

ЗАНУЛЕННЯ

Призначення, принцип дії і галузь застосування занулення

Небезпека ураження електричним струмом при випадковій появі напруги на корпусах електрообладнання може бути усунута швидким вимкненням пошкодженої установки від мережі. З цією метою використовують занулення, схема якого показана на рис. 6.1.

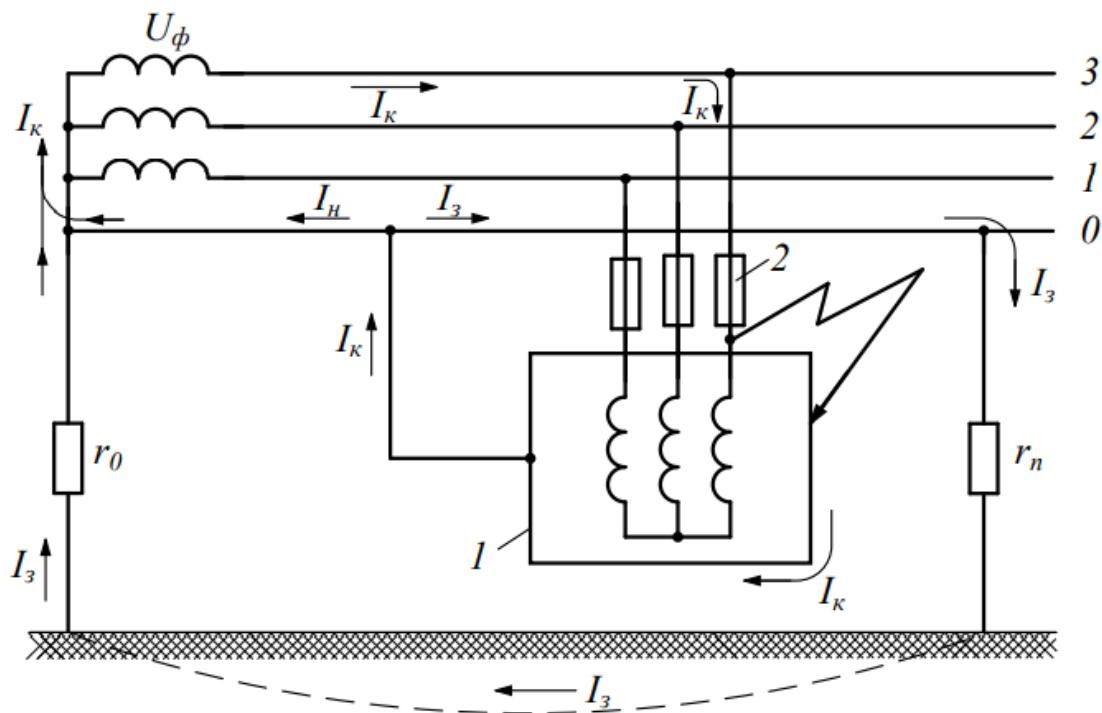


Рис. 6.1. Принципова схема занулення в трифазній мережі до 1000 В:

1 – корпус електроустановки (електродвигун, трансформатор і т.п.); 2 – апарати захисту від струмів короткого замикання (запобіжники, автоматичні вимикачі й т.п.); r_0 – опір заземлення нейтралі обмотки джерела струму; r_n – опір повторного заземлення нульового захисного провідника; I_k – струм короткого замикання; I_n – частина струму короткого замикання, що протікає через нульовий захисний провідник; I_3 – частина струму короткого замикання, що протікає через землю

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

Призначення занулення – усунення небезпеки ураження струмом у випадку торкання корпусу електроустановки і інших металевих неструмовідних частин, що опинилися під напругою відносно землі через замикання на корпус і з інших причин.

