ЗАХОДИ ЗАХИСТУ ВІД ПРЯМОГО ТА НЕПРЯМОГО ДОТИКУ ЛЮДИНИ ДО ЧАСТИН ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ.

1. Види заземлення
2. Захисне заземлення
   2.1 Призначення та будова захисного заземлення.
   2.2.Фізичнв а суть і принцип дії захисного заземлення
   2.3 Вимоги до захисного заземлення
   2.4. Системи заземлення
3. Захисне вимикання

1. Види заземлення

Заземлення (англ. *grounding* – земля) – провідник або декілька провідників, які розміщено в землі або на поверхні землі з метою встановлення електричного з'єднання між пристроєм та землею.

Заземлення за функціями, які вони виконують, можна об'єднати у три групи:

- захисне заземлення;
- робоче (функціональне) заземлення;
- заземлення блискавкозахисту.

Захисне заземлення (англ. *protective earthing*) – заземлення точки або точок у системі чи в процесі монтажу системи або в обладнанні, з метою забезпечення електробезпеки.

Захисне заземлення є простим, ефективним і поширеним способом захисту людини від ураження електричним струмом при дотику до металевих поверхонь, які виявились під напругою. Це забезпечується зниженням напруги між обладнанням, що виявилось під напругою, і землею до безпечної величини. Використовується в трифазній трипровідній мережі з напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю і вище 1000В – з довільним режимом нейтралі.

Робоче заземлення (англ. *operational earthing*) або *функціональне заземлення* (англ. *functional earthing*) – не пов'язане з електробезпекою навмисне з'єднання з землею окремих точок електричного кола, наприклад нейтральних точок обмоток генераторів, силових і вимірювальних трансформаторів тощо в лініях електропередавання, а також фази при використанні землі як фазного або зворотного проводу.

Робоче заземлення призначене не для захисту, а в першу чергу для забезпечення належної роботи електрообладнання в нормальних або аварійних умовах і здійснюється безпосередньо (шляхом з'єднання провідником частин, що заземлюються із заземлювачем) або через спеціальні апарати – пробивні запобіжники, розрядники, резистори тощо.

Заземлення блискавкозахисту – навмисне з'єднання із землею блискавкоприймачів і розрядників з метою відведення від них струмів блискавки в землю у засобах блискавкозахисту. Таке заземлення виконується у вигляді *заземлювача* – провідної частини або сукупності з'єднаних між собою провідних частин, що перебувають в електричному контакті із землею безпосередньо або через проміжне провідне середовище.

Повернутися до змісту

2. Захисне заземлення

2.1 Призначення та будова захисного заземлення.

Захисне заземлення застосовують у мережах з напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю та в мережах напругою вище 1000 В з будь-яким режимом нейтралі джерела живлення (рис. 5.1).

Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання із землею або з її еквівалентом металевих нормально не струмопровідних частин, які можуть опинитися під

напругою. Призначення захисного заземлення полягає в тому, щоб у випадку появи напруги на металевих конструктивних частинах електроустаткування забезпечити захист людини від ураження електричним струмом при її доторканні до таких частин.

Призначення захисного заземлення – усунення небезпеки ураження електричним струмом при доторканні до металевих неструмовідних частин електроустановки, які можуть опинитись під напругою.

Захисне заземлення треба розрізняти від робочого заземлення (наприклад, заземлення розрядника, без якого він не робить).

Заземлюючий пристрій складається із заземлювача і заземлюючих провідників, які з'єднують частини обладнання із заземлювачем.

Заземлювач – це металевий провідник або група провідників, що з'єднані між собою і знаходяться в безпосередньому контакті із землею.

Заземлювачі бувають штучними (призначеними виключно для заземлення) і природними (металеві предмети, які знаходяться в землі і мають інше призначення). Для штучних заземлювачів використовують сталь, а також електропровідний бетон.

Повернутися до змісту

2.2. Фізична суть і принцип дії захисного заземлення.

Призначення захисного заземлення полягає в тому, щоб у випадку появи напруги на металевих частинах електроустаткування (наприклад, внаслідок замикання на корпус при пошкодженні ізоляції) забезпечити захист людини від ураження електричним струмом при її доторканні до цих частин. Захист від ураження струмом забезпечується шляхом приєднання корпуса до заземлювача, який має малий опір заземлення та малий коефіцієнт напруги доторкання.

