

Тема 5 ЗАСОБИ ЗАХИСТУ ВІД УРАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ

План

1. Заходи електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок.
2. Заходи електробезпеки при аварійних режимах роботи електроустановок.
3. Захист від крокової напруги та напруги дотику.
4. Електрозахисні засоби.

Література:

1. Основи охорони праці: Підручник. 3-тє видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний та ін. За ред. К. Н. Ткачука. – К.: Основа, 2011. – с. 331-360.
2. Вайнштейн Л.И. Меры безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Энергия, 1977. – с. 16-48.
3. Охрана труда в электроустановках: Учебник для вузов / Под ред. Б.А. Князевского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – с. 115-200.

1. Заходи електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок.

Технічні засоби і заходи з електробезпеки реалізуються в конструкції електроустановок при їх розробці, виготовленні і монтажі відповідно до чинних нормативів. За своїми функціями технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки діляться на дві групи:

- технічні заходи і засоби забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок;
- технічні заходи і засоби забезпечення електробезпеки при аварійних режимах роботи електроустановок.

Основні технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок включають:

- ізоляція струмопровідних частин;
- недоступність струмопровідних частин;
- блокування безпеки;
- засоби орієнтації в електроустановках;
- виконання електроустановок, ізольованими від землі;
- захисне розділення електричних мереж;
- застосування малих напруг;
- компенсація ємнісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів.

З метою підвищення рівня безпеки, залежно від призначення, умов експлуатації і конструкції в електроустановках застосовується одночасно декілька з перелічених технічних засобів і заходів.

Ізоляція струмопровідних частин.

Забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогід-

ність попадань людини під напругу, замикань на землю і на корпус електроустановок, зменшує струм через людину при доторканні до неізольованих струмопровідних частин в електроустановках, що живляться від ізольованої від землі мережі.

ГОСТ 12.1.009-76 виділяє ізоляцію:

- робочу — забезпечує нормальну роботу електроустановок і захист від ураження електричним струмом;
- додаткову — забезпечує захист від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції;
- подвійну — складається з робочої і додаткової;
- підсилену — поліпшена робоча ізоляція, яка забезпечує такий рівень захисту, як і подвійна.

Забезпечення недоступності струмопровідних частин. Статистичні дані щодо електротравматизму свідчать, що більшість електротравм пов'язана з дотиком до струмопровідних частин електроустановок (близько 56%).

Основними заходами забезпечення недоступності струмопровідних частин є застосування захисних огорожень, закритих комутаційних апаратів (пакетних вимикачів, комплектних пускових пристроїв, дистанційних електромагнітних приладів управління споживачами електроенергії тощо), розміщення неізольованих струмопровідних частин на висоті, недосяжній для ненавмисного доторкання до них інструментом, різного роду пристосуваннями, обмеження доступу сторонніх осіб в електротехнічні приміщення тощо.

Застосування блокувань безпеки.

Блокування безпеки застосовуються в електроустановках, експлуатація яких пов'язана з періодичним доступом до огорожених струмопровідних частин (випробувальні і дослідні стенди, установки для випробування ізоляції підвищеною напругою), в комутаційних апаратах, помилки в оперативних переключеннях яких можуть призвести до аварії і нещасних випадків, в рубильниках, пусковій апаратурі, автоматичних вимикачах, які працюють в умовах підвищеної небезпеки (електроустановки на плавзасобах, в гірничо-добувній промисловості) тощо.

Призначення блокувань безпеки: унеможливити доступ до неізольованих струмопровідних частин без попереднього зняття з них напруги, попередити помилкові оперативні та керуючі дії персоналу при експлуатації електроустановок, не допустити порушення рівня електробезпеки та вибухозахисту електрообладнання. Основними видами блокувань безпеки є механічні, електричні і електромагнітні.

Механічні блокування безпеки виконуються, переважно, у вигляді механічних конструкцій (стопори, замки, пружинно-стрижньові і гвинтові конструкції тощо), які не дозволяють знімати захисні огороження електроустановок, відкривати комутаційні апарати тощо без попереднього зняття з них напруги.