Принцип дії занулення – перетворення замикання на корпус в однофазне коротке замикання (тобто замикання між фазними й нульовим захисним провідниками) з метою викликати великий струм, здатний забезпечити спрацьовування захисту й тим самим автоматично відімкнути ушкоджену електроустановку від мережі. Таким захистом є: плавкі запобіжники або автомати максимального струму, встановлені для захисту від струмів короткого замикання; магнітні пускачі з вбудованим тепловим захистом; контактори в сполученні з тепловими реле, що здійснюють захист від перевантаження; автомати з комбінованими розчіплювачами, що здійснюють захист від струмів короткого замикання й перевантаження. Крім того, оскільки занулені корпуси (або інші неструмовідні металеві частини) заземлені через нульовий захисний провідник, то в аварійний період, тобто з моменту виникнення замикання на корпус і до автоматичного відмикання ушкодженої електроустановки від мережі, проявляється захисна властивість цього заземлення. Інакше кажучи, заземлення корпусів через нульовий захисний провідник знижує в аварійний період їхню напругу відносно землі. Таким чином, занулення здійснює дві захисних дії – швидке автоматичне відмикання ушкодженої установки від живильної мережі й зниження напруги занулених металевих неструмовідних частин, які опинилися під напругою, відносно землі.

При цьому відмикання здійснюється лише при замиканні на корпус, а зниження напруги – у всіх випадках виникнення напруги на занулених металевих неструмовідних частинах, у тому числі при замиканні на корпус, електростатичному й електромагнітному впливах сусідніх кіл, виносі потенціалу від інших електроустановок і т.п. Галузь застосування занулення – трифазні чотирипроводові мережі до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю, у тому числі найпоширеніші мережі напругою 380/220 В, а також мережі напругою 220/127 В; 660/380 В. Занулення застосовується і в однофазних двопроводових мережах змінного струму з глухозаземленим виводом обмотки джерела струму.

Призначення окремих елементів схеми занулення

Занулення вимагає наявності в електричній мережі нульового захисного провідника, глухого заземлення нейтралі джерела струму і повторного заземлення нульового захисного провідника. Розглянемо призначення цих елементів.

Призначення нульового захисного провідника

Спочатку розглянемо схему без нульового захисного провідника, роль якого виконує земля (рис. 6.2). При замиканні фази на корпус по колу, що утворилося через землю, буде проходити електричний струм

$$I_3 = \frac{U_\phi}{r_0 + r_k},$$

де U_ϕ – фазна напруга мережі;

r_0, r_k – опори заземлення нейтралі й корпусу.

Опори обмоток джерела струму (наприклад, трансформатора, що живить дану мережу) і проводів мережі малі в порівнянні з r_0 і r_k , тому їх у розрахунок не приймаємо. У результаті протікання струму через опір r_k у землю на корпусі виникає напруга щодо землі U_k, V , рівна спаду напруги на опорі r_k :

