струмом при дотику до металевих неструмоведучих частин електрообладнання, які опинилися під напругою внаслідок замикання на корпус або з інших причин, може бути усунена швидким відключенням пошкодженої електроустановки від мережі живлення і разом з тим зниженням напруги корпусу щодо землі. Для цієї мети служить захисне занулення, схема якого приведена на рис.10.1.

Занулення - навмисне електричне з'єднання металевих неструмоведучих частин електроустановки, що можуть виявитися під напругою, з глухозаземленою нейтральною точкою обмотки джерела струму в трифазних мережах, з глухозаземленим виводом обмотки джерела струму в однофазних мережах і з глухозаземленою середньою точкою обмотки джерела енергії в мережах постійного струму.

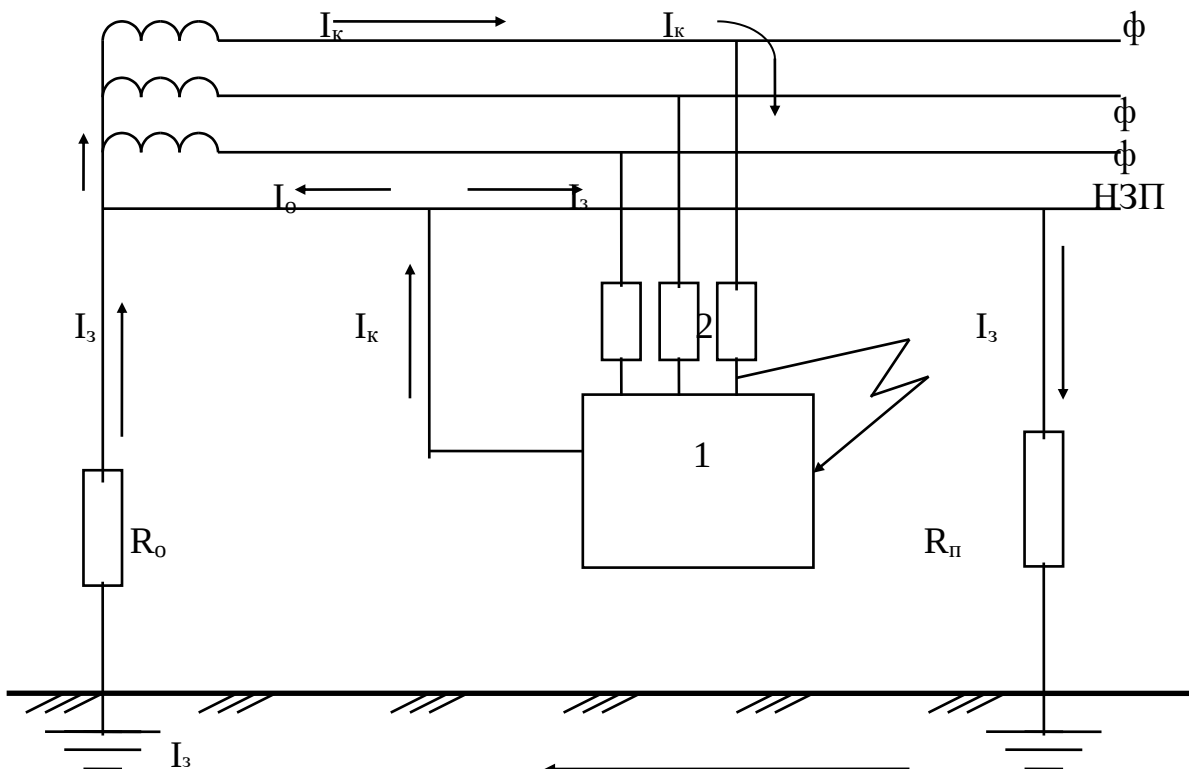
Провідник, що забезпечує зазначені з'єднання, називається нульовим захисним провідником.

Нульовий захисний провідник слід відрізняти від нульового робочого провідника, який призначений для живлення струмом

електроприймачів, тобто є частиною ланцюга робочого струму. В трифазних мережах нульовий робочий провідник часто використовується одночасно і як захисний.

Призначення занулення - усунення небезпеки ураження струмом у випадку дотику до корпусу електроустановки та інших металевих неструмоведучих частин, які опинилися під напругою внаслідок замикання на корпус та з інших причин.

Принцип дії занулення - перетворення замикання на корпус в однофазне коротке замикання (тобто замикання між фазним і нульовим захисним провідниками) з метою викликати великий струм, здатний забезпечити спрацювання захисту і тим самим автоматично відключити пошкоджену електроустановку від мережі живлення. Таким захистом є: плавкі запобіжники або автомати максимального струму, встановлювані для захисту від струмів короткого замикання; магнітні пускачі з вбудованим тепловим захистом; контактори у поєднанні з тепловими реле, що здійснюють захист від перевантаження; автомати з комбінованими розчіплювачами, що здійснюють захист одночасно від короткого замикання і перевантаження.



