
РОЗДІЛ 15

ЗАЗЕМЛЕННЯ

І ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ

429

15.1. Призначення заземлювальних пристроїв

Внаслідок появи на ізоляторах або між обмоткою й корпусом вологи й пилу на корпусах генераторів, трансформа-

торів, електричних машин, апаратів і приладів може виникнути напруга. Більшість із таких замикань із часом проходить безслідно. Наприклад, під час роботи електродвигуна волога випаровується й ізоляція підновлюється. Іноді потенціал, що виникає на корпусі, може зберігатися тривалий час. Так, стійким буде потенціал на корпусі машини у разі порушення ізоляції однієї з фаз. У цьому випадку він становить велику небезпеку для обслуговочного персоналу.

Дотикання до такого корпусу може призвести до смертельного ураження.

Внаслідок ємнісного зв'язку із землею, людина (рис. 15.1) вмикається в коло: замкнута на корпус фаза – тіло людини – земля – ємність між землею та іншими фазами і

опір їх ізоляції. Ураження буде смертельним, якщо через тіло людини проходить струм, більший за 0,05 А. Цей струм ви-

значається напругою кола і його загальним опором (опір тіла людини залежно від вологості шкіри, стану нервової системи та деяких інших факторів коливається від 800 до 100 000 Ом).

Для прикладу розглянемо електростанцію електростригального агрегату. Обмотки генератора з'єднані в трикутник. Мережа електростригального агрегату виконується шланговим проводом і має великий ємнісний зв'язок із землею.

У разі заземленого корпусу апарата, електричної машини чи приладу (рис. 15.1а) струм розгалужується на два паралельні кола: через опір заземлення I_z і через тіло людини

Л. Внаслідок різкого зменшення опору цих двох паралельних кіл порівняно з опором тіла людини (рис. 15.1б) відбудеться перерозподіл спаду напруги між цими

опором зв'язку з землею, що значно зменшить струм через

тіло людини. Через тіло людини проходитиме струм у стільки разів менший від струму через заземлення, у скільки опір заземлення менший від опору тіла людини. Таке заземлення, яке називається *захисним*, зменшує потенціал на корпусах та інших металевих неструмопровідних частинах до безпечного значення.

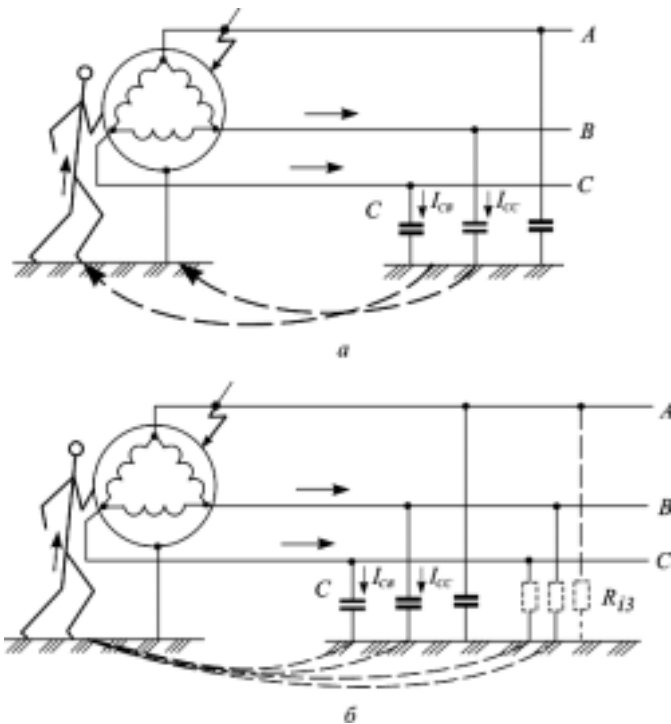


Рис.

15.1. Розподіл струму у разі дотикання людини до заземленого (а) і незаземленого (б) корпусу електроустановки

Заземлення нульової точки генератора, трансформатора, розрядників й інші заземлення, передбачені схемою роботи електроустановки в нормальному режимі, називають *робочими*.

15.2. Розподіл потенціалу і розтікання струму в землі від заземлювача

Заземлювальний пристрій складається із заземлювачів (металевого стержня, проводу, штаби тощо) і заземлювальних провідників. Заземлювач безпосередньо стикається з ґрунтом, а заземлювальні провідники з'єднують із заземлювачами ті елементи електричних установок, що заземлюються. Найчастіше використовують контур заземлення, який складається з кількох заземлювачів, з'єднаних між собою штабою або проводом.

