

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра охорони праці, промислової
та цивільної безпеки

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5 (РТФ, ІТС)
з дисципліни «Охорона праці та цивільний захист»

Тема роботи:

«Захисне заземлення в електроустановках»

Укладач: канд. техн. наук, доцент Каштанов Сергій Федорович
Затверджено на засіданні кафедри ОПЦБ протокол № 1 від 30.08.2018 р.

Теоретичні положення

Захисне заземлення, основні терміни та визначення

Вимоги до захисного заземлення в електроустановках регламентуються ПУЕ та ГОСТ 12.1.030-81 «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление».

Заземлення – це виконання електричного з'єднання між визначеною точкою системи, установки, обладнання і локальною землею.

З'єднання з локальною землею може бути навмисним, ненавмисним і виадковим; а також постійним і тимчасовим.

Заземлення в електроустановках (ЕУ) може бути: захисним і функціональним (робочим).

Захисне заземлення (ЗЗ) – це заземлення точки або точок системи, установки або обладнання з метою забезпечення електробезпеки. Найчастіше - це заземлення корпусів ЕУ.

Функціональне (ФЗ) заземлення – це заземлення точки або точок системи, установки або обладнання з метою, що не обов'язково пов'язана з електробезпекою. Найчастіше - це заземлення нейтральної або середньої точки джерела живлення (ДЖ) або заземлення з метою забезпечення електромагнітної сумісності.

Згідно ПУЕ прийняті відповідні типи систем заземлення в ЕУ напругою до 1 кВ.

Тип системи заземлення – це показник, який характеризує влаштування нейтрального провідника (N) або провідника середньої точки (M) і з'єднання з землею струмовідних частин ДЖ та відкритих провідних частин в ЕУ напругою до 1 кВ.

Відповідно до ГОСТ 30321.2 прийнято дволітерне позначення типів системи заземлення:

T – безпосереднє приєднання однієї точки струмовідних частин ДЖ до ЗП; у трифазних електромережах (ЕМ) – це найчастіше нейтраль або фазний провідник, середня точка або один з полюсів двопровідних мереж змінного чи постійного струму;

I – всі струмовідні частини ДЖ ізолювано від землі або одну точку заземлено через великий опір (наприклад, прилади контролю ізоляції).

Друга літера означає характер заземлення відкритих провідних частин ЕУ:

N – безпосередній зв'язок відкритих провідних частин ЕУ з точкою заземлення ДЖ;

T – безпосередній зв'язок відкритих провідних частин із землею незалежно від характеру зв'язку ДЖ із землею.

У системах заземлення прийнято наступні провідники:

N-провідник – це нейтральний провідник в ЕУ до 1 кВ, електрично з'єднаний з нейтральною точкою ДЖ, що використовується для розподілення електричної енергії (умовне позначення на схемах – рис.1,а);

M-провідник – провідник середньої точки – це провідник в ЕУ до 1 кВ, який електрично пов'язаний з середньою точкою ДЖ і використовується для розподілення електричної енергії (умовне позначення на схемах – рис.1,а);

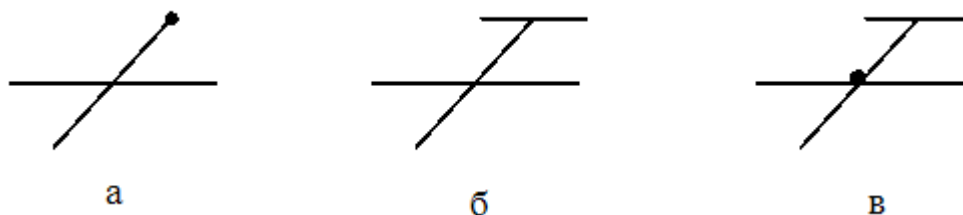


Рис. 1. Умовне позначення провідників у системах заземлення:
а – N, M – провідників; б – PE – провідників; в – PEN – провідників

PE-провідник – це захисний провідник в ЕУ до 1 кВ, призначений для захисту від ураження електричним струмом (умовне позначення на схемах – рис.1,б).

PEN-провідник – провідник в ЕУ до 1 кВ, який поєднує в собі функції захисного (PE-) і нейтрального (N-) провідників (умовне позначення на схемах – рис.1,в).

Класифікація систем заземлення

Згідно ПУЕ прийнято такі позначення типу систем заземлення:

система TT – це система, одну точку струмовідних частин ДЖ якої заземлено, а відкриті провідні частини ЕУ з'єднано із заземлювачем, електрично незалежним від заземлювача, до якого приєднано точку струмовідних частин ДЖ (рис 2,а);

система IT – це система, в якій мережу живлення ізолювано від землі чи заземлено через прилади і/або пристрої, що мають великий опір, а відкриті провідні частини ЕУ приєднано до захисного PE-провідника (рис.2,б);

система TN – це система, в якій мережа живлення має глухе заземлення однієї точки струмовідних частин ДЖ, а електроприймачі і відкриті провідні частини ЕУ приєднуються до цієї точки за допомогою відповідно N- або М- і РЕ-або PEN-провідників (рис.2,в).

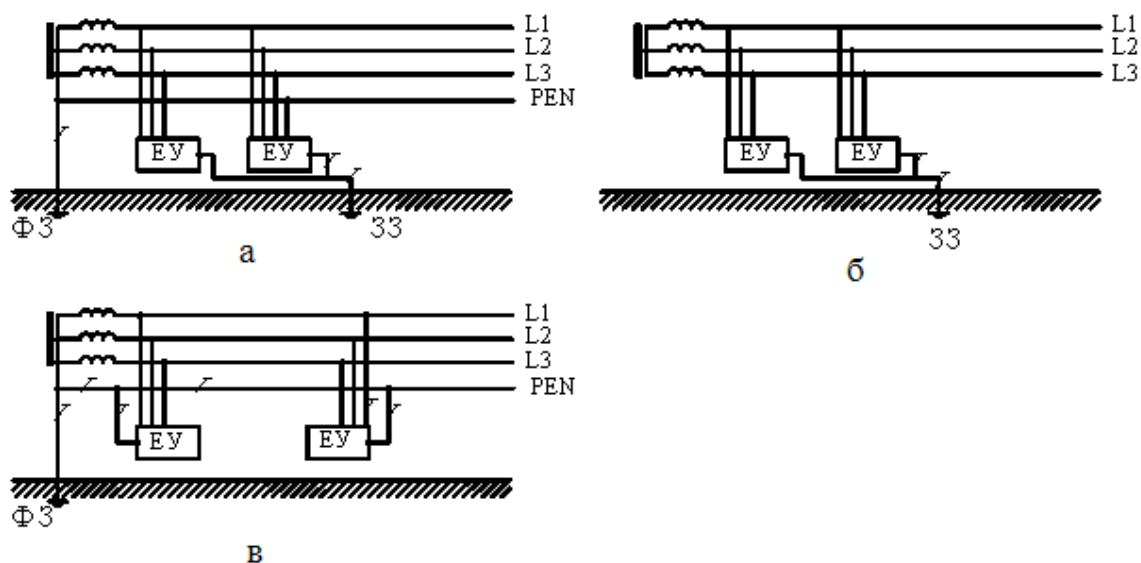


Рис.2. Схеми систем заземлення в ЕУ напругою до 1 кВ:
а – типу TT; б – типу IT; в – типу TN;
 ФЗ – функціональне заземлення; ЗЗ – захисне заземлення