1 - корпус електроустановки; 2- апарати захисту від струмів короткого замикання.

R_0 - опір заземлення нейтралі джерела струму; $R_{\text{п}}$ - опір повторного заземлення нульового захисного провідника; $I_{\text{к}}$ - струм короткого замикання; I_0 - частина струму короткого замикання, що іде через нульовий захисний провідник; I_3 - частина струму короткого замикання,

що іде через повторне заземлення нульового захисного провідника і землю.

ф - фазні провідники; НЗП – нульовий захисний провідник.

Рисунок 10.1 - Схема захисного занулення

Оскільки занулені корпуси заземлені через нульовий захисний провідник, то з моменту виникнення замикання на корпус і до автоматичного відключення пошкодженої установки, проявляється захисна властивість цього заземлення.

Таким чином, занулення здійснює дві захисних дії - швидке автоматичне відключення пошкодженої установки від мережі живлення і зниження напруги занулених металевих неструмоведучих частин щодо землі.

Область застосування захисного занулення - трифазні чотирипровідні мережі напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю, трипровідні мережі постійного струму з глухозаземленою середньою точкою, однофазні двопровідні мережі змінного струму з глухо заземленим виводом обмотки джерела струму.

Розрахунок занулення має на меті визначити умови, за яких воно надійно працює. Занулення розраховують на відключаючу здатність, на безпеку дотику до корпусу при замиканні фази на землю (розрахунок заземлення нейтралі) і на корпус (розрахунок повторного заземлення нульового захисного провідника).

10.2 Розрахунок на відключаючу здатність

Апарати захисту від струму короткого замикання спрацьовують, якщо цей струм перевищить номінальний I_n , званий уставкою. Уставка визначається потужністю електроустановки. Струм короткого замикання I_k повинен перевищувати уставку в k раз (k - коефіцієнт кратності номінального струму).

$$I_k \geq k I_n$$

Значення k приймається в залежності від типу захисту. Якщо захист здійснюється автоматичним вимикачем, який має тільки електромагнітний розчіплювач і який спрацьовує без витримки часу, $k = 1,25 \dots 1,4$.

Якщо установка захищається плавкими запобіжниками або автоматичним вимикачем з обернено залежною від струму характеристикою, $k \geq 3$. У вибухонебезпечних зонах $k \geq 6$.

При розрахунку занулення допускається застосовувати наближену формулу для обчислення струму короткого замикання, А:

$$I_k = U_{\phi} / (Z_T / 3 + Z_n),$$

де Z_T - повний опір обмоток трифазного джерела струму (генератора або трансформатора), Ом; Z_{Π} – повний опір петлі фаза – нуль.

$$Z_{\Pi} = \sqrt{(R_{\phi} + R_{\text{нз}})^2 + (X_{\phi} + X_{\text{нз}} + X_{\Pi})^2}$$

де R_{ϕ} и $R_{\text{нз}}$ - активні опори фазного і нульового захисного провідників, Ом; X_{ϕ} і $X_{\text{нз}}$ - внутрішні індуктивні опори фазного і нульового захисного провідників, Ом; X_{Π} - зовнішній індуктивний опір петлі фаза - нуль, Ом.

Активні опору фазного і нульового провідників з кольорових металів визначаються за відомою формулою, Ом:

$$R = \rho l / s,$$

де ρ - питомий опір матеріалу провідника, Ом·м; l - довжина, м; s - площа перерізу, м².

Внутрішні індуктивні опори мідних і алюмінієвих провідників складають близько 0,0156 Ом / км.

Активні і внутрішні індуктивні опори сталевих провідників визначаються за таблицями (додаток В) залежно від площі перетину і щільності струму.

Зовнішній індуктивний опір петлі фаза - нуль для лінії, прокладеної в повітряному середовищі при частоті струму 50 Гц, можна приблизно визначити за формулою, Ом:

$$X_{\Pi} = 1,256 \cdot 10^{-4} l \ln 2D/d,$$

де D - відстань між проводами, d - їх діаметр, l - довжина, м. При малих відстанях між фазним і нульовим проводом, сумірних з діаметром, зовнішній індуктивний опір петлі незначний (менше 0,1 Ом / км) і їм можна знехтувати.