Основною характеристикою контуру заземлювання є *опір розтікання струму* r_z , який визначає опір ґрунту в об'ємі між заземлювачем і поверхнею нульового потенціалу:

$$U_z = I_z r_z \quad (15.1)$$

де U_z – напруга на заземлювачі відносно землі з нульо-

вим потенціалом під час проходження струму розтікання I_3 . Знехтувавши опором заземлювача, можна вважати, що повний опір контуру заземлення дорівнює опору розтіканню струму.

Розглянемо характеристику заземлення на прикладі розтікання струму в землі від одного заземлювача (рис. 15.2).

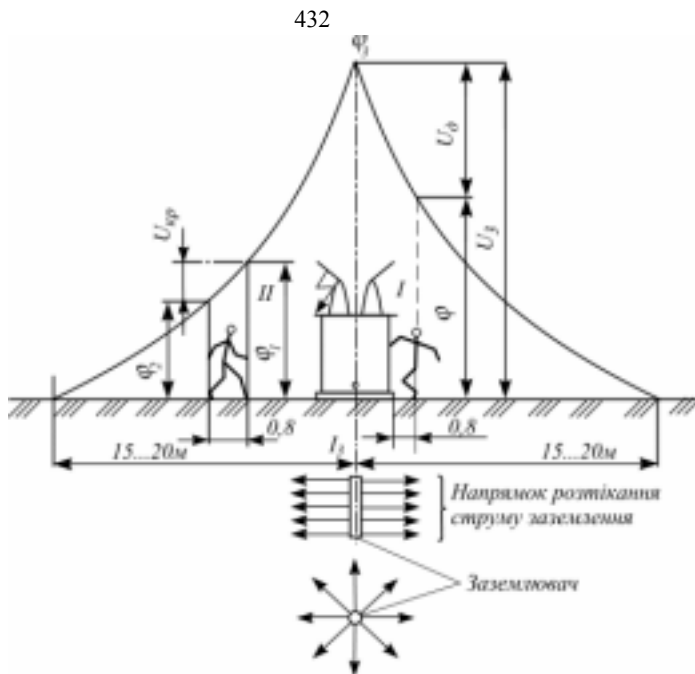


Рис. 15.2. Розтікання струму в землі від заземлювача

Якщо через заземлення проходить струм, то між будь-якими двома точками, взятими у радіальному напрямку від заземлювача, він створює спад напруги $U = IR$, де R – опір ділянки між взятими точками. Якщо провідність землі в усіх напрямках однакова, то й струм розтікання в усі боки від за-

землювача буде однаковим. Щільність струму в землі у разі віддалення від заземлювача зменшується, оскільки сферичні поверхні, якими проходить струм, весь час збільшується. Відповідно й потенціали відповідних точок на поверхні землі також зменшуються. Найвищий потенціал спостерігається в точці, що відповідає заземлювачу. З віддаленням від нього потенціал різко зменшується і на відстані 20 м практично до-

433

рівнює нулю. Якщо людина, що стоїть на землі, перебуває під потенціалом $\varphi_1 (I)$, то, дотикаючись рукою до елементів електроустановки з потенціалом φ_2 , вона потрапить під напругу, яка дорівнює різниці цих потенціалів. Ця напруга називається *напругою дотику* (U_d). У разі наближення до заземленого елемента обладнання, що перебуває під напругою, ноги людини будуть перебувати під різними потенціалами φ_1 і $\varphi_2 (II)$. Різниця цих потенціалів називається *кроковою напругою* ($U_{кр}$). Вона буде тим більшою, чим ближче до заземлення знаходиться людина і чим більший її крок. Вважають, що в середньому крок дорівнює 0,8 м. Таку ж відстань беруть, визначаючи напругу дотику.

15.3. Вимоги до заземлювальних пристроїв

У разі дотику людини до струмопровідних частин електроустановки, які перебувають під напругою, а також до металевих частин, які опиняються під напругою в результаті пошкодження ізоляції, може бути ураження людини електричним

струмом у вигляді електричного удару або електричної травми (опік тощо). Як результат електричного удару в людини можуть настати су-
доми, втрата свідомості, зупинитися дихання і кровообіг, а за 12 В і більше може настати смерть.

Щоб виключити випадковий дотик людини до голих струмопроводів, необхідно встановити огорожу або розмішувати струмопроводи на певній висоті. Крім цього, в електричних установках безпека людей забезпечується спорудженням заземлення або занулення, які мають задовольняти вимогам, що впливають з режиму роботи електромережі і захисту від перенапруги.

У мережах із глухим заземленням нейтралі здійснюють занулення, а в межах з ізолюваною нейтраллю – заземлення. У чотирипровідних мережах трифазного струму викорис-

434

товують *глухе заземлення нейтралі*.