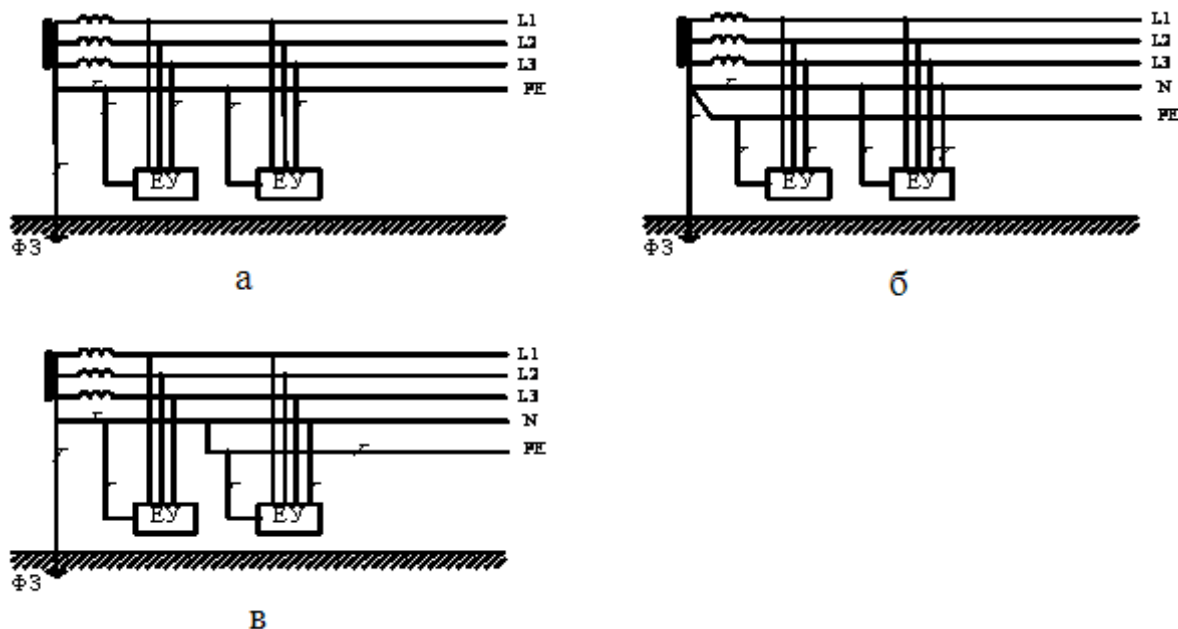


Рис.3. Схеми підсистем захисного заземлення системи TN в ЕУ напругою до 1 кВ:
а – підсистеми TN-C; б – підсистеми TN-S; в – підсистеми TN-C-S

Системи заземлення TN поділяють на такі підсистеми (рис.3):

підсистема TN-C – це система TN, в якій N- або M- і PE-провідники поєднано в одному PEN-провіднику по всій мережі (рис.3,а);

підсистема TN-S – це система TN, в якій N- або M- і PE-провідники розділені по всій мережі (рис.3,б);

підсистема TN-C-S – це система TN, в якій N- або M- і PE-провідники поєднані в одному провіднику у частині мережі, починаючи від ДЖ (рис.3,в).

Захисна дія захисних заземлень

Захисна дія захисних заземлень (ЗЗ) полягає у захисті від напруги дотику до струмовідних частин, тобто напруги на металевих корпусах ЕУ відносно землі у випадку пошкодження ізоляції.

Захисна дія ЗЗ у мережах з ізолюваною нейтраллю ДЖ. Розглянемо схему захисного заземлення у мережі з ізолюваною нейтраллю (рис. 4). Тип системи заземлення IT.

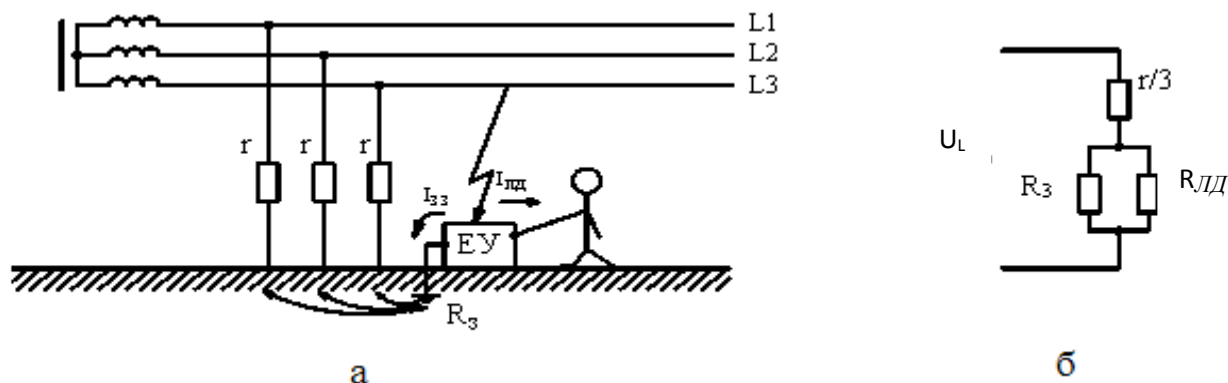


Рис.4. Схема захисного заземлення у мережі з ізолюваною нейтраллю ДЖ (система IT):

а – схема електрична; б – схема еквівалентна;

r – опір витоку фазних проводів ЕМ; R_з – опір заземлюючого пристрою; R_{ЛД} – опір людини; I_{зз} – струм замикання на землю; I_{ЛД} – струм через людину; U_L – фазна напруга.