Принцип дії захисного заземлення полягає в перетворені замикання фази на корпус в однофазне коротке замикання, тобто замикання між фазним і нульовим провідниками, з метою одержання великого струму, здатного забезпечити спрацьовування максимального струмового захисту. Внаслідок цього електроустановка автоматично вимикається апаратом захисту від струмів короткого замикання. Сила цього струму обумовлюється фазною напругою та повним опором кола короткого замикання (петля фаза – нуль) і визначається за формулою:

$$I_K = \frac{U_\Phi}{\sqrt{(R_\Phi + R_0)^2 + \omega^2 \cdot (L_\Phi + L_0)^2} + \frac{Z_T}{3}}, \qquad (6.1)$$

де R_Φ – активний опір фазного провідника, Ом; R_0 – активний опір нульового провідника, Ом; L_Φ – індуктивність фазного провідника, Гн; L_0 – індуктивність нульового провідника, Гн; Z_T – розрахунковий опір трансформатора, Ом.

Для зменшення небезпеки ураження струмом, яка виникає внаслідок обриву нульового провідника, влаштовують (багатократно) додаткове заземлення нульового провідника R_∂ (рис. 6.1).

У схемі без повторного заземлення нульового провідника потенціал відносно землі корпуса пошкодженого обладнання, якщо зневажати опором трансформатора та індуктивним опором петлі фаза – нуль, при замиканні фази на корпус визначається залежністю:

$$\varphi_к = U_\Phi \cdot \frac{R_0}{R_\Phi + R_0}, \qquad (6.2)$$

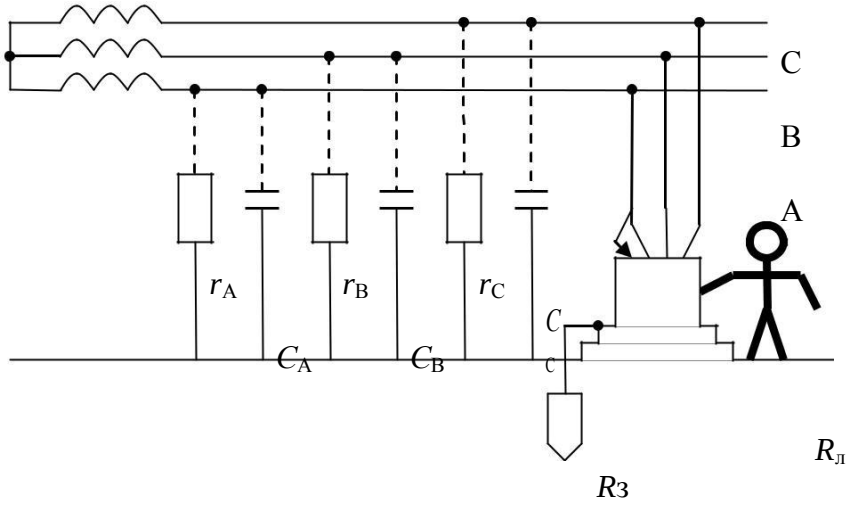
а при наявності повторного заземлення нульового провідника:

$$\varphi_к = U_\Phi \cdot \frac{R_0}{R_\Phi + R_0} \cdot \frac{R_\partial}{R_\partial + R_0}. \qquad (6.3)$$

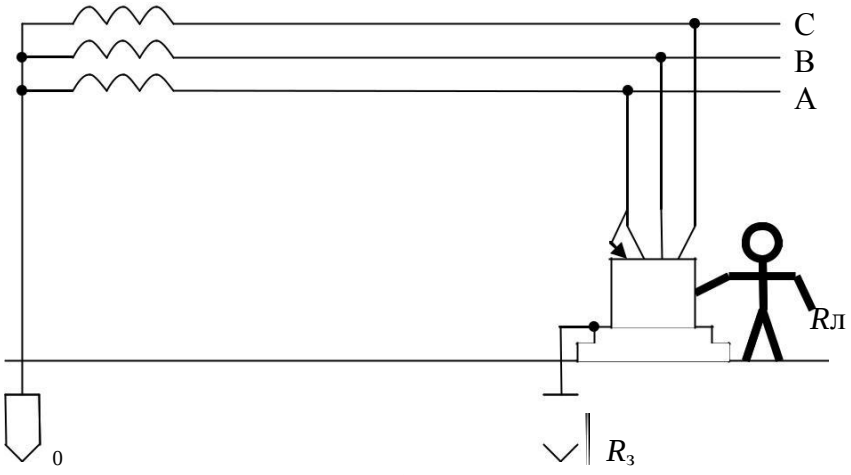
У випадку, якщо корпус устаткування є незаземленим і відбулося замикання нього однієї із фаз, то доторкання до такого корпуса рівнозначно дотор канню до фази. Якщо ж корпус електричноз'єднаний із землею, то він опиниться під напругою замикання $U_З = I_З R_З$, а людина, яка доторкається до такого корпуса, згідно з формулою 3.8 потрапляє під напругу доторкання $U_{дот} = U_З$. Струм, який пройде через людину, в такому випадку визначається із рівняння:

$$I_л = \frac{U_{дот}}{R_л} = \frac{I_З R_З \alpha}{R_л}, \qquad (4.1)$$

звідки видно, що чим меншими є значення $R_з$ та α, тим менший струм пройде через тіло людини, яка стоїть на землі і доторкається до корпуса устаткування.



а



б

Рис. 5.1. Схема захисного заземлення:

а – в електроустановках напругою до 1000 В та вище при ізольованій нейтралі мережі живлення; б – в електроустановках напругою вище 1000 В при заземленій нейтралі мережі живлення

Основним елементом заземлення є защемлюваний пристрій.

Заземлювальний пристрій, як правило, складається із сукупності заземлювачів (провідників, електродів), які з'єднані між собою і перебувають у безпосередньому контакті із землею або її еквівалентом, та заземлювальних провідників, котрі з'єднують заземлювані частини електроустановки із цими заземлювачами.

Заземлювачі використовуються як природні так і штучні. В якості природних заземлювачів можуть використовуватися:

1) металеві та залізобетонні конструкції будівель, які знаходяться в контакті із землею, у тому числі їх залізобетонні фундаменти, які мають захисні гідроізоляційні покриття в неагресивних, малоагресивних і середньоагресивних середовищах;

2) металеві труби водопроводу, прокладені в землі та інші металеві конструкції, які знаходяться в землі;

4) металеві оболонки броньованих кабелів, прокладених у землі.

Не допускається використовувати в якості природних заземлювачів трубопроводи горючих рідин, горючих або вибухонебезпечнх газів і сумішей, а також трубопроводів каналізації та центрального опалення. Однак ці обмеження не виключають необхідність приєднання таких трубопроводів до заземлюючого пристрою з метою вирівнювання потенціалів.

Можливість використання природних заземлювачів за умовою густини протікаючих по них струмів, а також можливість використання фундаментів у сильноагресивних середовищах повинна бути доведена розрахунковим шляхом.

Штучні заземлювачі повинні виготовлятися із чорної або оцинкованої сталі чи міді. Фарбувати їх забороняється.

Уникнення небезпечних наслідків корозії заземлюючих пристроїв забезпечується:

1) збільшенням розмірів поперечних перерізів заземлювачів і заземлюючих провідників із врахуванням розрахункового терміну їх служби;

2) застосовуванням заземлювачів і заземлюючих провідників із гальванічним покриттям чи мідних.

При цьому потрібно враховувати можливе збільшення опору заземлюючих пристроїв, обумовлене корозією.

Траншеї для горизонтальних заземлювачів повинні заповнюватися однорідним ґрунтом, який не містить щебеню та будівельного сміття.

Не можна розміщувати заземлювачі у місцях, де земля підсушується під дією тепла від трубопроводів та інших джерел.

Провідник, який сполучає заземлювач із головною заземлюючою шиною (шина, яка є частиною заземлюючого пристрою електроустановки напругою до 1 кВ і призначена для приєднання певної кількості провідників із метою заземлення і вирівнювання потенціалів) в електроустановках напругою до 1 кВ, повинен мати наступні розміри поперечного перерізу:

- мідний – не менше 10 мм^2;
- алюмінієвий – не менше 16 мм^2;
- сталевий – не менше 75 мм^2.

У місцях введення заземлюючих провідників у приміщення повинен бути передбачений пізнавальний знак .

В якості штучних заземлювачів використовують сталеві труби діаметром 35 – 50 мм з товщиною стінок не менше 3,5 мм і кутники розмірами 40х40 мм та 60х60 мм довжиною 2,5 – 3,0 м, а також сталеві прути діаметром не менше ніж 10 мм та довжиною до 10 м. У більшості випадків штучні вертикальні заземлювачі знаходяться у землі на глибині 0,5 – 0,8 м. Вертикальні заземлювачі з'єднують між собою сталевою стрічкою з поперечним перерізом не менше ніж 4х12 мм або прутком з діаметром не менше 6 мм за допомогою зварювання (рис. 5.2)..