10.3 Розрахунок опору заземлення нейтралі

Опір заземлення нейтралі джерела струму R_0 повинен бути таким, щоб у разі замикання будь-якої фази на землю через опір $R_{\text{зм}}$, напруга, під яким виявиться людина, що доторкнеться до зануленого корпусу або до нульового захисного провідника, не перевищувала допустимої напруги дотику $U_{\text{дп}}$, В:

$$U_{\text{к}} \alpha_1 \alpha_2 \leq U_{\text{дп}},$$

де U_k - напруга зануленого корпусу щодо землі, В, яку можна виразити через струм замикання I_3 :

$$U_k = I_3 R_o$$

Розглянемо випадок при найбільш важких умовах, коли $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ і мережі відсутні повторні заземлення нульового проводу.

$$U_{дп} \geq I_3 R_o = U_{ф} R_o / (R_o + R_{зм})$$

Звідси

$$R_o \leq R_{зм} U_{дп} / (U_{ф} - U_{дп})$$

Розглянемо мережу 380/220 В. Опір замикання на землю прийемо $R_{зм} = 20$ Ом, так як менші значення в умовах виробничих приміщень мало ймовірні. Тривало допустима напруга дотику приймаємо рівною 36 В. За цих умов отримуємо найбільший допустимий опір заземлення нейтралі 3,9 Ом. Для мережі 220/127 В $R_o \leq 7,9$ Ом, для мережі 660/380 В $R_o \leq 2,1$ Ом.

Ці значення опору заземлення нейтралі повинні витримуватися, коли в схемі занулення відсутні повторні заземлення нульового захисного провідника. При їх наявності такі опори повинні мати всі разом узяті заземлення - і нейтралі, і повторні, оскільки вони ввімкнені паралельно.

Згідно з вимогами ПУЕ, якщо від джерела живлення не відходять повітряні лінії електропередачі (є тільки кабельні) або відходить одна повітряна лінія, опір заземлення нейтралі повинен бути не більше: для мережі 220/127 В - 8 Ом; для мережі 380/220 В - 4 Ом; для мережі 660/380 В - 2 Ом. Якщо від джерела відходять дві або більше повітряні лінії, ці цифри відносяться до загального опору заземлення нейтралі і всіх повторних заземлень нульового проводу. При цьому опір заземлення нейтралі повинен бути не більше: для мережі 220/127 В - 60 Ом; для мережі 380/220 В - 30 Ом; для мережі 660/380 В - 15 Ом.

При питомому електричному опорі ґрунту ρ більшому 100 Ом·м, дозволяється збільшувати зазначені опору до значення $\rho / 100$, але не більше ніж в 10 разів. Наприклад, при $\rho = 800$ Ом·м, дозволяється збільшувати опір заземлення нейтралі в мережі 380/220 В до 8 Ом.

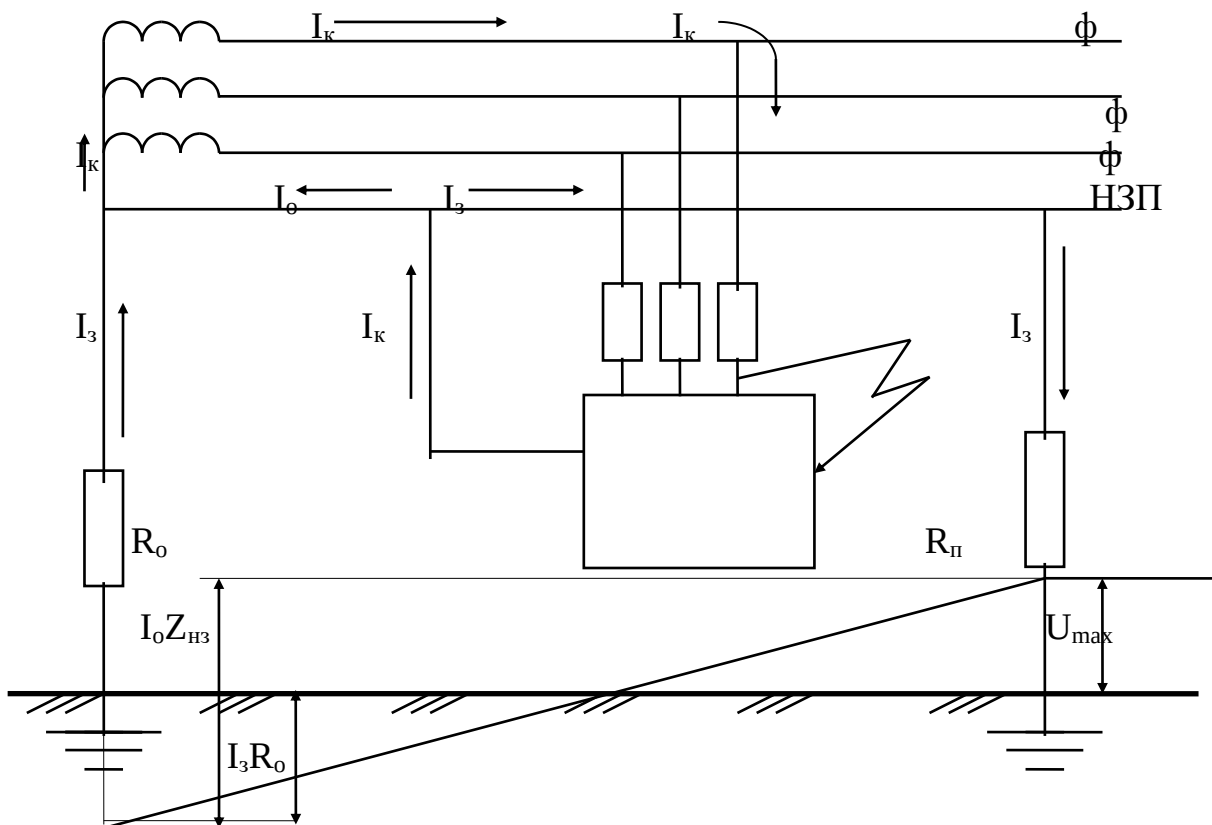
10.4 Розрахунок опору повторного заземлення нульового проводу