Розглянемо спочатку дотик до незаземленого корпусу ЕУ при її аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції). Цей випадок буде аналогічний однофазному дотику до фазного проводу ЕМ, і сила струму, що протікає через людину, у цьому випадку визначається за наступною формулою:

$$I_{ЛД} = U_L / (R_{ЛД} + r/3). \quad (1)$$

Сила цього струму залежить, в основному, від величини $(r/3)$, яка перевищує 10^5 Ом, тоді як величина $R_{ЛД}$ складає всього 10^3 Ом.

У випадку дотику людини до заземленого корпусу (рис.4) сила струму, що протікатиме через людину, визначається за наведеною нижче формулою:

$$I_{ЛД} = U_L / [R_{ЛД} + r/3 + r \cdot R_{ЛД} / (3 \cdot R_3)]. \quad (2)$$

І сила цього струму визначається величиною третього доданку у дільнику: $\frac{rR_{ЛД}}{3R_3}$, який має порядок 10^7 . Якщо порівняти сили цих струмів /формули (1) та (2)/, то можна зробити висновок, що сила струму, що протікає через людину у випадку дотику до заземленого корпусу, буде набагато (на два порядки) менше, ніж у випадку прямого дотику до фазного провідника.

А щоб сила цього струму була якомога меншою, треба щоб третій доданок у дільнику формули (2) був якомога більшим і це може бути забезпечено за умови максимального зменшення опору захисного заземлення (R_3). Тобто, для підвищення рівня безпеки необхідно виконувати захисні заземлення з якомога меншим еквівалентним опором.

Розглянемо цю схему (рис.4) з іншого боку – ближче до еквівалентної (рис.4,б). У мережах з ізолюваною нейтраллю ДЖ сила струму замикання на землю визначається залежністю:

$$I_{ЗЗ} = U_L / (r/3) \quad (3)$$

Напруга на корпусі пошкодженої ЕУ буде:

$$U_K = I_{ЗЗ} R_3 \quad (4)$$

Дотик людини (з опором 10^3 Ом) до корпусу ЕУ практично не впливає ані на силу струму замикання на землю, ані на напругу на корпусі ЕУ, (U_K). Тому силу струму, що протікає через тіло людини, можна приблизно визначити з такої залежності:

$$I_{ЛД} = U_K / R_{ЛД} = I_{ЗЗ} R_3 / R_{ЛД} \quad (5)$$

З цієї залежності ми отримуємо той самий висновок: *сила струму, який протікає через людину, прямо пропорційна опором захисного заземлення*. Таким чином, можна сказати, що завжди є можливість підібрати таке невелике значення R_3 , що за даного значення через людину буде протікати безпечний струм. Виходячи з цього, основна вимога до захисних заземлень в ЕУ, що живляться від ЕМ з ізолюваною нейтраллю має вигляд:

$$U_K = I_{ЗЗ} R_3 \leq U_{Дот.доп} \quad (6)$$

На основі цього можна зробити наступні висновки:

– ЗЗ (тип системи заземлення IT) є ефективним засобом захисту в ЕМ з ізолюваною нейтраллю ДЖ напругою як до, так і понад 1 кВ;

– захисна дія ЗЗ в ЕМ з ізольованою нейтраллю полягає у можливості зменшення напруги дотику (корпус ЕУ – земля) до безпечних рівнів ($U_K < U_{\text{дот.доп}}$) без автоматичного відключення ДЖ (відповідно до ГОСТ 12.1.038-82 $U_{\text{дот.доп}} = 36 \text{ В}$).

Захисна дія ЗЗ у мережах із заземленою нейтраллю ДЖ. Розглянемо схему захисного заземлення для ЕМ із заземленою нейтраллю ДЖ при застосуванні системи заземлення типу ТТ - сполучення ЕУ з окремим заземлювачем (рис.4).

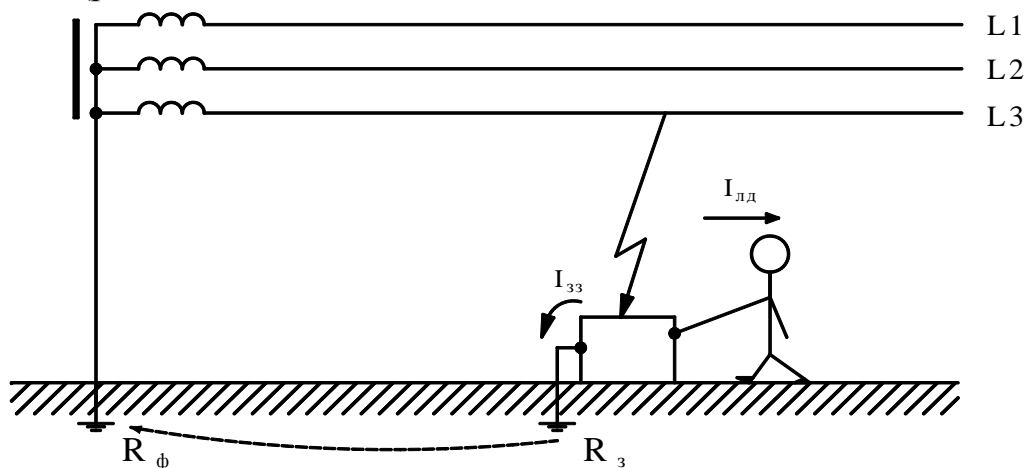


Рис.4. Схема захисного заземлення у мережі із заземленою нейтраллю ДЖ (система ТТ)

У цьому випадку сила струму, що протікає через людину, також, як і в попередньому випадку /див. формулу (5)/, залежить від напруги на корпусі пошкодженої ЕУ відносно землі і визначається як:

$$I_{\text{лд}} = U_K / R_{\text{лд}} = I_{\text{зз}} R_з / R_{\text{лд}}$$

При цьому сила струму однофазного короткого замикання на землю $I_{\text{зз}}$ залежить від опорів захисного ($R_з$) і функціонального ($R_φ$) заземлень:

$$I_{\text{зз}} = U_L / (R_з + R_φ) \quad (7)$$

Як бачимо, зменшенням величини $R_з$ можна лише у незначній мірі зменшити напругу дотику (корпус ЕУ–земля) і практично неможливо зменшити напругу дотику до безпечних рівнів ($U_{\text{дот.доп}} < 36 \text{ В}$ при $t_{\text{дії}} > 1 \text{ сек.}$) без застосування засобів автоматичного вимикання живлення (ЗАВЖ).

