

## ЗАГАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1. [Загальні відомості про занулення](#)
2. [Вимоги до занулення](#)
3. [Призначення окремих елементів схеми занулення](#)
4. [Застосування занулення](#)
5. [Розрахунок занулення](#)

### 1. Загальні відомості про занулення

Для забезпечення безпеки людей в мережах до 1000 В з глухим заземленням нейтралі застосовується занулення. У цих мережах заземлення корпусів обладнання без металевої зв'язку з нейтраллю трансформатора або генератора забороняється. У колі нульових проводів, використовуваних для занулення, не повинно бути запобіжників і роз'єднують апаратів..

За своїм призначенням заземлення та занулення багато в чому схожі – забезпечують захист споживача електроустановки від ураження електричним струмом. Однак способи і принцип організації такого захисту різні. Відмінність занулення від заземлення полягає в наступному (рис. 1):

– у способі забезпечення захисту електричних мереж: заземлення – знижує напругу дотику, занулення – відключає пошкоджену електроустановку від мережі, що практично виключає удар струмом і, з цієї точки зору, є більш ефективним засобом захисту для використання на промислових підприємствах. Однак, якщо говорити про надійність захисту в процесі експлуатації, то занулення поступається заземлення через більшу ймовірність пошкодження цілісності нульового проводу і можливої зміни опору петлі «фаза-нуль».

– системами застосування: заземлення використовують виключно для захисту мереж з ізольованою нейтраллю (системи ТТ і ІТ), занулення – в мережах з глухозаземленою нейтраллю TN-C, TN-S і TN-C-S, де присутня PEN, PE або N провідники.

– за типом облаштування: з точки зору простоти і доступності облаштування, занулення є більш складний і трудомісткий спосіб захисту, який вимагає технічних знань і навичок для правильного визначення способу і середньої точки занулення. У разі захисного заземлення з'єднують окремі деталі струмоприймача з землею, для чого достатньо застосування інструкцій до електроприладів..

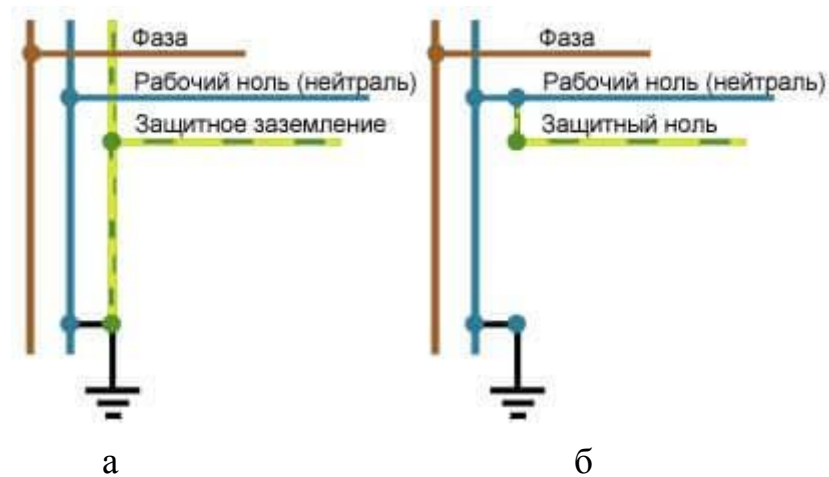


Рис. 1. Принципова сзема заземлення (а) та занулення (б)

*Занулення (захисне заземлення)* – навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником електромережі металевих неструмоведучих частин електроустановки, які можуть опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції.

Схема занулення (рис. 1) включає в себе нульовий захисний провідник, який має з'єднання з металевими не струмопровідними частинами електроустановок, глухе заземлення нейтралі трансформатора чи генератора з опором  $R_0$ , повторне заземлення нульового захисного провідника з опором  $R_n$  та автоматичний вимикаючий пристрій  $QF$ .