При замиканні фази на занулений корпус нульовий захисний провідник на ділянці за найближчим до місця замикання повторним заземлювачем, а також занулене обладнання, приєднане до цієї ділянки

нульового проводу, опиняються під певною напругою відносно землі (рис. 10.2). Найбільше значення цієї напруги, В:

$$U_{\max} = I_3 R_{\Pi} / n,$$

де I_3 - частина струму короткого замикання, що стікає в землю через повторні заземлення нульового захисного провідника, А; R_{Π} - опір одного



R_0 - опір заземлення нейтралі джерела струму; R_{Π} - опір повторного заземлення нульового захисного провідника; I_k - струм короткого замикання; I_0 - частина струму короткого замикання, що іде через нульовий захисний провідник; I_3 - частина струму короткого замикання, що іде через повторне заземлення нульового захисного провідника і землю; $Z_{\text{НЗ}}$ - повний опір ділянці нульового проводу, по якому іде струм I_0 .

ϕ - фазні провідники; НЗП - нульовий захисний провідник.

Рисунок 10.2 - До розрахунку опору повторного заземлення нульового захисного провідника

повторного заземлення (приймаємо, що всі повторні заземлення мають однакові опори), Ом; n - кількість повторних заземлень.

Напруга $U_{\max}$ існує до моменту відключення пошкодженої установки, тобто короткочасно, однак це напруга може бути достатньо велика і становити небезпеку навіть при короткочасному впливі. Крім того, при відмові або затримці спрацювання захисту, це напруга може існувати тривало. З метою усунення виникаючої при цьому небезпеки необхідно, щоб $U_{\max}$ не перевищувала допустимого значення напруги дотику $U_{\text{дд}}$. Це умова буде виконана при певному значенні $R_{\text{п}}$.

$$U_{\text{дп}} \geq U_{\max} = I_3 R_{\text{п}} / n = I_0 Z_{\text{нз}} R_{\text{п}} / (R_0 + R_{\text{п}} / n) n, \quad (10.1)$$

де I_0 - частина струму короткого замикання, що проходить по нульовому проводу від місця замикання до нейтральної точки, А; $Z_{\text{нз}}$ - повний опір ділянки нульового дроту, по якому проходить струм I_0 , Ом. З (10.1) отримуємо максимально допустиме значення опору повторного заземлення, Ом:

$$R_{\text{п}} = n R_0 U_{\text{дп}} / (I_0 Z_{\text{нз}} - U_{\text{дп}})$$

Повний опір $Z_{\text{нз}}$ можна визначити за рівнянням, Ом:

$$Z_{\text{нз}} = \sqrt{R_{\text{нз}}^2 + (X_{\text{нз}} + X_{\text{п}})^2}$$

Наближено приймаємо $I_0 = I_{\text{к}}$. Тоді шуканий опір повторного заземлення Ом:

$$R_{\text{п}} = n R_0 U_{\text{дп}} / (I_{\text{к}} Z_{\text{нз}} - U_{\text{дп}})$$

? Питання для самоконтролю

1. Принцип дії захисного занулення.
2. Чому у мережі з глухозаземленою нейтраллю звичайне заземлення електрообладнання не забезпечує належної безпеки?
3. Сфера застосування захисного занулення.
4. Призначення нульового захисного провідника.
5. Призначення заземлення нейтралі джерела струму.
6. Призначення повторного заземлення нульового захисного провідника.
7. Порядок розрахунку занулення на відключаючу здатність.
Порядок розрахунку опору заземлення нейтралі.
8. Порядок розрахунку опору повторного заземлення нульового проводу.
9. Від чого залежить повний опір нульового захисного провідника?
10. Що таке коефіцієнт кратності номінального струму?
11. Як впливає кількість повторних заземлень нульового захисного провідника на безпеку?