Таким чином, захисна дія ЗЗ у мережах із заземленою нейтраллю ДЖ може бути реалізована лише у випадку застосування пристроїв максимального струмового захисту, які забезпечують відключення наруги живлення при аварійному режимі роботи ЕУ і скорочують тривалість існування напруги дотику на корпусі ЕУ, що, в свою чергу, згідно з ГОСТ 12.1.038-82 забезпечує значне підвищення допустимих значень напруг дотику. Наприклад, при часі спрацювання пристрою максимального струмового захисту менше 0,1 сек. $U_{\text{дот.доп}} = 500 \text{ В}$.

У таблиці 1 приведені допустимі значення напруги дотику ($U_{\text{дот.доп}}$) та допустимі значення струму ($I_{\text{доп}}$) в залежності від часу спрацювання ЗАВЖ (ГОСТ 12.1.038-82).

Таблиця 1. Допустимі значення напруги дотику ($U_{\text{дот.доп}}$) та допустимі значення струму ($I_{\text{доп}}$) в залежності від часу спрацювання ЗАВЖ

Вид струму: змінний 50 Гц	Час спрацювання ЗАВЖ, сек										
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	>1
$U_{\text{дот.доп}}$ (В)	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	36
$I_{\text{доп}}$ (мА)	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	6

Слід зазначити що для надійної роботи пристроїв максимального струмового захисту (МСЗ), які відносяться до ЗАВЖ, необхідно виконання наступної умови: струм однофазного короткого замикання на землю повинен перевищувати не менш ніж в 3 рази номінальний струм спрацювання плавкої вставки запобіжника або в 1,4 рази номінальний струм спрацювання автоматів максимального струмового захисту з електромагнітним розчіплювачем у разі якщо струм спрацювання не перевищує 100 А і в 1,25 разів, якщо струм спрацювання дорівнює або вище за 100 А (але не менше ніж в 1,1 рази у будь-якому випадку).

При розрахунках електромережі на вимикаючу здатність при аварійному режимі роботи ЕУ, для перевірки виконання даної умови застосовується коефіцієнт кратності ($K_{кр}$) струму однофазного короткого замикання на землю ($I_{зз}, А$) до номінального струму спрацювання пристрою МСЗ ($I_{НОМ.СПР.}, А$).

$$K_{кр} = I_{зз} / I_{НОМ.СПР.} \quad (8)$$

Слід зазначити, що якщо в ЕМ з робочими напругами 1 кВ та більше для виконання цієї умови нема ніяких обмежень, то в ЕМ з робочими напругами до 1 кВ дана вимога не може бути гарантовано виконана, так як сила струму однофазного короткого замикання на землю $I_{зз}$ визначається в основному опорами захисного (R_3) і функціонального (R_ϕ) заземлень, для яких мінімальні значення обмежені конструктивними можливостями щодо реалізації заземлюючих пристроїв, а також залежать від промерзання та просихання ґрунту, процесів окислювання, старіння тощо. Таким чином, неможливо гарантовано забезпечити при робочих напругах до 1 кВ відповідні значення струму однофазного короткого замикання на землю, особливо у разі підключення до ЕМ потужних ЕУ, оскільки у цьому випадку практично

неможливо забезпечити надійну роботу пристроїв максимального струмового захисту, і це є неприйнятним

З урахуванням вище викладеного, можна зробити висновок, що при підключенні ЕУ до ЕМ напругою до 1 кВ з глухозаземленою нейтраллю ДЖ застосування системи заземлення типу ТТ (сполучення ЕУ з окремим заземлювачем) не є ефективним заходом захисту.

При підключенні ЕУ до ЕМ напругою до 1 кВ з глухозаземленою нейтраллю ДЖ необхідно застосовувати систему заземлення типу TN (підсистема TN-C) у вигляді сполучення корпусів ЕУ з нейтральним провідником мережі PEN (рис. 5), що поєднує в собі функції захисного (PE-) і нейтрального (N-) провідників.

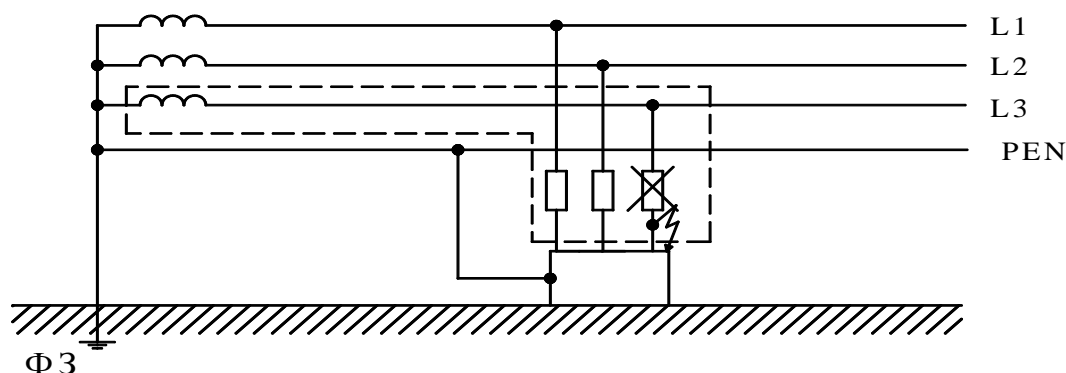


Рис.5. Схема захисного заземлення у мережі з глухозаземленою нейтраллю ДЖ напругою до 1 кВ (підсистема TN-C)

Таке сполучення корпусів ЕУ з нейтральним провідником PEN ЕМ змінює шлях струму замикання на корпус. У цьому випадку струм потече по фазному і нейтральному провідниках і обмотці трансформатора. Опір цього кола струму складає десяті долі Ома. Тому сила цього струму буде велика, і цей струм буде струмом короткого замикання, від якого буде надійно спрацьовувати ЗАВЖ (МСЗ) що селективно відключать пошкоджену ЕУ чи ділянку ЕМ.

Таким чином, в ЕМ напругою до 1 кВ з глухозаземленою нейтраллю, як і у мережах напругою понад 1 кВ із заземленою нейтраллю, принцип захисту ЗЗ підсистеми TN полягає у відключенні пошкодженої ЕУ.

У розглянутих конструктивних варіантах ЗЗ є ефективним заходом захисту в ЕМ із заземленою нейтраллю ДЖ напругою як до (заземлення типу TN – підсистема TN-C), так і понад 1 кВ (заземлення типу ТТ);

Захисна дія ЗЗ в ЕМ із заземленою нейтраллю полягає у захисті часом – це скорочення тривалості існування напруги корпус ЕУ–земля за рахунок відключення наруги живлення пристроєм МСЗ.