Електричні блокування забезпечують розрив мережі живлення спеціальними контактами, змонтованими на дверцятах огороження, розподільчих щитів і шаф, кришках і дверцях кожухів електрообладнання. При дистанційному управлінні електроустановкою ці контакти доцільно включати в мережу управління пускового апарату послідовно з органами пуску. В такому разі подача напруги на установку органами пуску буде неможливою до замикання контактів

електричних блокувань.

Електромагнітні блокування безпеки вимикачів, роз'єднувачів, заземляючих ножів використовуються на відкритих і закритих розподільчих пристроях з метою забезпечення необхідної послідовності вмикання і вимикання обладнання. Вони виконуються, переважно, у вигляді стрижньових електромагнітів. Стрижень електромагніту при знеструмленні його обмотки під дією пружини заходить в гніздо корпусу органу управління електроустановки, що не дозволяє маніпулювання цим органом. При подачі напруги на обмотку електромагніту осердя останнього втягується в котушку електромагніту, що забезпечує розблокування органу управління електроустановкою і можливість необхідних маніпулювань цим органом.

Засоби орієнтації в електроустановках дають можливість персоналу чітко орієнтуватися при монтажі, виконанні ремонтних робіт і запобігають помилковим діям. До засобів орієнтації в електроустановках відносяться маркування частин електрообладнання, проводів і струмопроводів (шин), бирки на проводах, забарвлення неізольованих струмопровідних частин, ізоляції, внутрішніх поверхонь електричних шаф і щитів керування, попереджувальні сигнали, написи, таблички, комутаційні схеми, знаки високої електричної напруги, знаки попереджувальні тощо.

Виконання електричних мереж, ізольованими від землі.

В мережах, ізольованих від землі, при однофазному включенні людини під напругу і відсутності пошкодження ізоляції інших фаз, величина струму, що проходить через людину, визначається опором ізоляції фаз відносно землі, який, щонайменше, становить 10^5 Ом. Таким чином, виконання мереж, ізольованими від землі, обмежує величину струму, що проходить через людину, за рахунок опору ізоляції фаз відносно землі за умови забезпечення необхідного стану ізоляції. При наявності фаз з пошкодженою ізоляцією і доторканні людини до фазного проводу з непошкодженою ізоляцією величина струму, що проходить через людину, значно зростає. Тому застосування мереж, ізольованих від землі, вимагає обов'язкового контролю опору ізоляції.

Захисне розділення електричних мереж.

Загальний опір ізоляції проводів електричної мережі відносно землі і ємнісна складова струму замикання на землю залежать від протяжності мережі і її розгалуженості. Із збільшенням протяжності і розгалуженості мережі опір ізоляції зменшується (паралельна робота ізоляторів, накопичення дефектів тощо) і збільшується ємність. Розділення такої протяжної мережі на окремі, електрично незв'язані між собою, частини за допомогою трансформаторів з коефіцієнтом трансформації, рівним одиниці, сприяє підвищенню опору ізоляції і зменшенню ємності і, як результат, приводить до підвищення рівня безпеки.

Захисне розділення електричних мереж може реалізовуватись як в межах електричних систем так і в межах окремих підприємств. Зокрема, воно може реалізовуватись при переході від мережі з глухозаземленою нейтраллю до мережі, ізольованої від землі. Прикладом реалізації варіанту переходу від мережі з глухозаземленою нейтраллю до мережі, ізольованої від землі, є застосування розділяючих трансформаторів.

Принципова схема розділяючого трансформатора як засобу захисту в установках напругою до 1000 В при виконанні робіт в особливо небезпечних умо-

вах щодо електротравм наведена на рис. 1.

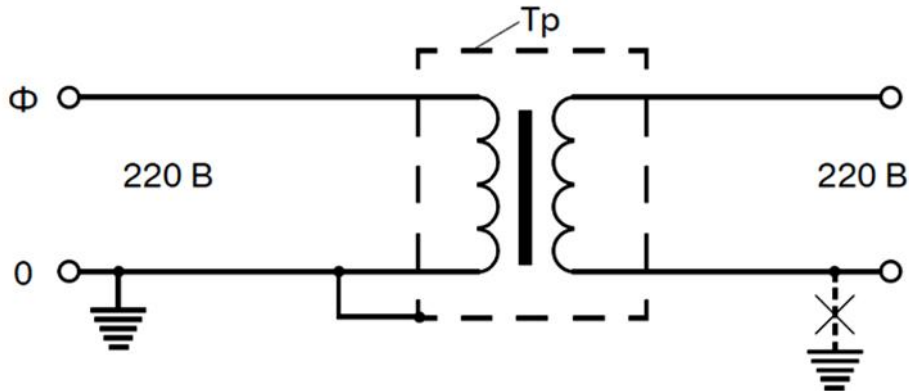


Рисунок 1 – Схема розділяючого трансформатора

При реалізації схеми розділяючого трансформатора як засобу захисту необхідно дотримуватися наступних вимог безпеки:

- підвищена надійність конструкції і ізоляції;
- від трансформатора дозволяється живлення тільки одного споживача електроенергії з номінальним струмом плавкої вставки не більше 15 А;
- заземлення вторинної обмотки трансформатора не допускається;
- корпус трансформатора заземлюється чи занулюється залежно від режиму нейтралі мережі живлення трансформатора;
- напруга на низькій стороні трансформаторів обмежується величиною 380 В.

Застосування малих напруг.

До малих напруг відносяться напруги 42 В і менше змінного струму частотою 50 Гц і 110 В і менше постійного струму.

Чинні нормативні документи виділяють два діапазони малих напруг змінного струму: 12 В і 42 В. Напруга до 42 В змінного і до 110 В постійного струму застосовується в приміщеннях з підвищеною небезпекою електротравм, особливо небезпечних і поза приміщеннями для живлення ручного електрифікованого інструменту, ручних переносних ламп, світильників місцевого освітлення з лампами розжарювання, в яких конструктивно не виключена можливість контакту сторонніх осіб із струмопровідними частинами, світильників загального освітлення з лампами розжарювання при висоті підвісу світильників меншій 2,5 м.

Напруга до 12 В змінного струму повинна застосовуватися для живлення від мережі переносних світильників в особливо небезпечних умовах щодо електротравм: металеві, бетонні, залізобетонні та інші ємкості, кабельні та інші енергетичні підземні комунікації, оглядові ями, вентиляційні камери, теплопункти тощо. Для живлення таких світильників перевагу слід віддавати стаціонарним електричним мережам напругою 12 В. Розетки для підключення світильників в таких мережах конструктивно мають відрізнятися від розеток на більші діапазони напруги. За недоцільності виконання стаціонарних мереж напругою 12 В допускається застосування понижуючих трансформаторів. Принципова схема такого типу трансформаторів наведена на рис. 2.

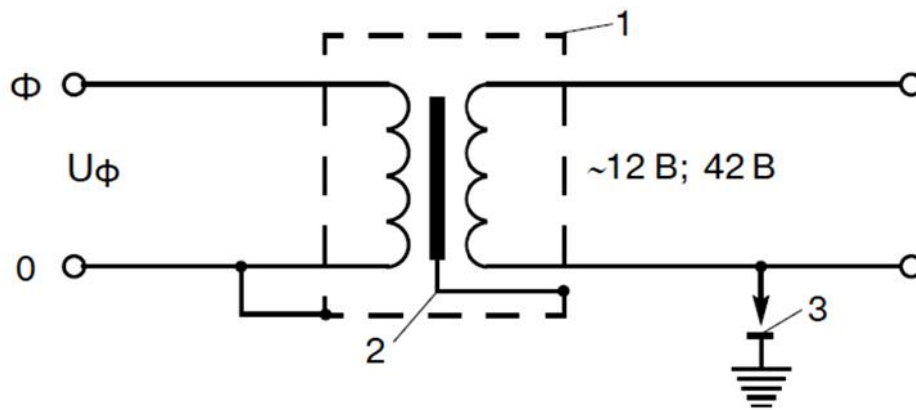


Рисунок 2 – Схема знижуючого трансформатора:
1 – корпус трансформатора; 2 – заземлений (занулений) екран; 3 – пробивний запобіжник.

З метою забезпечення надійного захисту, понижуючі трансформатори, як засоби захисту, повинні мати електрично не зв'язані обмотки високої і низької сторони (не типу автотрансформаторів з однією обмоткою), розділені екраном. Для захисту від переходу високої напруги на низьку сторону один із виводів вторинної обмотки заземлюється через пробивний запобіжник.

Вирівнювання потенціалів.

Застосовується з метою зниження можливих напруг дотику (U_{dot} , В) і кроку ($U_{кр}$, В) при експлуатації електроустановок або попаданні людини під ці напруги за інших обставин. Вирівнювання потенціалів досягається за рахунок навмисного підвищення потенціалу опорної поверхні, на якій може стояти людина, до рівня потенціалу струмопровідних частин, яких вона може торкатися (зменшення U_{dot}), або за рахунок зменшення перепаду потенціалів на поверхні землі чи підлозі приміщень в зоні можливого розтікання струму (зменшення $U_{кр}$).

Варіантом вирівнювання потенціалів є спорудження в ґрунті по всій території відкритих електропідстанцій чи відкритих розподільчих пристроїв (ВРП) заземлюючого пристрою з певним розміщенням вертикальних заземлювачів, з'єднаних металевими смугами. При замиканні на корпус будь-якого з апаратів, розміщених на підстанції, його потенціал відносно землі передається на неструмопровідні частини інших апаратів, оскільки останні приєднані до одного заземлювача. Це створює небезпеку обслуговуючому персоналу. Наявність заземлюючого пристрою по всій території ВРП сприяє зменшенню напруги дотику і кроку.

2. Заходи електробезпеки при аварійних режимах роботи електроустановок.

Поява напруги на неструмопровідних частинах електроустановок пов'язана з пошкодженням ізоляції і замиканням на корпус. Основними технічними заходами щодо попередження електротравм при замиканнях на корпус є *захисне заземлення, занулення, захисне відключення.*

Захисне заземлення.

Захисне заземлення — це навмисне електричне з'єднання з землею чи її еквівалентом металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою.

Принципова схема захисного заземлення наведена на рис. 3, права частина. Захисне заземлення застосовується в електроустановках, що живляться від ізолюваної від землі мережі напругою до 1000 В і в електроустановках напругою більше 1000 В незалежно від режиму нейтралі мережі живлення. Захисне заземлення забезпечує паралельно можливому включенню людини в мережу замикання на землю струмопровід малого опору (шунт), за рахунок чого зменшується струм, що проходить через людину. Крім того, захисне заземлення при правильному його виконанні зменшує $U_{\text{дот}}$.

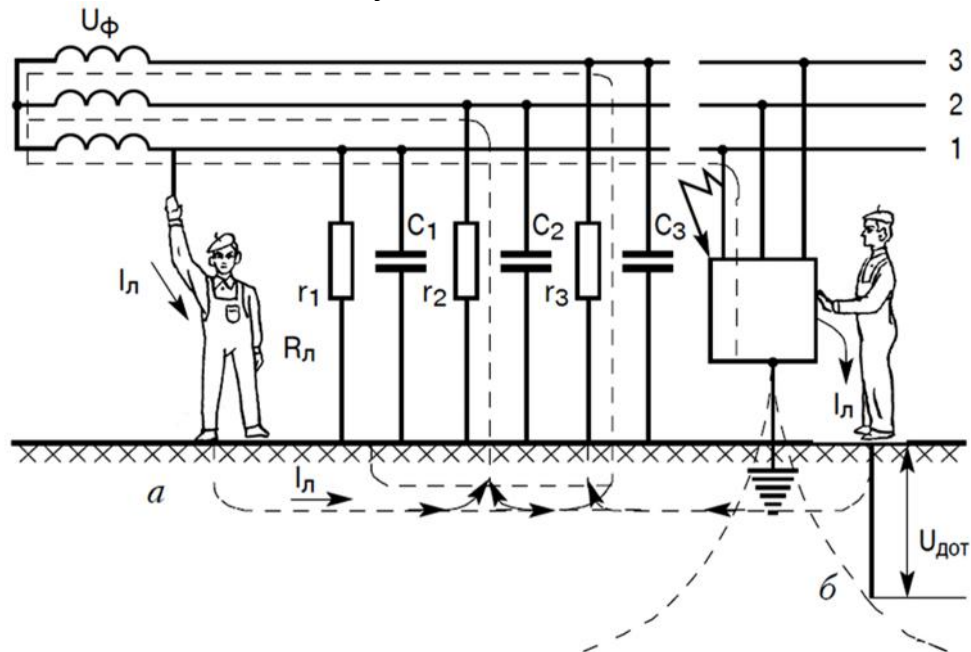


Рисунок 3 – Схема включення людини під напругу при дотику до фазного проводу (а) і до корпусу електрообладнання при пошкодженій ізоляції

Захисному заземленню підлягають:

- електроустановки напругою 380 В і більше змінного струму і 440 В і більше постійного струму в усіх випадках незалежно від категорії приміщень (умов) щодо небезпеки електротравм;
- електроустановки напругою більше 42 В змінного струму і більше 110 В постійного струму в приміщеннях з підвищеною і особливою небезпекою електротравм, а також електроустановки поза приміщеннями;
- всі електроустановки, що експлуатуються у вибухонебезпечних зонах (з метою попередження вибухів).

Відповідно до зазначеного заземлюються:

- неструмопровідні частини електричних машин, апаратів, трансформаторів;
- каркаси розподільчих щитів, шаф, щитів управління, а також їх знімні частини і частини, що відкриваються, якщо на них встановлено електрообладнання напругою більше 42 В змінного і більше 110 В постійного струму.
- металеві конструкції розподільчих пристроїв, металеві кабельні коробки та інші кабельні конструкції, металеві кабельні муфти, металеві гнучки рукави і труби електропроводки, електричні світильники;

- металоконструкції виробничого обладнання, на якому є споживачі електроенергії;
- опори повітряних ліній електропередач тощо.

Не заземлюються неструмопровідні частини електроустановок, розміщених на заземлених металоконструкціях, за умови надійного контакту між ними, за винятком електроустановок, що експлуатуються у вибухонебезпечних зонах.

Ефективність захисного заземлення залежить від опору заземлюючого пристрою проходженню струму замикання на землю.

Відповідно до чинних нормативів величина опору заземлюючого пристрою в установках напругою до 1000 В не повинна перевищувати:

- 10 Ом при сумарній потужності генераторів (трансформаторів) 100 кВА і менше;
- 4 Ом при сумарній потужності генераторів (трансформаторів) більше 100 кВА.

Опір заземлюючого пристрою електроустановок, що живляться від мережі напругою більше 1000 В, повинен бути:

- не більше 0,5 Ом в мережах з ефективно заземленою нейтраллю;
- в мережах, ізольованих від землі, не більше визначеного з виразу $125/I_{з.з.}$ і приймається розрахунковим, але не більше 10 Ом.

За величину розрахункового струму замикання на землю $I_{з.з.}$ приймається найбільший можливий струм замикання на землю в цій електроустановці. В загальному вигляді величина струму замикання на землю при симетричності опору ізоляції і ємності фаз відносно землі:

$$I_{з.з.} = \frac{3U_{\phi}}{100}, \text{ А.}$$

В установках напругою більше 1000 В при ізольованій від землі мережі розрахункова величина струму замикання на землю:

$$I_{з.з.} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\phi} (35I_k + I_d)}{350}, \text{ А,}$$

де I_k і I_d - загальна довжина кабельної і повітряної мережі, км.

Конструктивно захисне заземлення включає заземлюючий пристрій і провідник, що з'єднує заземлюючий пристрій з обладнанням, яке заземлюється, — заземлюючий провідник. Для заземлюючих провідників використовують неізольовані мідні провідники поперечним перерізом не менше 4 мм² або сталеві струмопроводи діаметром 5...10 мм. Заземлюючі провідники між собою і з заземлюючим пристроєм з'єднуються зварюванням, а з обладнанням, що заземлюється, — зварюванням або за допомогою гвинтового з'єднання з застосуванням антикорозійних заходів. У виробничих приміщеннях заземлюючі провідники прокладаються відкрито, а обладнання приєднується до магістралі заземлення індивідуально шляхом паралельних приєднань.

Заземлюючі пристрої можуть бути природними і штучними. Як природні заземлюючі пристрої використовуються прокладені в землі трубопроводи, оболонки кабелів, арматура будівельних конструкцій, що має контакт з землею тощо. Штучні заземлюючі пристрої – це спеціально закладені в землю металоконструкції, призначені для захисного заземлення. Штучними заземлювачами

можуть бути металеві вертикально закладені в ґрунт електроди (стрижні, труби, кутова сталь тощо), з'єднані між собою за допомогою зварювання з'єднувальною смугою, смугова і листова сталь і т. ін.

Закладені в ґрунт вертикальні електроди, з'єднані металевою смугою в загальну мережу, використовуються, переважно, для цехових заземлюючих пристроїв при значній кількості електроустановок, що заземлюються, заземлюючих пристроїв ВРП тощо. У цьому випадку заземлюючий пристрій виконується у вигляді контурного або виносного, рис. 4.

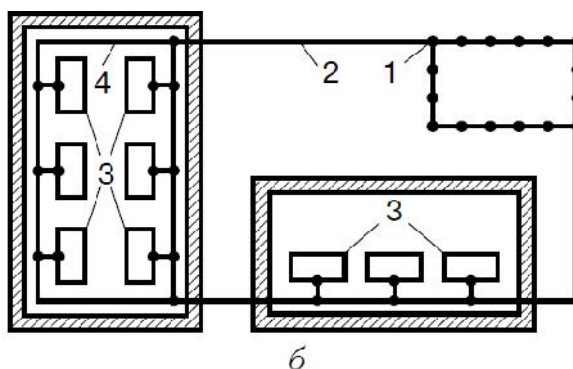


Рисунок 4 – Контурне (а) і виносне (б) заземлення:

1 – заземлюючі пристрої; 2 – заземлюючі провідники; 3 – обладнання, що заземлюється; 4 – внутрішня магістраль (контур) заземлення

У випадку контурного заземлення (рис. 4, а) в приміщенні відкрито по будівельних конструкціях споруджується внутрішній контур заземлення 4, з яким за допомогою з'єднувальних провідників 2 з'єднуються неструмопровідні елементи обладнання 3, що заземлюється. Зовні приміщення в ґрунті на глибині 0,7...1,0 м споруджується контурний заземлюючий пристрій 1 (вертикальні електроди, з'єднані горизонтальним електродом). Внутрішня магістраль заземлення і заземлюючий пристрій з'єднується між собою за допомогою зварювання не менше ніж у двох місцях.

При виносному заземленні заземлюючий пристрій 1 споруджується поза приміщеннями, а внутрішні магістралі заземлення окремих приміщень приєднуються до заземлюючого пристрою заземлюючими провідниками. Смогова сталь використовується, переважно, для спорудження групових заземлювачів для заземлення будівельних мобільних приміщень та інших групових пересувних електроустановок, а листова – як індивідуальні заземлюючі пристрої.

Занулення.

Занулення — це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції.

Занулення в електроустановках — це навмисне з'єднання елементів електроустановки, які нормально не знаходяться під напругою, з глухозаземленою нейтраллю генератора чи трансформатора в мережах трифазного струму, з глухозаземленим виводом джерела однофазного струму, з глухозаземленою середньою точкою джерела в мережах постійного струму.

Занулення застосовується в електроустановках напругою до 1000 В, які живляться від мережі з глухозаземленою нейтраллю.

Принципова схема занулення наведена на рис. 5, права частина. Занулення перетворює замикання на корпус в коротке замикання фази, спрацьовує захист від коротких замикань (плавкі вставки запобіжників, струмові автомати, магнітні пускові пристрої із струмовим захистом тощо) і установка відключається від джерела живлення.

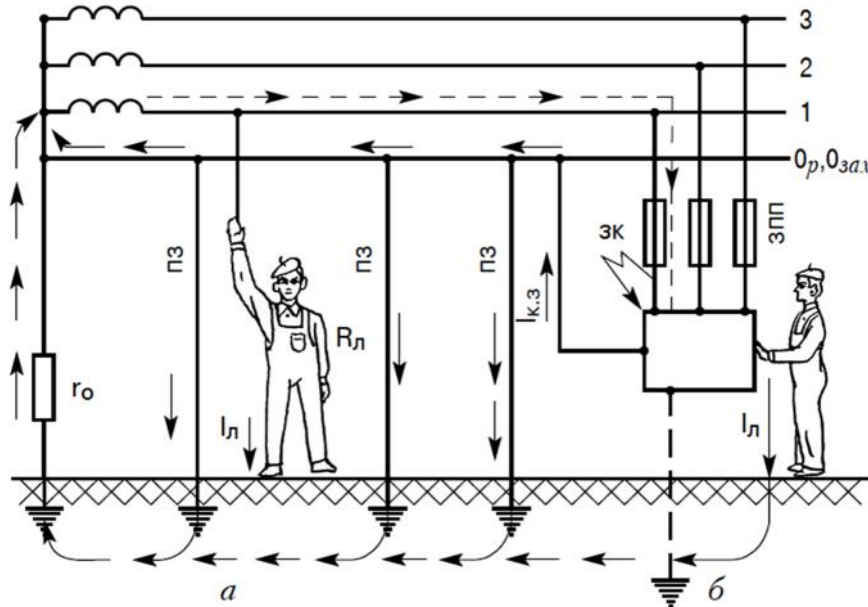


Рисунок 5 – Схема дії занулення

Вимоги щодо застосування занулення залежно від величини напруги і категорії приміщень за небезпекою електротравм аналогічні вимогам до застосування захисного заземлення. За величиною напруги мережі живлення застосування занулення обмежується напругою до 1 кВ.

Згідно з чинними нормативами можливі два варіанти реалізації занулення:

- заземлена через певні відстані (100...200 м) нейтраль мережі виконує функції нульового робочого і нульового захисного провідника одночасно;
- для занулення обладнання прокладається окремий провідник, який виконує функції тільки нульового захисного.

Другий варіант є обов'язковим для житлових, адміністративно-побутових приміщень, приміщень масового перебування людей та їм подібних, що будуються.

В цьому випадку в приміщеннях з однофазною мережею внутрішня мережа виконується 3-х провідною — фаза, нуль робочий і нуль захисний, а розетки для підключення переносних споживачів електроенергії — 3-х контактні. При відповідному виконанні штепсельних вилок і шнура живлення (трипро-відний) контакт мережі нульового захисного провідника замикається з упередженням відносно контактів фази і нульового робочого провідника. Таким чином, споживач електроенергії занулюється до подачі на нього напруги.

В приміщеннях з 3-и фазними споживачами внутрішня мережа виконується 5-ти провідною — 3 фази, нуль робочий і нуль захисний.

Незалежно від розглянутих варіантів при застосуванні в приміщенні окремого нульового захисного провідника останній відгалужується від нейтралі ме-

режі на щитку вводу в приміщення до роз'єднуючих контактів, а для забезпечення його цілісності і надійності захисту в мережі цього провідника не повинно бути будь-яких роз'єднувачів, запобіжників тощо.

Захисне відключення.

Призначення захисного відключення — відключення електроустановки при пошкодженні ізоляції і переході напруги на неструмопровідні її елементи. Застосовується в доповнення до захисного заземлення (занулення) для забезпечення надійного захисту, перш за все в умовах особливої небезпеки електротравм.

Ефективність захисного заземлення залежить від опору заземлюючого пристрою розтіканню струму замикання на землю. При наявності сухого чи скального ґрунту опір заземлюючого пристрою розтіканню струму за певних умов може перевищувати допустимі значення з відповідною втратою захисних функцій. Тому в подібних випадках доцільно застосовувати захисне відключення.

Ефективність занулення залежить від опору мережі короткого замикання при переході напруги на неструмопровідні частини. При значній протяжності мережі живлення її опір струму короткого замикання збільшується, а абсолютне значення струму короткого замикання може бути недостатнім для спрацювання захисту від КЗ.

В подібних випадках ефективний захист може бути забезпечений застосуванням пристроїв захисного відключення, спрацювання яких може бути спричинене струмами витоку на землю з корпусу електроустановки, зниженням опору ізоляції фази відносно землі, перерозподілом навантаження на фази тощо. Промисловістю серійно випускаються пристрої захисного відключення.

Контрольні запитання:

1. Якими причинами пояснюється небезпека ураження людини електричним струмом в мережах, ізольованих від землі?
2. Що небезпечніше і чому: доторкання людини до «здорової фази» за наявності пошкодженої чи до пошкодженої фази в мережах, ізольованих від землі?
3. Які ви знаєте основні технічні рішення забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок?
4. Чим вмотивоване застосування знижених напруг, знижуючих і розділяючих трансформаторів?
5. В чому полягає захисна дія вирівнювання потенціалів?
6. Які основні заходи попередження електротравм при пошкодженні ізоляції і переході напруги на неструмовідні частини електроустановок.
7. Які електроустановки підлягають заземленню?
8. Від чого залежить ефективність захисного заземлення?
9. Назвати величини допустимого опору заземлюючого пристрою залежно від величини напруги, підключеної потужності та режиму нейтралі мережі.
10. В чому полягає ефективність дії занулення?