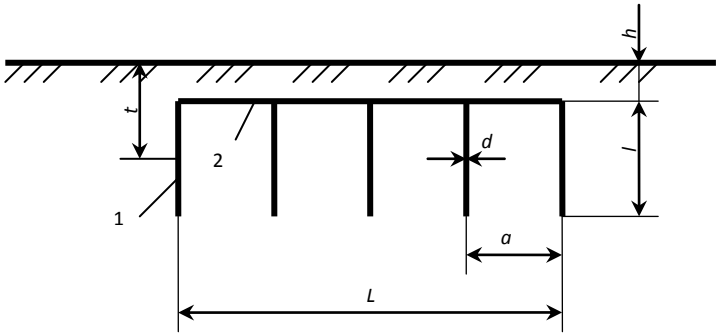


Рис. 5.2. Схема розташування заземлювачів: 1 – заземлювачі; 2 – заземлювальний провідник

Переріз головної заземлюючої шини (як правило мідної) повинен бути не меншим за переріз провідника лінії живлення. У місцях, доступних тільки для кваліфікованого персоналу, шина встановлюється відкрито, а у місцях, доступних для сторонніх осіб (наприклад, під'їздах та підвалах будинків), вона повинна мати захисну оболонку – шафу або ящик із закритими на ключ дверцятами, на яких повинен бути нанесений знак ⏚. Якщо приміщення має декілька окремих вводів, то головні заземлюючі шини повинні виготовлятися для кожного ввідного пристрою і бути з'єднані між собою.

Залежно від місця розташування заземлювачів відносно заземлюваного устаткування використовується виносне (зосереджене) та контурне (розподілене) заземлення.

Перевага *виносного* заземлення полягає в тому, що можна вибрати місце розташування заземлювачів із найменшим опором ґрунту.

Недолік – віддаленість від захищуваного обладнання, внаслідок чого коефіцієнт доторкання рівний одиниці. Тобто виносне заземлення захищає тільки за рахунок малого опору заземлення. Тому даний тип заземлювального пристрою використовують лише при малих значеннях струму замикання на землю.

У *контурного* заземлювального пристрою заземлювачі розміщуються по контуру (периметру) площадки, на якій знаходиться заземлюване обладнання, або розподілені, по можливості, рівномірно по всій площадці. Різниця потенціалів між точками, що знаходяться всередині контуру, невелика, через що коефіцієнт доторкання значно менший за одиницю. Тому струм, що проходить через тіло працівника, який доторкається до "пробитого" корпуса, набагато менший, ніж при виносному заземленні (рис. 5.3).

У процесі експлуатації електроустановок можливе порушення цілісності заземлювальних провідників та підвищення опору заземлення вище норми. Тому Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) передбачено проведення візуального контролю цілісності заземлювальних провідників та вимірювання опору заземлення. Такі вимірювання проводяться при найменшій провідності ґрунту: влітку – при найбільшому висиханні та зимою – при найбільшому промерзанні ґрунту. Вимірювання опору заземлення належить проводити також після монтажу електроустановки, її ремонту чи реконструкції, але не рідше одного разу на рік.