Завдання № 1

Згідно із приведеними вихідними даними розрахувати величину струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$) у разі її дотику до незаземленого корпусу ЕУ, якщо ця установка знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус), а її живлення здійснюється від ЕМ з ізолюваною нейтраллю (фазна напруга 220 В).

Вихідні дані для розрахунку:

1. ЕМ з ізолюваною нейтраллю.
2. U_L - фазна напруга в ЕМ (220 В).
3. Аварійний режим роботи ЕУ ((пробій робочої ізоляції).
4. Корпус ЕУ незаземлений.
5. $R_{ЛД}$ - еквівалентний опір тіла людини $R_{ЛД}$ (10^3 Ом).
6. r - опір витоку для фазних проводів ЕМ (в межах $10^5 - 10^7$ Ом).

***Примітки:**

1. Для визначення величини струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$), необхідно використовувати формулу (1).

2. Потрібні для розрахунку значення r (п.6) приведені у таблиці 2 для кожного із 7 можливих варіантів розрахунку окремо.

Таблиця 2. Дотик людини до незаземленого корпусу ЕУ, яка підключена до ЕМ з ізолюваною нейтраллю ($U_L=220$ В) і знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус).

№ варіанта	r (Ом)	$I_{ЛД}$ (мА)	Висновки
1	10^5		
2	$2 \cdot 10^5$		
3	$4 \cdot 10^5$		
4	$6 \cdot 10^5$		
5	$8 \cdot 10^5$		
6	10^6		
7	$2 \cdot 10^6$		

*Примітка: Для усіх заданих варіантів у графі «Висновок» зробити відповідні записи щодо відповідності чи не відповідності вимогам безпеки (ВБ) отриманих значень $I_{ЛД}$: «відповідає ВБ» або «не відповідає ВБ». У разі необхідності, у ті ж самі графи додати запис щодо необхідності застосування додаткових конкретних заходів, що забезпечать зменшення $I_{ЛД}$.

Завдання № 2

Згідно із приведеними вихідними даними розрахувати величину струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$) у разі її дотику до незаземленого корпусу ЕУ, якщо ця установка знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус), а її живлення здійснюється від ЕМ з ізолюваною нейтраллю (фазна напруга 3000 В).

Вихідні дані для розрахунку:

1. ЕМ з ізолюваною нейтраллю.
2. U_L - фазна напруга в ЕМ (3000 В).
3. Аварійний режим роботи ЕУ ((пробій робочої ізоляції).
4. Корпус ЕУ незаземлений.
5. $R_{ЛД}$ - еквівалентний опір тіла людини $R_{ЛД}$ (10^3 Ом).
6. r - опір виточу для фазних проводів ЕМ (в межах $10^5 - 10^7$ Ом).

***Примітки:**

1. Для визначення величини струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$), необхідно використовувати формулу (1).

2. Потрібні для розрахунку значення r (п.6) приведені у таблиці 3 для кожного із 7 можливих варіантів розрахунку окремо.

Таблиця 3. Дотик людини до незаземленого корпусу ЕУ, яка підключена до ЕМ з ізолюваною нейтраллю ($U_L=3000$ В) і знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус).

№ варіанта	r (Ом)	$I_{ЛД}$ (мА)	Висновки
1	10^5		
2	$2 \cdot 10^5$		
3	$4 \cdot 10^5$		
4	$6 \cdot 10^5$		
5	$8 \cdot 10^5$		
6	10^6		
7	$2 \cdot 10^6$		

*Примітка: Для усіх заданих варіантів у графі «Висновок» зробити відповідні записи щодо відповідності чи не відповідності вимогам безпеки (ВБ) отриманих значень $I_{ЛД}$: «відповідає ВБ» або «не відповідає ВБ». У разі необхідності, у ті ж самі графи додати запис щодо необхідності застосування додаткових конкретних заходів, що забезпечать зменшення $I_{ЛД}$.

Завдання № 3

Згідно із приведеними вихідними даними розрахувати величину струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$) у разі її дотику до незаземленого корпусу ЕУ, якщо ця установка знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус), а її живлення здійснюється від ЕМ з ізолюваною нейтраллю (фазна напруга 6000 В).

Вихідні дані для розрахунку:

1. ЕМ з ізолюваною нейтраллю.
2. U_L - фазна напруга в ЕМ (6000 В).
3. Аварійний режим роботи ЕУ ((пробій робочої ізоляції).
4. Корпус ЕУ незаземлений.
5. $R_{ЛД}$ - еквівалентний опір тіла людини $R_{ЛД}$ (10^3 Ом).
6. r - опір витоку для фазних проводів ЕМ (в межах $10^5 - 10^7$ Ом).

***Примітки:**

1. Для визначення величини струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$), необхідно використовувати формулу (1).

2. Потрібні для розрахунку значення r (п.6) приведені у таблиці 4 для кожного із 7 можливих варіантів розрахунку окремо.

Таблиця 4. Дотик людини до незаземленого корпусу ЕУ, яка підключена до ЕМ з ізолюваною нейтраллю ($U_L=6000$ В) і знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус).

№ варіанта	r (Ом)	$I_{ЛД}$ (мА)	Висновки
1	10^5		
2	$2 \cdot 10^5$		
3	$4 \cdot 10^5$		
4	$6 \cdot 10^5$		
5	$8 \cdot 10^5$		
6	10^6		
7	$2 \cdot 10^6$		

*Примітка: Для усіх заданих варіантів у графі «Висновок» зробити відповідні записи щодо відповідності чи не відповідності вимогам безпеки (ВБ) отриманих значень $I_{ЛД}$: «відповідає ВБ» або «не відповідає ВБ». У разі необхідності, у ті ж самі графи додати запис щодо необхідності застосування додаткових конкретних заходів, що забезпечать зменшення $I_{ЛД}$.

Завдання № 4

Згідно із приведеними вихідними даними розрахувати величину струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$) у разі її дотику до незаземленого корпусу ЕУ, якщо ця установка знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус), а її живлення здійснюється від ЕМ з ізолюваною нейтраллю (фазна напруга 15 кВ).

Вихідні дані для розрахунку:

1. ЕМ з ізолюваною нейтраллю.
2. U_L - фазна напруга в ЕМ (15 кВ).
3. Аварійний режим роботи ЕУ ((пробій робочої ізоляції).
4. Корпус ЕУ незаземлений.
5. $R_{ЛД}$ - еквівалентний опір тіла людини $R_{ЛД}$ (10^3 Ом).
6. r - опір виточу для фазних проводів ЕМ (в межах $10^5 - 10^7$ Ом).

***Примітки:**

1. Для визначення величини струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$), необхідно використовувати формулу (1).