Для установок напругою понад 1000 В з ізолюваною нейтраллю, для яких напруга на заземлювачі не має перевищувати 250 В, опір заземлення (Ом) визначають з нерівності:

$$R \leq \frac{250}{I} \quad (15.2)$$

I

3

Якщо заземлювальний пристрій одночасно використовують і для електроустановок напругою менше 1000 В, то:

$$R \leq \frac{125}{I} \quad (15.3)$$

I

3

За розрахунковий струм замикання на землю I_z беруть найбільший можливий струм через заземлення. В установках з незаземленою нейтраллю беруть ємнісний струм однополюсного замикання на землю.

У системі електропередачі з використанням землі як фазового проводу напрута на заземленні не має перевищувати 50 В. Опір заземлення із цієї системи визначається за нерівністю:

$$R \leq \frac{50}{I_z} \quad (15.4)$$

$$I_z \leq I_{p, \max}$$

де $I_{p, \max}$ – максимальний робочий струм заземлення, А. В електроустановках напругою від 110 до 750 кВ заземлювальний пристрій повинен мати опір не більше 0,5 Ом. За питомого опору "землі" $\rho > 500$ Ом·м допускається збільшення опору заземлення залежно від ρ .

Опір заземлювальних пристроїв, до яких приєднано нейтралі генераторів і трансформаторів, має бути не більше 2 Ом в установках напругою 660/380 В, 4 Ом для електроустановок 380/220 В і 8 Ом для електроустановок 220/127 В.

435

Ці норми необхідно забезпечити з урахуванням природних заземлювачів, а також повторних заземлень нульового

проводу повітряних ліній напругою до 1000 В за кількості відхідних ліній не менше двох. При цьому штучне заземлення, до якого приєднують нейтраль генераторів і трансформаторів, повинно мати опір не більше: 15 Ом для електроустановок 660/380 В, 30 Ом для електроустановок 380/220 В і 60 Ом для електроустановок 220/127 В, якщо не вимагається меншо-

го опору за умовами грозозахисту.

Якщо питомий опір землі $\rho > 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, то допускається збільшення опорів заземлювальних пристроїв в $\rho/100$ разів, але не більше, чим в десять разів. Опір заземлення в електроустановках з ізолюваною нейтраллю за напруги до 1000 В не має перевищувати 10 Ом.

15.4. Літерні позначення типу системи заземлення

Для креслення електричних схем електроустановок напругою до 1000 В згідно з вимогами МЕК встановлено літерні та умовні графічні позначення типу системи заземлення.

В умовному літерному позначенні типу системи заземлення використовують такі літери:

- перша літера, що визначає стан нейтралі джерела живлення відносно землі:

T - заземлена нейтраль; **I** - ізолювана нейтраль;

- друга літера, що визначає стан відкритих провідникових частин відносно землі:

T - відкриті частини заземлені незалежно від відношення до землі нейтралі джерела живлення або будь-якої іншої точки мережі живлення;

436

N - відкриті провідникові частини, приєднані до глухо-заземленої нейтралі джерела живлення;

- наступні (після літери **N**) літери, що визначають су-міщення в одному провіднику або розділення функцій нульового робочого і нульового захисного провідників:

S - нульовий робочий (N) і нульовий захисний (PE) провідники розділені;

S - функції нульового робочого і нульового захисного провідників, суміщені в одному провідникові (PEN — провід-ник).

Використовуються такі умовні позначення:

N

– нульовий робочий (нейтральний) провідник;

PE – нульовий захисний провідник;

PEN - суміщений нульовий робочий і нульовий захис-ний провідники.

Приклади використання вищеназваних літерних і гра-фічних позначень і коротку характеристику основних систем заземлення наведено в табл. 15.1. Цифрами позначено: 1 – заземлювач нейтралі (середньої точки) джерела живлення; 2 – відкриті провідникові частини; 3 – заземлювач відкритих про-відникових частин.

Таблиця 15.1

Типи системи заземлення

Схема	Характеристика
1	2
Система TN-C	
	Нульовий робочи й і нульовий захисни й провідники, сумі- щені в одному п ро- відникові

1	2
Система TN-S	
	Нульовий робочий і нульовий захисний провідники розділені
Система TN-C-S	
	Нульовий робочий і нульовий захисний провідники, суміщені в одному провіднику в певній частині системи
Система TT (варіант 1)	
	Відкриті провідники частини електроустановки, заземлені за допомогою заземлення, що електрично не залежить від заземлю

	ва- ча нейтралі
<i>Система TT (варіант 2)</i>	
	Відкриті провідні- кові частини електроустановки, заземлені за допомогою заземлення, що електрично не залежить від заземлювача нейтралі