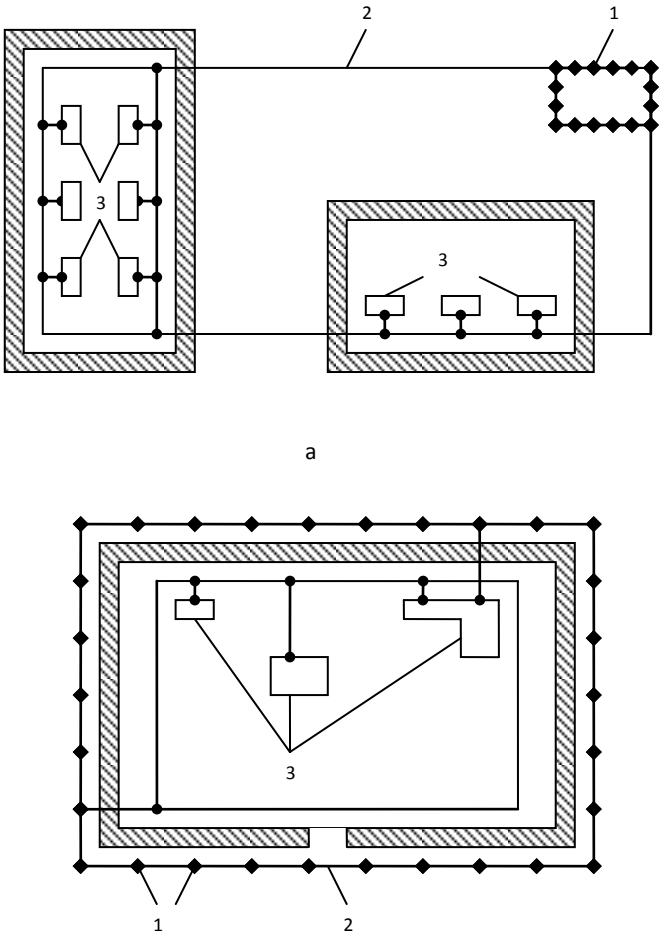


Рис. 5.3. Виносне (*а*) та контурне (*б*) заземлення: 1 – заземлювачі; 2 – заземлювальні провідники; 3 – устаткування

Відповідно до ПУЕ захисне заземлення належить виконувати:

- при напрузі змінного струму 380 В і вище та 440 В і вище для постійного струму – у всіх електроустановках;
- при номінальних напругах змінного струму вище 42 В та постійного струму вище 110 В – лише в електроустановках, що знаходяться в приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних, а також у зовнішніх електроустановках;
- при будь-якій напрузі змінного та постійного струму – у вибухонебезпечних установках.

В процесі експлуатації електроустановок можливе порушення цілісності заземлювальних провідників та підвищення опору заземлення вище норми. Тому ПУЕ передбачено проведення візуального контролю (огляду) цілісності заземлювальних провідників та вимірювання опору заземлення. Такі вимірювання проводять, як правило, при найменшій провідності ґрунту: літом – при найбільшому висиханні чи зимою – при найбільшому промерзанні ґрунту. Вимірювання опору заземлення належить проводити після монтажу електроустановки, після її ремонту чи реконструкції, а також не рідше одного разу на рік.

Повернутися до змісту

2.3. Вимоги до захисного заземлення

До системи захисного заземлення в ПУЕ пред'являють такі вимоги:

1. струм однофазного короткого замикання повинен перевищувати не менш ніж в 3 рази номінальний струм плавкої вставки або струм спрацьовування розщіплювача автоматичного вимикача із зворотною залежною характеристикою. При захисті мережі автоматичними вимикачами, які мають тільки електромагнітний розщіплювач, кратність струму приймається 1,1; при відсутності заводських даних коефіцієнт приймається 1,4 для автоматів з номінальним струмом до 100 А, для інших – 1,25.

2. повна провідність нульового провідника у всіх випадках повинна бути не менше 50% провідності фазного провідника.

3. щоб забезпечити безперервність кола занулення, забороняється встановлення в нульовий провідник запобіжників та вимикачів. Виняток допускається тільки в тому випадку, коли вимикач разом із нульовим провідником розмикає й усі фазні провідники.

4. опір заземлюючого пристрою, до якого приєднуються нейтралі джерел живлення (робоче заземлення R_0), не може перевищувати значень, які наведені в табл. 5. ці опори повинні забезпечуватись з урахуванням використання природних заземлювачів, а також заземлювачів повторних заземлень нульового провідника повітряних ліній електропередачі до напругою 1000 В при кількості ліній, що відходять, не менше двох. Але при цьому повинні передбачатися і штучні заземлювачі з опором, значення яких не повинні перевищувати дані, наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Найбільші допустимі опори заземлюючих пристроїв

Напруга мережі, В	Найбільші допустимі опори заземлюючих пристроїв, Ом			
	Заземлень нейтралі трансформаторів, R_0		Повторних заземлень нульового провідника, R_o	
	Еквівалентне (з урахуванням природних заземлювачів і повторних заземлень нульового провідника	В тому числі лише штучних заземлень	Еквівалентний опір всіх повторних заземлень	В тому числі опір кожного повторного заземлення
660/380	2	15	5	15
380/220	4	30	10	30
220/127	8	60	20	60

Примітка. Якщо питомий опір ρ землі більший 100 Ом · м, допускається збільшувати указаний в таблиці опір в 0,01 $\cdot\rho$ раз, але не більш ніж десятикратно.

5. Повторне заземлення нульового провідника повинне виконуватись на кінцях повітряних ліній або відгалужень довжиною більше 200 м, а також на вводах повітряних ліній у приміщення, електроустановки яких підлягають зануленню.

6. загальний опір заземлюючих пристроїв всіх повторних заземлень нульового провідника і кожного повторного заземлення не повинен перевищувати значень, наведених в табл. 6.1.

Слід зазначити, що одночасне заземлення та занулення корпусів електроустановок значно підвищує їх електробезпеку.

Область застосування занулення – трифазні чотирипровідні мережі напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю.

Допустимі значення опорів заземлювальних пристроїв.

Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) обмежують найбільші опори заземлення:

• для електроустановок напругою до 1000 В:

 при сумарній потужності генераторів або трансформаторів в мережі живлення не більше 100кВт або 100 кВА – 10 Ом;

 в інших випадках – 4 Ом;

• для електроустановок напругою вище 1000 В:

 при ефективно заземленій нейтралі мережі живлення (напругах 110 кВ та вище і великих струмах замикання на землю) – 0,5 Ом;

 при ізольованій нейтралі мережі живлення (напругах до 35 кВ включно) та умові, що заземлювач використовується тільки для електроустановок напругою вище 1000 В – $\frac{250}{I} \leq 10$ Ом;

- те ж саме, але при умові, що заземлювач використовується одночасно для електроустановок напругою до 1000 В – $\frac{125}{I}$; при цьому приймається найменший розрахунковий опір або потрібний для електроустановок напругою до 1000 В

Повернутися до змісту

2.4 Системи заземлення

Система заземлення визначає конфігурацію, що використовує електромережа. У буквеному позначенні вказується тип використання проводів (земля, нуль), їх поєднання або окреме проходження, варіант заземлення споживача, нейтрали. Тип заземлення електроустановки (відкритих її частин) вказує друга буква міжнародною класифікацією. Характер заземлення самого джерела позначає першу букву абревіатури. Дві системи IT, TT не мають підсистем, третя TN ділиться на три підкатегорії – C-S, S, C. Латинськими символами в цих системах позначені:

Перша літера:

T – глухозаземленою нейтраллю

I – ізольована нейтраль

Друга літера:

T – безпосереднє приєднання відкритих провідних частин до землі (захисне заземлення)

N – безпосереднє приєднання відкритих провідних частин до глухозаземленной нейтралі джерела живлення (захисне занулення)

Наступні букви:

S – нульовий робочий і захисний провідник працюють окремо на всьому протязі системи

C – нульовий робочий і захисний провідники об'єднані на всьому протязі системи

C - S – нульовий робочий і захисний провідники об'єднані на частини протягом системи

Згідно ДСТУ, нульові провідники позначаються маркуванням:

 суміщені захисний, робочий нульовий провідники – PEN

 нульовий захисний провідник – PE

 нульовий робочий провідник – N

TN система

При «глухому» заземлении нейтралі джерела з одночасним приєднанням його відкритих елементів до неї ж захисними нульовими проводами система іменується TN. В цьому випадку нейтраль приєднується до захисного заземлення та біля підстанції, а, ні до дугогосящему реактору.

Підсистема TN-C

Підсистема TN-C використовує об’єднані в загальний провід нульові провідники (захисний + робочий), що забезпечує просту схему, економію матеріалів проводки. Недоліками є:

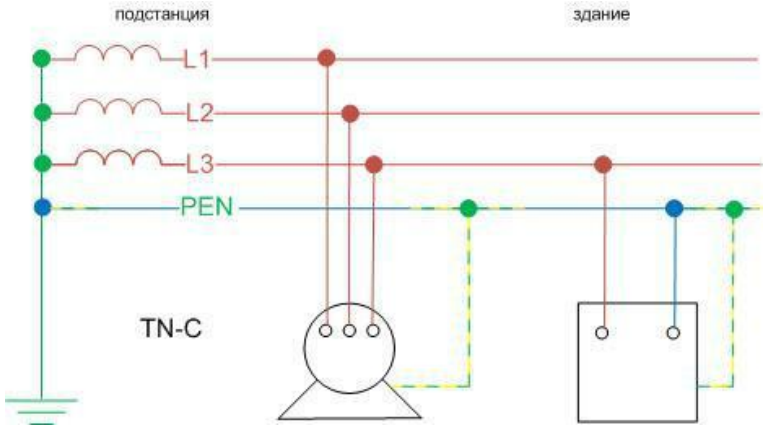
 відсутність PE провідника

 розетки житлового будинку залишаються без захисного заземлення

У цьому варіанті замість заземлення, що забезпечує безпеку дотику до корпусу приладу під напругою, використовується захист обнулення – спрацьовування автомата при різкому збільшенні струму в ланцюзі (КЗ). Робочий нульовий провідник в цій схемі

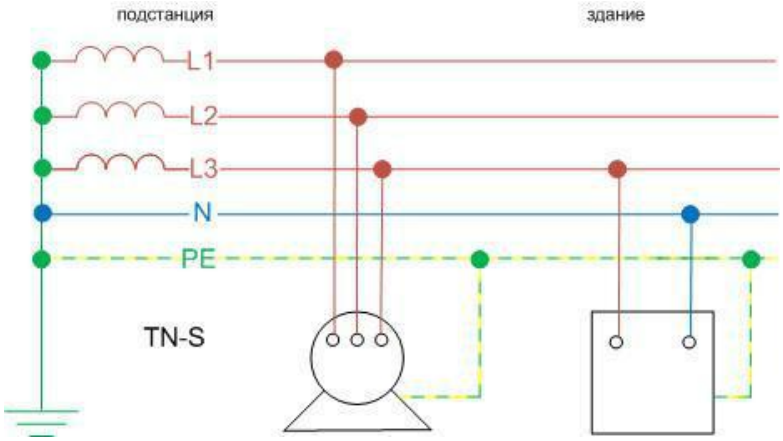
позначається PEN, присутній в схемі TN-C. Слабким місцем схеми є ділянка від квартири до введення в будинок - порушення цілісності кола (відгоранія дроти, підключення автомата, запобіжника в розрив) гарантує фазу на корпусі, нещасний випадок при випадковому контакті.

Система заземлення цього типу змушує додатково використовувати схеми занулення. При КЗ (випадкове потрапляєте фази на корпус електроприладу) спрацьовує автомат, відбувається відключення енергії. Технологія енергопостачання присутній в більшості осель вторинного фонду, поступово замінюється більш досконалими схемами.



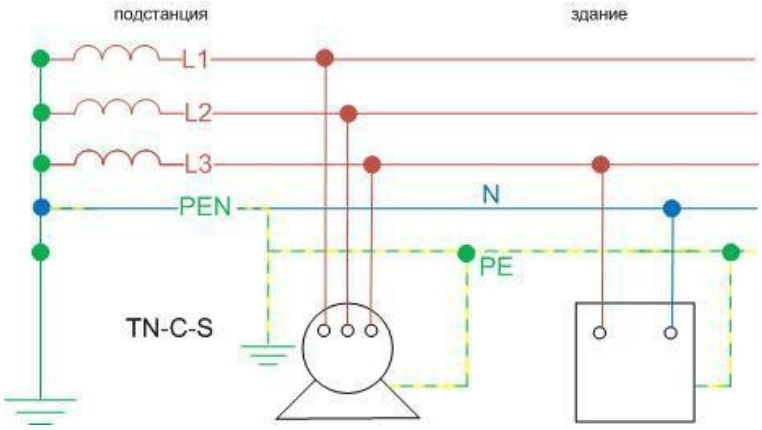
Підсистема TN-S

У підсистемі TN-S покращено безпеку будівель, устаткування, користувачів за рахунок поділу захисного, робочого провідників по всій довжині. Однак, це призводить до збільшення бюджету будівництва, так як, необхідна прокладка трьохжильного або п'ятижильним кабелю від ТП для однофазних, трифазних мереж, відповідно.



Підсистема TN-C-S

Підсистема TN-C-S є гібридної, в ній нульові провідники (захисний + робочий) об’єднані на відстані від підстанції до введення в будівлю, розщеплюються всередині нього з використанням повторного заземлення PE проводу, N дроти. Ця система заземлення є універсальною – рекомендована при облаштуванні новобудов, застосовується для модернізації експлуатованих TN-C.



ТТ система

Відмінною особливістю схеми захисту відкритих струмопровідних частин джерела, яку використовує система заземлення ТТ, є незалежна від заземлювача нейтраль. Така система застосовується лише у випадках неможливості забезпечення електробезпеки будинків за допомогою TN системи. Це обумовлено необхідністю повторного заземлення високої якості (зазвичай, модульно-штирові конструкції в комбінації з УЗО), до контуру якого розподільний щит підключається безпосередньо на об'єкті.

ІТ схема

Особливість схеми заземлення ІТ складається в заземлених відкритих струмопровідних частинах джерела електроенергії. Нейтраль в цих схемах безпеки або заземлена через високий опір приладів, або ізольована від землі, що дозволяє звести до мінімуму електромагнітні поля, наведені струми. Схема оптимально підходить для закладів медицини, лабораторій, що використовують високоточну апаратуру. Не рекомендується для житлових будинків.

Повернутися до змісту

3.Захисне вимикання

Захисне вимикання застосовується, як основний або додатковий засіб, якщо безпека не може бути забезпечена шляхом влаштування заземлення, або іншими способами захисту.

Захисне вимикання – це швидкодіючий захист, який забезпечує автоматичне вимкнення електроустановки (не більше ніж 0,2 с) при виникненні в ній небезпеки ураження струмом.

Існує багато схем захисного вимикання.

Найбільш загальним прикладом є схема, в якій датчиком служить РЗ, включене між корпусом і допоміжним заземлювачем.

Якщо опір обмотки реле значно більший опору допоміжного заземлювача, а останній винесений за межі кола розтікання захисного заземлення, то котушка реле РЗ знаходиться під напругою, рівною напрузі корпуса відносно землі.

Якщо при пробої на корпус ця напруга стає більша за напругу спрацювання реле РЗ, останнє спрацьовує і замикає коло котушки автоматичного вимикача АВ або розмикає коло котушки ОК магнітного пускача.

В обох випадках пошкоджений електроприймач відключається від мережі.

Захисне відключення передбачається для того, щоб одним приладом здійснювати сукупність захисту або деякі з наступних її видів:

- від однофазних замикань на землю або на елементи електрообладнання, нормально ізольовані від напруги;
- від неповних замикань, коли зниження рівня ізоляції однієї з фаз створює небезпеку ураження людини;
- від ураження при дотику людини до однієї з фаз електроустановки, якщо дотик стався в зоні дії захисту приладу.

Захисне відключення ставиться тільки в електроустановках до 1000 В наступних видів:

- в пересувних електроустановках з ізольованою нейтраллю;
- в стаціонарних електроустановках з ізольованою нейтраллю для захисту ручних електричних машин;
- в умовах підвищеної небезпеки ураження електрострумом і вибухонебезпеки в стаціонарних і пересувних електроустановках з різними режимами нейтралі;
- в стаціонарних електроустановках з глухозаземленою нейтраллю на окремих віддалених електроприймачах або з високою потужністю, на яких захист зануленням недостатньо ефективний.

Захисне відключення ставлять там, де неможливо використати заземлення або занулення. Пристрої захисного відключення, яке використовується як основна та єдина міра захисту (замість заземлення) повинно:

- забезпечувати безпеку при однополюсному дотику до струмоведучих частин;
- здійснювати самоконтроль;
- бути достатньо надійним;
- мати достатню швидкодію.

Контроль ізоляції – це швидкодіючий захист, що забезпечує автоматичне вимикання електроустановки з мережі в разі виникнення небезпеки ураження електричним струмом при зниженні опору ізоляції або її пробої.

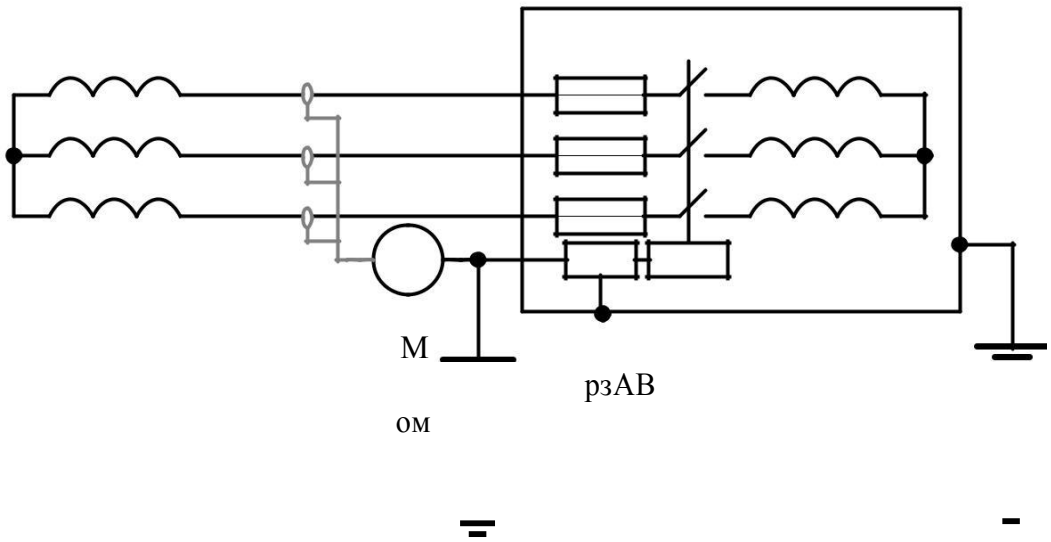


Рис. 6.2. Схема підключення електроустановки в мережі з ізольованою нейтраллю.

Повернутися до змісту