2. Потрібні для розрахунку значення r (п.6) приведені у таблиці 5 для кожного із 7 можливих варіантів розрахунку окремо.

Таблиця 5. Дотик людини до незаземленого корпусу ЕУ, яка підключена до ЕМ з ізолюваною нейтраллю ($U_L=15$ кВ) і знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус).

№ варіанта	r (Ом)	$I_{ЛД}$ (мА)	Висновки
1	10^5		
2	$2 \cdot 10^5$		
3	$4 \cdot 10^5$		
4	$6 \cdot 10^5$		
5	$8 \cdot 10^5$		
6	10^6		
7	$2 \cdot 10^6$		

*Примітка: Для усіх заданих варіантів у графі «Висновок» зробити відповідні записи щодо відповідності чи не відповідності вимогам безпеки (ВБ) отриманих значень $I_{ЛД}$: «відповідає ВБ» або «не відповідає ВБ». У разі необхідності, у ті ж самі графи додати запис щодо необхідності застосування додаткових конкретних заходів, що забезпечать зменшення $I_{ЛД}$.

Завдання № 5

Згідно із приведеними вихідними даними розрахувати величину струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$) у разі її дотику до заземленого корпусу ЕУ (система заземлення ІТ), якщо ця установка знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус), а її живлення здійснюється від ЕМ з ізольованою нейтраллю (фазна напруга 220 В).

Вихідні дані для розрахунку:

1. ЕМ з ізольованою нейтраллю.
2. U_L - фазна напруга в ЕМ (220 В).
3. Аварійний режим роботи ЕУ ((пробій робочої ізоляції).
4. Корпус ЕУ заземлений.
5. Система заземлення ІТ.
6. R_3 – опір заземлюючого пристрою ЕУ (в межах 0,5 – 10 Ом).
7. r - опір витoku для фазних проводів ЕМ (10^5 Ом).
8. $R_{ЛД}$ - еквівалентний опір тіла людини $R_{ЛД}$ (10^3 Ом).

***Примітки:**

1. Для визначення величини струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$), необхідно використовувати формулу (2).

2. Потрібні для розрахунку значення R_3 (п.6) приведені у таблиці 6 для кожного із 7 можливих варіантів розрахунку окремо.

Таблиця 6. Дотик людини до заземленого корпусу ЕУ, яка підключена до ЕМ з ізольованою нейтраллю ($U_L=220$ В) і знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус).

№ варіанта	R_3 (Ом)	$I_{ЛД}$ (мА)	Висновки
1	0,5		
2	1,5		
3	3		
4	4		
5	6		
6	8		
7	10		

*Примітка: Для усіх заданих варіантів у графі «Висновок» зробити відповідні записи щодо відповідності чи не відповідності вимогам безпеки (ВБ) отриманих значень $I_{ЛД}$: «відповідає ВБ» або «не відповідає ВБ». У разі необхідності, у ті ж самі графи додати запис щодо необхідності застосування додаткових конкретних заходів, що забезпечать зменшення $I_{ЛД}$.

Завдання № 6

Згідно із приведеними вихідними даними розрахувати величину струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$) у разі її дотику до заземленого корпусу ЕУ (система заземлення ІТ), якщо ця установка знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус), а її живлення здійснюється від ЕМ з ізольованою нейтраллю (фазна напруга 3000 В).

Вихідні дані для розрахунку:

1. ЕМ з ізольованою нейтраллю.
2. U_L - фазна напруга в ЕМ (3000 В).
3. Аварійний режим роботи ЕУ ((пробій робочої ізоляції).
4. Корпус ЕУ заземлений.
5. Система заземлення ІТ.
6. R_3 – опір заземлюючого пристрою ЕУ (в межах 0,5 – 10 Ом).
7. r - опір витoku для фазних проводів ЕМ ($2 \cdot 10^5$ Ом).
8. $R_{ЛД}$ - еквівалентний опір тіла людини $R_{ЛД}$ (10^3 Ом).

***Примітки:**

1. Для визначення величини струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$), необхідно використовувати формулу (2).

2. Потрібні для розрахунку значення R_3 (п.6) приведені у таблиці 7 для кожного із 7 можливих варіантів розрахунку окремо.

Таблиця 7. Дотик людини до заземленого корпусу ЕУ, яка підключена до ЕМ з ізольованою нейтраллю ($U_L=3000$ В) і знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус).

№ варіанта	R_3 (Ом)	$I_{ЛД}$ (мА)	Висновки
1	0,5		
2	1,5		
3	3		
4	4		
5	6		
6	8		
7	10		

*Примітка: Для усіх заданих варіантів у графі «Висновок» зробити відповідні записи щодо відповідності чи не відповідності вимогам безпеки (ВБ) отриманих значень $I_{ЛД}$: «відповідає ВБ» або «не відповідає ВБ». У разі необхідності, у ті ж самі графи додати запис щодо необхідності застосування додаткових конкретних заходів, що забезпечать зменшення $I_{ЛД}$.

Завдання № 7

Згідно із приведеними вихідними даними розрахувати величину струму, що протікає через тіло людини ($I_{лд}$) у разі її дотику до заземленого корпусу ЕУ (система заземлення ІТ), якщо ця установка знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус), а її живлення здійснюється від ЕМ з ізольованою нейтраллю (фазна напруга 6000 В).

Вихідні дані для розрахунку:

1. ЕМ з ізольованою нейтраллю.
2. U_L - фазна напруга в ЕМ (6000 В).
3. Аварійний режим роботи ЕУ ((пробій робочої ізоляції).
4. Корпус ЕУ заземлений.
5. Система заземлення ІТ.
6. R_3 – опір заземлюючого пристрою ЕУ (в межах 0,5 – 10 Ом).
7. r - опір витoku для фазних проводів ЕМ ($5 \cdot 10^5$ Ом).
8. $R_{лд}$ - еквівалентний опір тіла людини $R_{лд}$ (10^3 Ом).

***Примітки:**

1. Для визначення величини струму, що протікає через тіло людини ($I_{лд}$), необхідно використовувати формулу (2).

2. Потрібні для розрахунку значення R_3 (п.6) приведені у таблиці 8 для кожного із 7 можливих варіантів розрахунку окремо.

Таблиця 8. Дотик людини до заземленого корпусу ЕУ, яка підключена до ЕМ з ізольованою нейтраллю ($U_L=6000$ В) і знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус).