$$U_k = I_3 \cdot r_k = \frac{U_\phi \cdot r_k}{r_k + r_0}.$$

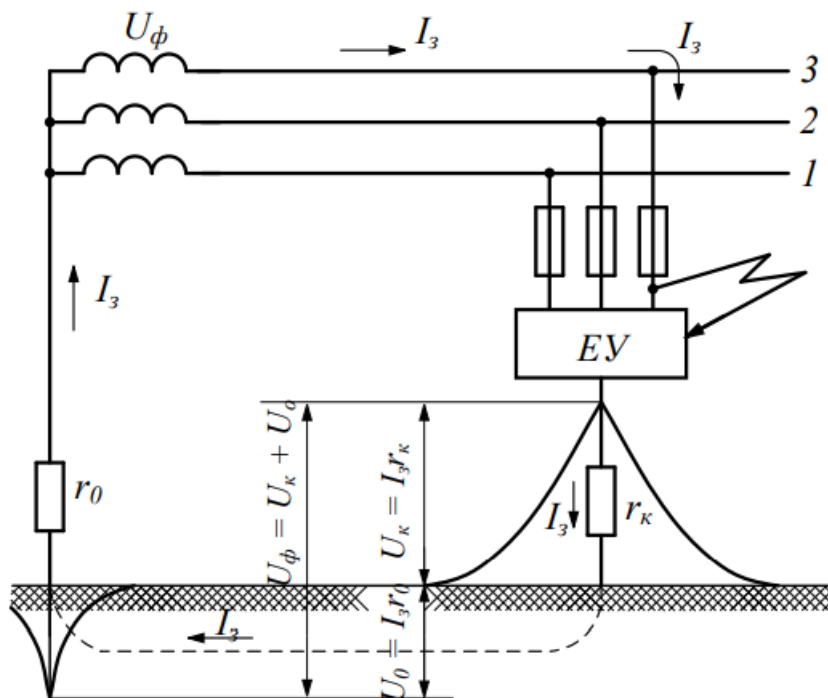


Рис. 6.2. Схема трифазної мережі напругою до 1000 В з заземленою нейтраллю

Струм I_3 може виявитися недостатнім, щоб викликати спрацьовування максимального струмового захисту, тобто установка може не відімкнутися. Якщо при цьому струм спрацьовування захисту більше I_3 , то відмикання не відбудеться й корпус буде перебувати під напругою доти, поки установку не вимкнуть вручну. Безумовно, таке положення неприпустимо, оскільки при цьому виникає загроза ураження струмом людей, що торкнулися до корпусу ушкодженого устаткування або до металевих предметів, які мають з'єднання із цим корпусом. Щоб усунути цю

небезпеку, треба забезпечити швидке автоматичне відмикання установки, тобто збільшити струм, який проходить через захист, що досягається зменшенням опору кола цього струму шляхом введення в схему нульового захисного провідника. Отже, призначення нульового захисного провідника в схемі занулення – забезпечити необхідне для вимкнення установки значення струму однофазного короткого замикання шляхом створення для цього струму кола з малим опором. Зі сказаного випливає також, що в трифазній трипроводовій мережі напругою до 1000 В з заземленою нейтраллю неможливо забезпечити безпеку при замиканні фази на корпус, тому така мережа застосовуватися не повинна.

Призначення заземлення нейтралі

Розглянемо мережу з ізольованою нейтраллю обмоток джерела струму, яка не має повторного заземлення нульового захисного провідника. В цій мережі занулення забезпечить відмикання ушкодженої установки так само надійно, як і в мережі із заземленою нейтраллю. Із цього погляду режим нейтралі мовби не має значення. Однак при випадковому замиканні фази на землю (рис. 6.3, а), що може відбутися в результаті обриву й падіння на землю проводу, замиканні фази на неізолюваний від землі корпус і т.п. земля набуває потенціалу фази, і між зануленим устаткуванням, яке має нульовий потенціал, і землею виникає напруга U_k , близька за значенням до фазної напруги мережі U_ϕ . Ця напруга буде існувати до відмикання всієї мережі вручну або до ліквідації замикання на землю, тому що максимальний струмовий захист при цьому пошкодженні не спрацює. Безумовно, зазначене положення досить небезпечно. У мережі із заземленою нейтраллю при такому пошкодженні маємо зовсім інше, практично безпечне положення. У цьому випадку U_ϕ розділиться пропорційно опорам замикання фази на землю $r_{зм}$ і заземленню нейтралі r_0 (рис. 6.3, б), завдяки чому U_k зменшиться й буде дорівнювати спаду напруги на опорі заземлення нейтралі:

$$U_k = I_{зм} \cdot r_0 = \frac{U_\phi \cdot r_0}{r_{зм} + r_0},$$

де $I_{зм}$ – струм замикання на землю.