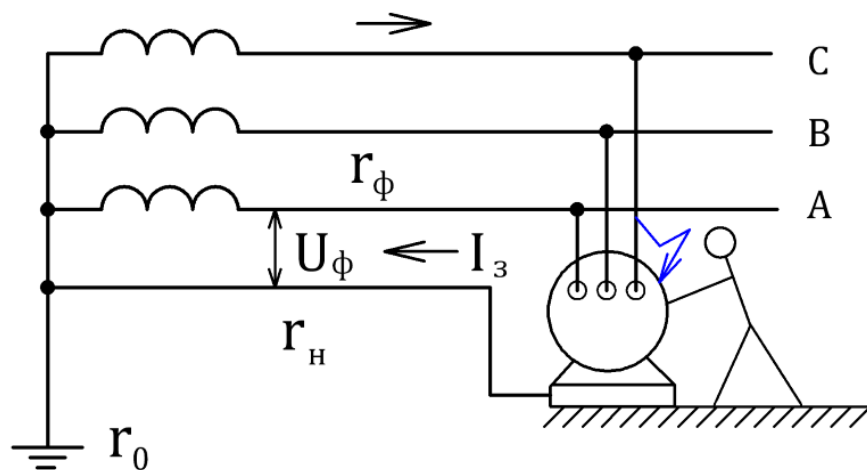


Рис. 1. Принципова схема занулення

Призначення занулення – усунення небезпеки ураження струмом у випадку дотику до корпусу електроустановки та іншим металевих не струмопровідних частин, які опинилися під напругою щодо землі внаслідок замикання на корпус та з інших причин.

**Захисне заземлення** ефективно тільки тоді, коли сила струму замикання на землю не збільшується із зменшенням опору заземлення. Це можливо в мережах з ізольованою нейтраллю, де за глухого замикання на землю або на заземлений корпус сила струму не залежить від опору заземлення, а також у мережах

напругою вище 1000 В з ефективно заземленою нейтраллю, де замикання на землю супроводжується коротким замиканням (к.з.) та вимиканням пошкодженої ділянки струмовим захистом.

У мережі з глухозаземленою нейтраллю напругою до 1000 В захисне заземлення неефективне, оскільки навіть при глухому замиканні на землю сила струму залежить від опору заземлення і при зменшенні його зростає. Тому в мережах, де нейтраль трансформатора живлення заземлена, використовують особливий різновид заземлення – занулення.

Занулення є одним із засобів колективного захисту людини від ураження електричним струмом при аварійних режимах в електроустановках.

Принцип дії занулення полягає у перетворенні замикання на корпус в однофазне коротке замикання (тобто замикання між фазним і нульовим захисним провідниками) з метою визвати великий струм, який здатний забезпечити спрацьовування захисту і тим самим автоматично відключити пошкоджену електроустановку від мережі живлення. Таким захистом є: плавкі запобіжники або автоматичні вимикачі максимального струму, що встановлюються для захисту від струмів короткого замикання; автоматичні вимикачі з комбінованим розщиплювачем, які здійснюють захист одночасно від струмів короткого замикання і перевантаження. Крім того, так як занулені корпуси заземлені через нульовий захисний провідник, то в аварійний період, тобто з моменту виникнення замикання на корпус і до автоматичного відключення проявляється захисна властивість цього заземлення, як при захисному заземленні. Інакше кажучи, заземлення корпусів через нульовий провід знижує в аварійний період їх напругу щодо землі. Таким чином, занулення здійснює дві захисні дії – швидке автоматичне відключення пошкодженої установки від живильної мережі і зниження напруги занулених металевих неструмоведучих частин, які опинилися під напругою, щодо землі.

[Повернутися до змісту](#)

## **2. Вимоги до занулення**

До частин, які підлягають зануленню або заземленню, належать:

- корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів, світильників тощо;
- приводи електричних апаратів;
- вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів;
- каркаси розподільних пристроїв, металеві оболонки та броня контрольних і силових кабелів, троси і сталеві смуги, на яких закріплені кабелі і проводи;
- металеві корпуси пересувних і переносних електроприймачів.

Кожна частина електроустановки, яка підлягає зануленню, повинна бути приєднана за допомогою спеціальної вітки до нульового робочого провідника,

якщо його використовують як нульовий захисний провідник, або до магістралі занулення – нульового захисного провідника, від якого відходять дві або більше віток. Нульовими захисними провідниками та їх вітками можуть бути спеціально передбачені з цією метою провідники, спеціальні жили кабелів, алюмінієві оболонки кабелів, сталеві труби електропроводок тощо. У цьому випадку необхідно забезпечити нерозривність нульового проводу від кожного корпусу до нейтралі джерела живлення. Тому всі з'єднання повинні забезпечувати надійний контакт і виконуватись за допомогою зварювання. Нульовий провід приєднують до корпусів електроприймачів зварюванням або під болт.

Для забезпечення безперервності електричного кола занулення, заборонено встановлювати в нульовий захисний провід вимикачі та запобіжники. Допускається використання вимикачів, які одночасно з вимиканням нульового проводу вимикають і всі фазні проводи. Однополюсні вимикачі слід встановлювати у фазних провідниках, а не в нульовому робочому провіднику.

Відповідно до ПУЕ-2017 на повітряних лініях (ПЛ) занулення здійснюється нульовим робочим проводом, прокладеним на тих самих опорах, що і фазні проводи.

Повторне заземлення нульового проводу в мережах напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю виконується:

- на кінцях ПЛ та їх вітках довжиною більше 200 м;
- на ввідній опорі ПЛ, якщо у виробничому приміщенні є електроустановки, що підлягають зануленню;
- у випадку розміщення електроустановок, які підлягають зануленню, зовні будови; відстань від електроустановки до найближчого повторного заземлення ПЛ або до заземлюючого пристрою споживчої підстанції повинна бути не більше 100 м;
- частіше повторні заземлення виконуються в тому випадку, коли це потрібно за вимогами захисту від блискавкових перенапруг.

[Повернутися до змісту](#)

### 3. Призначення окремих елементів схеми занулення

Для схеми занулення необхідні нульовий захисний провідник, глухе заземлення нейтралі джерела струму і повторне заземлення нульового захисного провідника.

*Нульовий захисний провідник* у схемі занулення призначений для забезпечення необхідного для відключення установки значення струму короткого однофазного замикання шляхом створення для цього струму у колі з малим опором.

В трифазній мережі до 1000 В із заземленою нейтраллю без нульового захисного провідника неможливо забезпечити безпеку при замиканні фази на корпус, тому така мережа застосовуватися не повинна.

*Заземлення нейтралі обмоток джерел*, що живить мережу до 1000 В призначене для зниження напруги занулених корпусів (тобто, нульового захисного провідника) щодо землі до безпечного значення при замиканні фази на землю.

Враховуючи, це можна зробити висновок, що електрична мережа до 1000 В, з нульовим захисним провідником, ізольована від землі, тобто з ізольованою нейтраллю обмоток джерела живлення і без повторного заземлення нульового захисного проводу, таїть небезпеку ураження струмом і тому застосовуватися не повинна.

*Повторне заземлення нульового захисного провідника* призначене для зниження напруги на занулених корпусах у період замикання фази на корпус.

Повторне заземлення нульового захисного провідника практично не впливає на здатність, щодо відключення схеми занулення. Однак за відсутності повторного заземлення нульового захисного провідника виникає небезпека для людей, що торкаються до зануленого обладнання в період поки існує замикання фази на корпус. Крім того, у разі обриву нульового захисного провідника і замиканні фази на корпус за місцем обриву ця небезпека різко підвищується, оскільки напруга щодо землі обірваної ділянки нульового проводу і приєднаних до нього корпусів може досягати фазної напруги мережі. Ця напруга буде існувати довго, оскільки пошкоджена установка автоматично не відключиться і її буде важко виявити серед справних установок, щоб відключити вручну.

Повторне заземлення нульового захисного провідника значно зменшує небезпеку ураження електричним струмом, що виникає в результаті обриву нульового захисного провідника і замикання фази на корпус за місцем обриву, але не може усунути її повністю, тобто не забезпечує тих умов безпеки, які існували до обриву. У зв'язку з цим потрібна ретельна прокладка нульового захисного провідника, щоб виключити можливість його обриву; в нульовому захисному провіднику забороняється ставити вимикачі, запобіжники та інші прилади, здатні порушити його цілісність.

[Повернутися до змісту](#)

#### **4. Застосування занулення**

Занулення застосовують у найбільш розповсюджених трифазних чотирипроводових мережах напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю джерела живлення як основний захист від ураження електричним струмом при можливому дотиканні до металевих частин електрообладнання, на яких може з'явитися напруга. Заземлення нейтралі називають робочим заземленням, на

відміну від захисного. До них відносять мережі з глухозаземленою нейтраллю: *TN-C*, *TN-S* і *TN-C-S*. Основна відмінність в організації занулення для зазначених систем полягає в схемі з'єднання нульових захисних та робочих провідників.

*Система занулення TN-C.* Система занулення *TN-C* на сьогоднішній день належить до застарілої, тому що переважає в будівлях старого житлового фонду. Для неї характерна наявність суміщеного по всій довжині нульового захисного і нульового робочого провідника *PEN*. Використовується для електропостачання в трифазних мережах. Заборонено для групових і розподільних однофазних мереж. Дана система досить проста в організації, однак не забезпечує достатнього рівня електробезпеки, що унеможлиблює її застосування при будівництві нових будівель.

*Система занулення TN-C-S.* Являє собою поліпшений варіант системи занулення *TN-C* для забезпечення електробезпеки в однофазних мережах. У точці розгалуження трифазної лінії на однофазні суміщений *PEN*-провідник поділяють на *PE*- і *N*-провідники, підбиваючи їх до однофазних споживачам. Дана система занулення, при відносно невеликому подорожчанні, відрізняється більш високим рівнем безпеки.

*Система занулення TN-S.* Вважається найбільш досконалою і безпечною схемою занулення. Принцип дії заснований на поділі по всій довжині нульового захисного і нульового робочого провідників. До нульового захисного провідника *PE* приєднують всі металеві елементи електроустановки. Щоб уникнути повторного заземлення влаштовують трансформаторну підстанцію, що має основне заземлення.

[Повернутися до змісту](#)

## 5. Розрахунок занулення

При замиканні фази на занулений корпус електроустановка автоматично відключиться, якщо значення струму однофазного короткого замикання (тобто між фазним і нульовим захисним провідниками) буде задовольняти наступній умові:

$$I_{к.з.} > k I_{ном}, \quad (1)$$

де  $I_{к.з.}$  – сила струму однофазного короткого замикання, А;

$I_{ном}$  – номінальна сила струму спрацювання апарата захисту, А;

$k$  – коефіцієнт кратності номінального струму плавкої вставки запобіжника або уставки спрацювання автоматичного вимикача.

Значення коефіцієнта  $k$  приймають залежно від типу захисту електроустановки.

Якщо електроустановка захищається плавкими запобіжниками, час перегорання плавкої вставки яких залежить від величини струму (зменшується із збільшенням струму), то приймають  $k \geq 3$ .

Якщо електроустановка захищається автоматичним вимикачем з тепловим розчіплювачем, що має обернено залежну від струму характеристику, подібно характеристиці запобіжників, то також  $k \geq 3$ .

Якщо ж захист здійснюється автоматичним вимикачем, що має лише електромагнітний розчіплювач (відсічка), який спрацьовує без витримки часу, то приймають

$$I_{кз} > k \cdot I_{відс}, \quad (2)$$

де  $k = 1,4$  – якщо номінальний струм вимикача не більше 100 А;

$k = 1,25$  – якщо  $I_n$  – більше 100 А.

Сила струму однофазного короткого замикання визначається за формулою:

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{(R_{\phi} + R_n)^2 + X_n^2 + Z_m/3}}, \quad (3)$$

де  $U_{\phi}$  – номінальна фазна напруга, В;

$R_{\phi}$  і  $R_n$  – активні опори відповідно фазного і нульового проводів, Ом;

$X_n$  – реактивний опір петлі “фаза-нуль”;

$Z_m/3$  – розрахунковий опір обмотки трансформатора живлення струму однофазного короткого замикання, Ом (залежить від потужності трансформатора, напруги та схеми з’єднання його обмоток, а також від конструктивного виконання самого трансформатора, наводиться в таблицях).

Для проводів з кольорових металів  $X_n$  приймають з розрахунку 0,6 Ом на 1 км довжини провoda. Активні опори  $R$  цих проводів можна визначити за формулою:

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot S}, \quad (4)$$

де  $l$  – довжина фазного або нульового проводу, м;

$\gamma$  – питома провідність проводу (для міді 57 м/Ом · мм<sup>2</sup>; алюмінію 32 м/Ом · мм<sup>2</sup>);

$S$  – площа поперечного перерізу проводу, мм<sup>2</sup>.

Якщо різні ділянки мережі виконані проводами різних марок, можна обчислювати активний і реактивний опори для кожної ділянки окремо і сумувати їх арифметично.

Якщо кратність струму однофазного короткого замикання не задовольняє вимоги ПУЕ-2017, необхідно:

- збільшити провідність нульових захисних провідників;
- вибрати раціональніші траси і види прокладки струмопровідних і нульових захисних провідників, які забезпечують скорочення довжини і зміни зовнішнього індуктивного опору кола ”фаза-нуль”;
- збільшити переріз фазних проводів;

– використовувати трансформатор із схемою з'єднань "трикутник-зірка" або "зірка-зигзаг з нулем". З метою поліпшення умов вимикання-замикання на корпус потрібно використовувати силові трансформатори із схемою з'єднання:

- "трикутник-зірка", якщо  $S \geq 400$  кВА;
- "зірка - зигзаг з нулем", якщо  $S \leq 250$  кВА.

У трансформаторів зі схемою з'єднання обмоток "трикутник – зірка", "зірка-зигзаг з нулем", повний опір у середньому в три рази менший, ніж у трансформаторів із схемою з'єднання обмоток "зірка-зірка з нулем";

– використовувати замість звичайного захисту плавкі запобіжники або автоматичні вимикачі спеціального захисту від однофазних к.з.;

- секціонувати повітряні лінії.

Для тваринницьких приміщень переріз нульового проводу має бути таким же, як і фазний. В інших випадках можна переріз нульового проводу зменшити, але не менше 50 % перерізу фазного.

[Повернутися до змісту](#)