№ варіанта	R_3 (Ом)	$I_{лд}$ (мА)	Висновки
1	0,5		
2	1,5		
3	3		
4	4		
5	6		
6	8		
7	10		

*Примітка: Для усіх заданих варіантів у графі «Висновок» зробити відповідні записи щодо відповідності чи не відповідності вимогам безпеки (ВБ) отриманих значень $I_{лд}$: «відповідає ВБ» або «не відповідає ВБ». У разі необхідності, у ті ж самі графи додати запис щодо необхідності застосування додаткових конкретних заходів, що забезпечать зменшення $I_{лд}$.

Завдання № 8

Згідно із приведеними вихідними даними розрахувати величину струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$) у разі її дотику до заземленого корпусу ЕУ (система заземлення ІТ), якщо ця установка знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус), а її живлення здійснюється від ЕМ з ізольованою нейтраллю (фазна напруга 15000 В).

Вихідні дані для розрахунку:

1. ЕМ з ізольованою нейтраллю.
2. U_L - фазна напруга в ЕМ (15000 В).
3. Аварійний режим роботи ЕУ ((пробій робочої ізоляції).
4. Корпус ЕУ заземлений.
5. Система заземлення ІТ.
6. R_3 – опір заземлюючого пристрою ЕУ (в межах 0,5 – 10 Ом).
7. r - опір витoku для фазних проводів ЕМ (10^6 Ом).
8. $R_{ЛД}$ - еквівалентний опір тіла людини $R_{ЛД}$ (10^3 Ом).

***Примітки:**

1. Для визначення величини струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$), необхідно використовувати формулу (2).

2. Потрібні для розрахунку значення R_3 (п.6) приведені у таблиці 9 для кожного із 7 можливих варіантів розрахунку окремо.

Таблиця 9. Дотик людини до заземленого корпусу ЕУ, яка підключена до ЕМ з ізольованою нейтраллю ($U_L=15000$ В) і знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус).

№ варіанта	R_3 (Ом)	$I_{ЛД}$ (мА)	Висновки
1	0,5		
2	1,5		
3	3		
4	4		
5	6		
6	8		
7	10		

*Примітка: Для усіх заданих варіантів у графі «Висновок» зробити відповідні записи щодо відповідності чи не відповідності вимогам безпеки (ВБ) отриманих значень $I_{ЛД}$: «відповідає ВБ» або «не відповідає ВБ». У разі необхідності, у ті ж самі графи додати запис щодо необхідності застосування додаткових конкретних заходів, що забезпечать зменшення $I_{ЛД}$.

Завдання № 9

Згідно з результатами, які були отриманні при виконанні завдань № 1 - № 4, побудувати графіки залежності величини струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$), від величини опору витоку (r) при наступних значеннях фазної напруги (U_L) ЕМ: 220 В, 3000 В, 6000 В та 15000 В.

Завдання № 10

Згідно з результатами, які були отриманні при виконанні завдань № 5 - № 8, побудувати графіки залежності величини струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$), від величини опору заземлення при наступних значеннях фазної напруги (U_L) ЕМ: 220 В, 3000 В, 6000 В та 15000 В.

Завдання № 11

Згідно із приведеними вихідними даними розрахувати величину струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$) у разі її дотику до заземленого корпусу ЕУ (система заземлення типу ТТ), якщо ця установка знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус), а її живлення здійснюється від ЕМ з глухозаземленою нейтраллю (фазна напруга 1500 В). Також визначити максимально допустимий час спрацювання пристрою МСЗ, який необхідно забезпечити для захисту людини при аварійному режимі роботи ЕУ.

Вихідні дані для розрахунку:

1. ЕМ з глухозаземленою нейтраллю.
2. U_L - фазна напруга в ЕМ (1500 В).
3. Аварійний режим роботи ЕУ ((пробій робочої ізоляції).
4. Система заземлення ТТ.
5. R_Φ – опір функціонального заземлення ДЖ (в межах 0,5 – 10 Ом).
6. R_3 – опір заземлюючого пристрою ЕУ (в межах 0,5 – 10 Ом).
7. $R_{ЛД}$ – еквівалентний опір тіла людини $R_{ЛД}$ (10^3 Ом).
8. $t_{СПР}$ – час спрацювання пристрою МСЗ.

****Примітки:***

1. Для визначення величини струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$), необхідно використовувати формули (5) та (7).

2. Потрібні для розрахунку значення R_Φ та R_3 (п.5 – п.6) приведені у таблиці 10 для кожного із 7 можливих варіантів розрахунку окремо.

3. Максимально допустимий час спрацювання пристрою МСЗ визначається за таблицею 1.

4. Додатково визначити значення співвідношення (R_3/R_Φ) для кожного з запропонованих у таблиці 10 варіантів розрахунку $I_{ЛД}$ і занести у відповідний стовпчик даної таблиці.

Таблиця 10. Дотик людини до заземленого корпусу ЕУ, яка підключена до ЕМ з глухозаземленою нейтраллю ($U_L=1500$ В, система заземлення ТТ) і знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус).

№ варіанта	R_Φ (Ом)	R_3 (Ом)	R_3 / R_Φ	$I_{лд}$ (мА)	$t_{спр}$ МСЗ (сек.)	Висновки
1	0,5	10				
2	1,5	8				
3	3	6				
4	4	4				
5	6	2				
6	8	1				
7	10	0,5				

*Примітка: Для усіх заданих варіантів у графі «Висновок» зробити відповідні записи щодо відповідності чи не відповідності вимогам безпеки (ВБ) отриманих значень $I_{лд}$: «відповідає ВБ» або «не відповідає ВБ». У разі необхідності, у ті ж самі графи додати запис щодо необхідності застосування додаткових конкретних заходів, наприклад, необхідності використання пристроїв МСЗ.

Завдання № 12

Згідно із приведеними вихідними даними розрахувати величину струму, що протікає через тіло людини ($I_{лд}$) у разі її дотику до заземленого корпусу ЕУ (система заземлення типу ТТ), якщо ця установка знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус), а її живлення здійснюється від ЕМ з глухозаземленою нейтраллю (фазна напруга 3000 В). Також визначити максимально допустимий час спрацювання пристрою МСЗ, який необхідно забезпечити для захисту людини при аварійному режимі роботи ЕУ.

Вихідні дані для розрахунку:

1. ЕМ з глухозаземленою нейтраллю.
2. U_L - фазна напруга в ЕМ (3000 В).
3. Аварійний режим роботи ЕУ ((пробій робочої ізоляції).
4. Система заземлення ТТ.
5. R_Φ – опір функціонального заземлення ДЖ (в межах 0,5 – 10 Ом).
6. R_3 – опір заземлюючого пристрою ЕУ (в межах 0,5 – 10 Ом).
7. $R_{лд}$ – еквівалентний опір тіла людини $R_{лд}$ (10^3 Ом).
8. $t_{спр}$ – час спрацювання пристрою МСЗ.