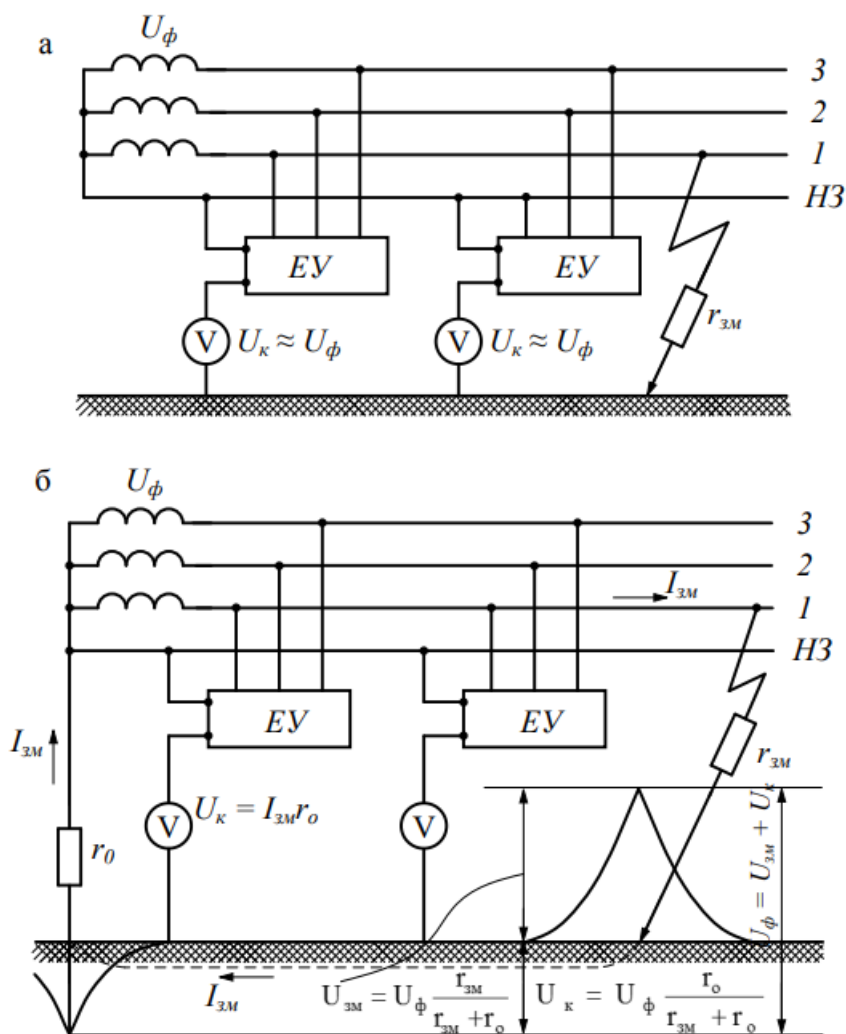


Рис. 6.3. Випадок замикання фази на землю в трифазній чотирипровідній мережі з ізолюваною (а) і заземленою (б) нейтраллю обмоток джерела струму

Як правило, опір $r_{зМ}$, що чинить ґрунт струму при випадковому замиканні фази на землю, у багато разів більше опору спеціально виконаного заземлення нейтралі r_0 . Тому U_k виявляється незначним.

Таким чином, призначення заземлення нейтралі обмоток джерела струму, що живить мережу напругою до 1000 В, – зниження напруги занулених корпусів (а отже, нульового захисного провідника) щодо землі до безпечного значення при замиканні фази на землю. Із сказаного впливає ще один висновок: електрична мережа напругою до 1000 В з нульовим захисним провідником, ізолювана від землі, тобто з ізолюваною нейтраллю обмоток джерела струму й без повторних заземлень нульового захисного провідника, приховує небезпеку ураження струмом і тому застосовуватися не повинна.

Призначення повторного заземлення нульового захисного провідника

Повторне заземлення нульового захисного провідника практично не впливає на вимикаючу здатність схеми занулення, і в цьому значенні без нього можна обійтися. Однак при відсутності повторного заземлення нульового захисного провідника виникає небезпека для людей, що доторкаються до зануленого

устаткування в період, поки існує замикання фази на корпус. Крім того, у випадку обриву нульового захисного провідника й замикання фази на корпус за місцем обриву ця небезпека різко підвищується, оскільки напруга відносно землі обірваної ділянки нульового проводу й приєднаних до нього корпусів може досягати фазної напруги мережі. Розглянемо обидва ці випадки. При замиканні фази на корпус у мережі, що не має повторного заземлення нульового захисного провідника (рис. 6.4), ділянка нульового захисного провідника, що знаходиться за місцем замикання, і всі приєднані до нього корпуси опиняться під напругою відносно землі U_n , рівною

$$U_n = I_k \cdot z_{н.з}, \quad (6.1)$$

де I_k – струм короткого замикання, що проходить по петлі фаза-нуль;

$z_{н.з}$ – повний опір ділянки нульового захисного провідника, що обтікається струмом I_k (тобто ділянки АВ):

$$z_{н.з} = \sqrt{R_{н.з}^2 + X_{н.з}^2},$$

де $R_{н.з}$ і $X_{н.з}$ – активний і внутрішній індуктивний опори нульового захисного провідника (ділянки АВ).

На іншій ділянці нульового захисного провідника (ближче до джерела енергії) напруга буде змінюватися від U_n до 0 по прямій лінії (рис. 6.4). Ці напруги будуть існувати протягом аварійного періоду, тобто з моменту замикання фази на корпус до автоматичного відмикання від мережі пошкодженої установки.

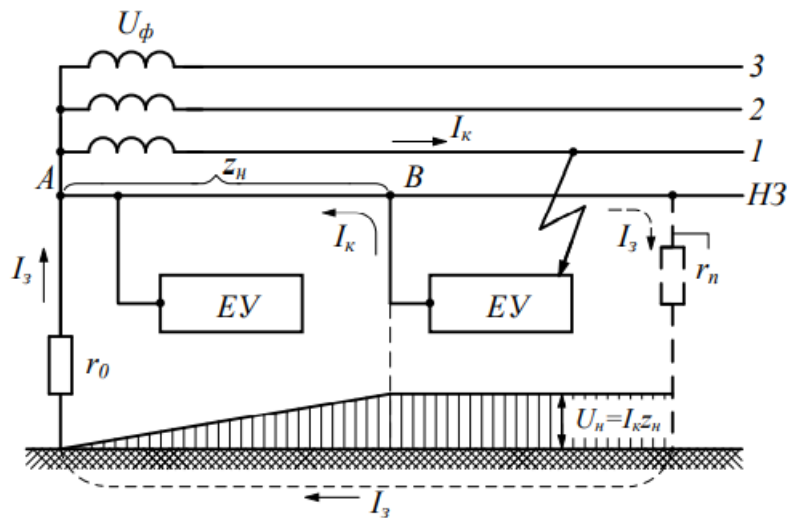


Рис. 6.4. Замикання на корпус у мережі, що не має повторних заземлень нульового захисного провідника

Якщо для спрощення знехтувати опором обмоток джерела струму й індуктивним опором петлі фаза-нуль, а також вважати, що фазний і нульовий

захисний провідники мають лише активні опори R_{ϕ} , $R_{н.з}$, то вираз (6.1) набуде вигляду

$$U_{н} = I_{к} \cdot R_{н.з} = \frac{U_{\phi} \cdot R_{н.з}}{R_{\phi} + R_{н.з}} . \quad (6.2)$$

Якщо прийняти $R_{н.з} \leq 2 R_{\phi}$ (що звичайно має місце в практичних умовах), то $U_{н} \geq 2/3 U_{\phi}$. Очевидно, що при цьому створюється реальна загроза ураження людей електричним струмом. Якщо нульовий захисний провідник буде мати повторне заземлення з опором $r_{п}$ (на рис. 6.4 це заземлення показане пунктиром), то $U_{н}$ знизиться до значення

$$U_{н} = I_{з} \cdot r_{п} = \frac{U_{AB} \cdot r_{п}}{r_{п} + r_0} ,$$

де $I_{з}$ – струм, що стікає в землю через опір $r_{п}$;

U_{AB} – спадання напруги в нульовому захисному провіднику на ділянці АВ;

r_0 – опір заземлення нейтралі джерела струму.

Цю напругу можна без великих витрат зменшити до припустимого значення, зменшивши $r_{п}$ за рахунок збільшення кількості повторних заземлень. Отже, повторне заземлення нульового захисного провідника знижує напругу на занулених корпусах у період замикання фази на корпус. При випадковому обриві нульового захисного провідника й замиканні фази на корпус за місцем обриву (при відсутності повторного заземлення) напруга відносно землі ділянки нульового захисного провідника за місцем обриву й всіх приєднаних до нього корпусів, у тому числі корпусів справних установок, виявиться близькою за значенням фазній напрузі мережі (рис. 6.5, а). Ця напруга буде існувати довгостроково, оскільки пошкоджена установка автоматично не вимкнеться і її буде важко виявити серед справних установок, щоб вимкнути вручну. Якщо ж нульовий захисний провідник буде мати повторне заземлення, то при обриві його збережеться коло струму $I_{з}$ через землю (рис. 6.5, б), завдяки чому напруга занулених корпусів, що перебувають за місцем обриву, знизиться до напруги

$$U_n = I_3 \cdot r_n = \frac{U_\phi \cdot r_n}{r_n + r_0}.$$

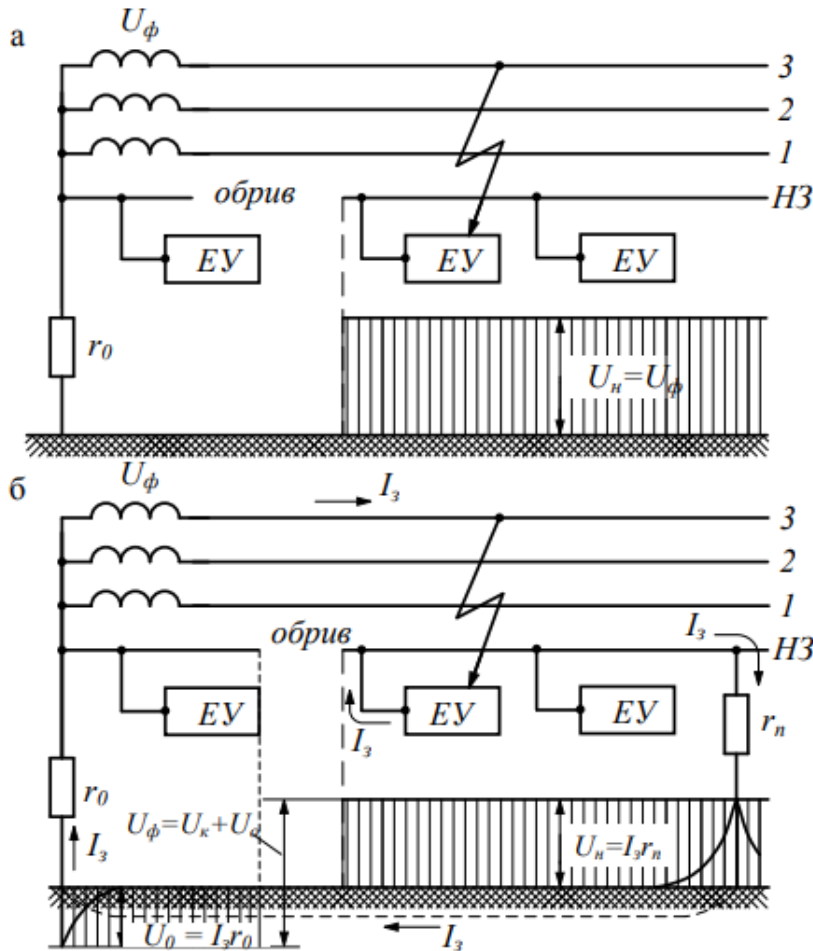


Рис. 6.5. Замикання на корпус при обриві нульового захисного провідника: а – у мережі без повторного заземлення нульового захисного провідника; б – у мережі з повторним заземленням нульового захисного провідника

При цьому, однак, корпуси установок, приєднаних до нульового захисного провідника до місця обриву, набудуть напруги щодо землі

$$U_n = I_3 \cdot r_0 = \frac{U_\phi \cdot r_0}{r_n + r_0},$$

де r_0 – опір заземлення нейтралі джерела струму.

У окремому, найбільш сприятливому випадку, коли $r_n = r_0$, всі установки, приєднані до нульового захисного провідника, як до місця обриву, так і після нього, будуть знаходитися під однаковою напругою.

$$U_n = U_0 = 0,5 \cdot U_\phi.$$

Отже, повторне заземлення нульового захисного провідника значно зменшує небезпеку ураження струмом, що виникає в результаті обриву нульового захисного провідника й замикання фази на корпус за місцем обриву, але не може усунути її повністю, тобто не може забезпечити тих умов безпеки, які існували до обриву. У зв'язку із цим потрібне ретельне прокладання нульового захисного провідника, щоб виключити можливість його обриву; у нульовому захисному провіднику забороняється ставити вимикачі, запобіжники й інші прилади, здатні порушити його цілісність. Таким чином, призначення повторного заземлення нульового захисного провідника – зниження напруги відносно землі занулених конструкцій у період замикання фази на корпус як при справній схемі занулення, так і у випадку обриву нульового захисного провідника. Без повторного заземлення напруга нульового захисного провідника може досягати неприпустимих значень, тому така схема занулення застосовуватися не повинна.

Вимірювання опору петлі фаза-нуль

Петля фаза-нуль – це ділянка електричного кола, яка включає до свого складу частину нульового захисного провідника (від споживача до нейтральної точки генератора), обмотку генератора, частину фазного проводу (від споживача до обмотки генератора, включаючи запобіжник і корпус установки).

Вимірювання опору петлі фаза-нуль проводиться на найбільш потужних електроприймачах, а також найбільш віддалених від джерела струму. Опір петлі фаза-нуль вимірюється для визначення дійсної величини повного опору цієї петлі. Опір петлі фаза-нуль повинен бути таким, щоби струм однофазного короткого замикання був достатнім для швидкого відмикання пошкодженої електроустановки від мережі. При вимірюваннях устаткування, що випробується, від'єднується від мережі та робиться штучне замикання одного фазного проводу на корпус електроприймача. Вимірювання проводиться на змінному струмі від знижувального трансформатора з вихідною напругою 36 В (12 В). Для вимірювання рекомендується схема, яка наведена на рис. 6.6. Для вимірювання необхідні однофазний знижувальний трансформатор Т, реостат R, вимикачі В1 та В2, амперметр, вольтметр й провідники.

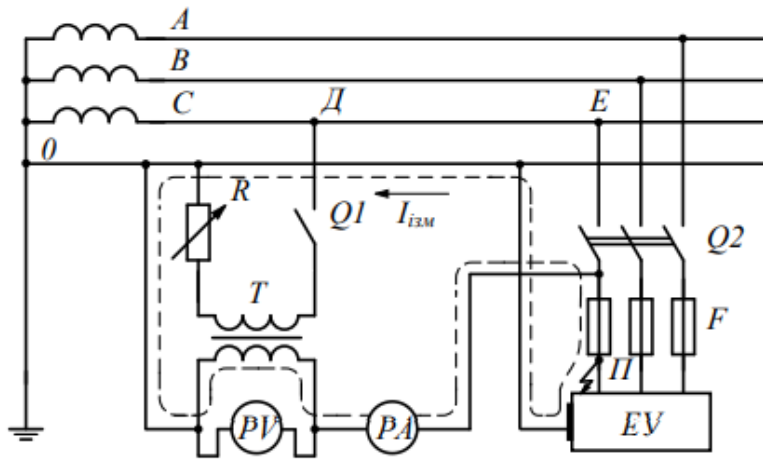


Рис. 6.6. Схема вимірювання електричного опору петлі фаза-нуль: Т – трансформатор напруги з вихідною напругою 36 В (12 В); R – реостат; В1 і В2 – вимикачі; П – тимчасова перемичка; Н – навантаження приймача електроенергії

Один вивід вторинної обмотки трансформатора Т приєднується до нульового захисного провідника (для підвищення точності вимірювань цей провід повинен бути якомога коротшим), другий – до одного з фазних проводів, що йде до електроприймача після вимикача В2 (вимикач В2 вимкнений). Фазний провід й корпус електроприймача з'єднуються надійною перемичкою П, яка імітує замикання на корпус. Після вмикання вимикача В1 реостатом R встановлюється струм, достатній для відліку показів вольтметра й амперметра. Частка від ділення цих показів буде повним опором петлі фаза-нуль:

$$Z'_n = \frac{U}{I}.$$

Отримане значення Z'_n повинно бути арифметично складене з розрахунковим значенням повного опору однієї фази живильного трансформатора $Z_T/3$. Повний опір петлі фазовий провід – нульовий провід – фаза трансформатора визначається з виразу

$$Z_n = Z'_n + \frac{Z_T}{3},$$

де Z_T – повне розрахункове значення опору живильного трансформатора, що наводиться в довідниках.

Для електроприймачів, що живляться від силових трансформаторів потужністю понад 560 кВА, при визначенні опору петлі значення Z_T можна не враховувати як величину відносно малу в порівнянні з Z'_n . Слід зазначити, що при вимірюванні не враховується опір фазного проводу на ділянці ДЕ. Однак це

компенсується тим, що в результат вимірювань входить опір допоміжних проводів, які з'єднують вторинну обмотку трансформатора з мережею