*Примітки:

1. Для визначення величини струму, що протікає через тіло людини ($I_{лд}$), необхідно використовувати формули (5) та (7).

2. Потрібні для розрахунку значення R_{ϕ} та R_3 (п.5 – п.6) приведені у таблиці 11 для кожного із 7 можливих варіантів розрахунку окремо.

3. Максимально допустимий час спрацювання пристрою МСЗ визначається за таблицею 1.

4. Додатково визначити значення співвідношення (R_3/R_{ϕ}) для кожного з запропонованих у таблиці 11 варіантів розрахунку $I_{лд}$ і занести у відповідний стовпчик даної таблиці.

Таблиця 11. Дотик людини до заземленого корпусу ЕУ, яка підключена до ЕМ з глухозаземленою нейтраллю ($U_L=3000$ В, система заземлення ТТ) і знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус).

№ варіанта	R_{ϕ} (Ом)	R_3 (Ом)	R_3 / R_{ϕ}	$I_{лд}$ (мА)	$t_{спр}$ МСЗ (сек.)	Висновки
1	0,5	10				
2	1,5	8				
3	3	6				
4	4	4				
5	6	2				
6	8	1				
7	10	0,5				

*Примітка: Для усіх заданих варіантів у графі «Висновок» зробити відповідні записи щодо відповідності чи не відповідності вимогам безпеки (ВБ) отриманих значень $I_{лд}$: «відповідає ВБ» або «не відповідає ВБ». У разі необхідності, у ті ж самі графи додати запис щодо необхідності застосування додаткових конкретних заходів, наприклад, необхідності використання пристроїв МСЗ.

Завдання № 13

Згідно із приведеними вихідними даними розрахувати величину струму, що протікає через тіло людини ($I_{лд}$) у разі її дотику до заземленого корпусу ЕУ (система заземлення типу ТТ), якщо ця установка знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус), а її живлення здійснюється від ЕМ з глухозаземленою нейтраллю (фазна напруга 6000 В). Також визначити максимально допустимий час спрацювання пристрою МСЗ, який необхідно забезпечити для захисту людини при аварійному режимі роботи ЕУ.

Вихідні дані для розрахунку:

1. ЕМ з глухозаземленою нейтраллю.
2. U_L - фазна напруга в ЕМ (6000 В).
3. Аварійний режим роботи ЕУ ((пробій робочої ізоляції).
4. Система заземлення ТТ.
5. R_Φ – опір функціонального заземлення ДЖ (в межах 0,5 – 10 Ом).
6. R_3 – опір заземлюючого пристрою ЕУ (в межах 0,5 – 10 Ом).
7. $R_{ЛД}$ – еквівалентний опір тіла людини $R_{ЛД}$ (10^3 Ом).
8. $t_{СПР}$ – час спрацювання пристрою МСЗ.

***Примітки:**

1. Для визначення величини струму, що протікає через тіло людини ($I_{ЛД}$), необхідно використовувати формули (5) та (7).
2. Потрібні для розрахунку значення R_Φ та R_3 (п.5 – п.6) приведені у таблиці 12 для кожного із 7 можливих варіантів розрахунку окремо.
3. Максимально допустимий час спрацювання пристрою МСЗ визначається за таблицею 1.
4. Додатково визначити значення співвідношення (R_3/R_Φ) для кожного з запропонованих у таблиці 12 варіантів розрахунку $I_{ЛД}$ і занести у відповідний стовпчик даної таблиці.

Таблиця 12. Дотик людини до заземленого корпусу ЕУ, яка підключена до ЕМ з глухозаземленою нейтраллю ($U_L=6000$ В, система заземлення ТТ) і знаходиться в аварійному режимі роботи (пробій робочої ізоляції, однофазне коротке замикання на корпус).

№ варіанта	R_Φ (Ом)	R_3 (Ом)	R_3 / R_Φ	$I_{ЛД}$ (мА)	$t_{СПР}$ МСЗ (сек.)	Висновки
1	0,5	10				
2	1,5	8				
3	3	6				
4	4	4				
5	6	2				
6	8	1				
7	10	0,5				

***Примітка:** Для усіх заданих варіантів у графі «Висновок» зробити відповідні записи щодо відповідності чи не відповідності вимогам безпеки (ВБ) отриманих значень $I_{ЛД}$: «відповідає ВБ» або «не відповідає ВБ». У разі необхідності, у ті ж самі графи додати запис щодо необхідності застосування додаткових конкретних заходів, наприклад, необхідності використання пристроїв МСЗ.

Завдання № 14

Згідно з результатами, які були отримані при виконанні завдань № 11 - № 13, побудувати графіки залежності величини струму, що протікає через тіло людини ($I_{лд}$), від величини співвідношення (R_3/R_ϕ) при наступних значеннях фазної напруги (U_L) ЕМ: 1500В; 3000 В; 6000 В.

Завдання № 15

Розробити електроні таблиці у форматі Excel для визначення за формулами (1) та (2) величини струму, що протікає через тіло людини ($I_{лд}$, mA) при аварійному режимі роботи ЕУ (однофазне коротке замикання на корпус – завдання № 1 - № 8) при застосуванні електричної схеми захисного заземлення ЕУ системи ІТ.

Завдання № 16

Розробити електроні таблиці у форматі Excel для визначення за формулами (5) та (7) величини струму, що протікає через тіло людини ($I_{лд}$, mA) при аварійному режимі роботи ЕУ (однофазне коротке замикання на корпус – завдання № 11 - № 13) при застосуванні електричної схеми захисного заземлення ЕУ системи ГТ, а також для визначення коефіцієнта кратності ($K_{кр}$) струму однофазного короткого замикання на корпус ЕУ ($I_{зз}$, A) до номінального струму спрацювання пристрою МСЗ ($I_{НОМ.СПР.}$, A) за формулою (8).

Список літератури

1. Ткачук К. Н., Зацарний В. В., Каштанов С.Ф. та ін. Охорона праці та промислова безпека: навч. посіб. – К.: Лібра, 2010. – 559 с.
2. ПУЕ-2017 «Правила улаштування електроустановок»
3. ГОСТ 12.1.038-82 «ССБП. Гранично допустимі значення напруг та струмів».
4. ГОСТ 12.1.030-81 «ССБП. Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення».