



Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет енергетики, робототехніки та
комп'ютерних технологій
Кафедра електропостачання та
енергетичного менеджменту

С. А. Попадченко, О. А. Савченко

ЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ ТА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Курс лекцій

**для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
денної (заочної) форми навчання
за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

**Харків
2024**



Міністерство освіти і науки України

ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет енергетики, робототехніки та
комп'ютерних технологій

Кафедра електропостачання та
енергетичного менеджменту

С. А. Попадченко, О. А. Савченко

ЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ ТА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Курс лекцій

**для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
денної (заочної) форми навчання
за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

Затверджено
рішенням Науково-методичної ради
факультету енергетики, робототехніки
та комп'ютерних технологій
Протокол № 4
від 29. 01. 2024 р.

**Харків
2024**

УДК 621.31
С 31

Схвалено
на засіданні кафедри електропостачання
та
енергетичного менеджменту
Протокол 7 від 26.01.2024

Рецензенти:

Н. Г. Косуліна, доктор техн. наук, проф. кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки ДБТУ;

Ю. М. Хондола, канд. техн. наук, зав. кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки ДБТУ.

С-31 Електроустановки та системи електропостачання: Курс лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної (заочної) форми навчання за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/ С. А. Попадченко, О. А. Савченко / – Електрон. дані. – Х. : ДБТУ, 2024. – 74 с.

Курс лекцій з дисципліни «Електроустановки та системи електропостачання» складений відповідно до програми навчальної дисципліни. У курсі лекцій розглянуто улаштування заземлення і заземлюючих пристроїв в системах електропостачання, особливості заземлення сільських мереж та теоретичні відомості про вибір всіх видів заземлення. Наведено відомості про принципи виконання та алгоритмах функціонування основних пристроїв релейного захисту електроенергетичних систем. Наводяться загальні відомості щодо використання пристроїв релейного захисту ліній та трансформаторів та вибір релейного захисту.

Лекції призначені для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної (заочної) форми навчання за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

УДК 621.31

Відповідальний за випуск: О. О. Мірошник, доктор технічних наук, професор

© С. А. Попадченко,
О. А. Савченко, 2024©
ДБТУ, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	5
МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ	5
Лекція № 1. Заземлення і заземлюючі пристрої в системах електропостачання	6
Лекції № 2. Вимоги та види заземлення і заземлюючих пристроїв.	11
Лекція № 3. Конструктивне виконання і розрахунок заземлюючих пристроїв підстанцій.	
Лекція № 4. Особливості заземлення у чотирипровідній мережі напругою 380/220 В. Захист від появи на неструмопровідних частинах електричного потенціалу.	28
Лекція № 5. Максимальний струмовий захист мереж 110-35/10 кВ. Струмова відсічка.	35
Лекція № 6. Максимальний струмовий направлений захист замкнутих ліній 10 кВ, ліній взаємного резервування.	44
Лекція № 7. Захист трансформаторів 110-35/10 та 10/0,4 кВ.	51
Лекція № 8. Захист ліній напругою 0,38 кВ.	61

ВСТУП

Вітаємо вас, шановні слухачі курсу “Електроустановки та системи електропостачання”. Сучасний світ не уявляє себе без активного використання електричної енергії, що робить питання захисту та безпеки в галузі електричної інженерії надзвичайно важливими та актуальними.

Лекції з предмету “Електроустановки та системи електропостачання” призначені для того, щоб надати фундаментальні знання та розуміння принципів захисту електричних мереж, підстанцій та всього електрообладнання від всіх видів аварійних та ненормальних режимів для роботи в промислових та технічних сферах та забезпечення безпеки для обслуговуючого персоналу та самого обладнання.

Курс дисципліни охоплює різноманітні аспекти, починаючи від основних понять заземлень робочих та аварійних та закінчуючи технологіями релейного захисту від коротких замикань, замикань на землю, для забезпечення безпеки на робочому місці.

Необхідно розуміти, що правильна робота з електричним обладнанням та забезпечення безпеки під час його експлуатації є запорукою якісної та ефективної роботи в будь-якій сфері. Вивчення цього курсу дає не тільки теоретичні знання, але й дозволяє розвинути здатність аналізувати ризики та вживати заходи безпеки на практиці.

Даний курс лекцій є важливим кроком у поглибленні розуміння процесів захисту від аварійних та ненормальних режимів, налагодженні релейного захисту та допоможе стати експертом в галузі електричної інженерії.

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Мета вивчення дисципліни: полягає в засвоєнні необхідного обсягу теоретичних знань в галузі захисту електроустановок та персоналу від аварійних та ненормальних режимів, оволодіння вміннями і навичками, необхідними в процесі виробничої діяльності налагодження релейного захисту в побудові надійної системи електропостачання.

Ключові завдання:

- вивчення сучасних вимог та технічних рішень щодо виконання систем захисту електроустановок від аварійних та ненормальних режимів;
- знати всі види заземлень, види захистів ліній, підстанцій та електротехнічного обладнання, основні теоретичні та практичні методи рішення задач захисту електроустановок відтаких режимів, захисту людей та тварин в разі пошкодження ізоляції і протікання електричного струму небезпечної величини;
- вміти розраховувати захист електроустановок, підстанцій, ліній, будівель від коротких замикань, розрахувати заземлюючий пристрій електрообладнання підстанцій та ліній електропередавання.

Лекція № 1. ЗАЗЕМЛЕННЯ І ЗАЗЕМЛЮЮЧІ ПРИСТРОЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.

- 1. Принцип дії та область застосування захисного заземлення. Проходження струму через тіло людини за умов заземленого корпусу та без заземлення корпусу. Область застосування захисного заземлення.**
- 2. Типи заземлюючих пристроїв**

ЛІТЕРАТУРА

- 1. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво «Форт», 2017. - 760 с.**
- 2. Козирський В. В. Електропостачання агропромислового комплексу / В. В. Козирський, В. В. Каплун, С. М. Волошин – К.: Аграрна освіта, 2011- 448 с.**
- 3. Притака І. П. Електропостачання сільського господарства / І. П. Притака, Б. В. Мозирський. – Київ: Урожай, 1995 р. - 333 с.4. Попадченко С. А., Савченко О. А. Захист ліній та підстанцій від блискавки та атмосферних перенапруг - Методичний посібник – Х.: ХНТУСГ імені Петра Василенка, 2019. – 120 с.**

1. Принцип дії та область застосування захисного заземлення

Заземлення поділяється на:

Захисне заземлення;

Робоче заземлення.

Захисне заземлення - навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою внаслідок замикання на корпус та з інших причин (індуктивний вплив сусідніх струмоведучих частин, винос потенціалу, розряд блискавки і т. п.).

Призначення захисного заземлення - усунення небезпеки ураження людей електричним струмом при появі напруги на конструктивних частинах електрообладнання, тобто при замиканні на корпус і по інших причинах.

Область застосування захисного заземлення - трифазні чотирипровідні мережі напругою до 1000В з ізольованою нейтраллю і вище 1000В з будь-яким режимом нейтралі.

Принцип дії захисного заземлення - зниження до безпечних значень напруг дотику і кроку, обумовлених замиканням на корпус та іншими причинами. Це досягається шляхом зменшення потенціалу заземленого обладнання (зменшенням опору заземлювача), а також шляхом вирівнювання потенціалів підставки, на якій стоїть людина, і заземленого обладнання (збільшенням потенціалу підставки, на якій стоїть людина, до значення, близького до значення потенціалу заземленого обладнання). При електричному змінному струмі промислової частоти (50 Гц) беруть до уваги лише активний опір людини (його тіла) і співвідносять його з величиною 1 кОм.

При тривалому проходженні струму опір тіла знижується до 500 – 300 Ом.

Примітка: опір тіла людини постійному струму від 3 до 100 кОм.

Істотний вплив на струм, що проходить через людину, має величина струму короткого замикання та опір системи заземлення.

Найбільше допустиме значення опору заземлення в установках до 1000 В:

10 Ом - при сумарній потужності генераторів і трансформаторів 100 кВА і менше,
4 Ом - у всіх інших випадках.

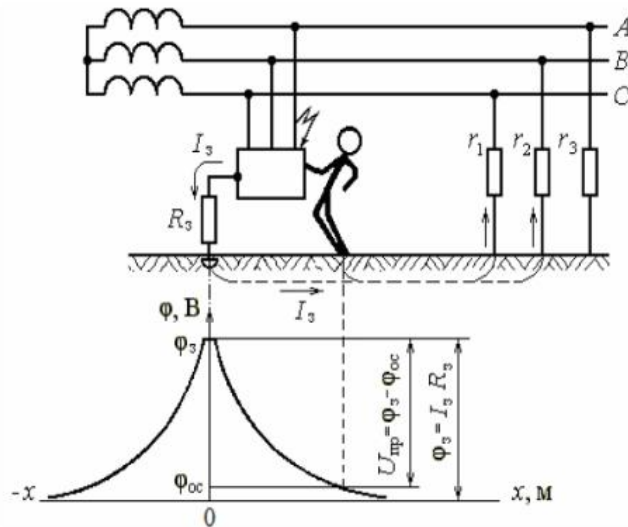


Рисунок 1. 1. – Схема захисного заземлення і розподілення потенціалу на поверхні землі навколо напівкульового заземлювача.

Зазначені норми обґрунтовуються допустимою величиною напруги дотику, яка в мережах до 1000 В не повинна перевищувати 40 В.

Захисне заземлення застосовується у трифазних трипровідних мережах напругою до 1000 В із ізольованою нейтраллю, а в мережах напругою 1000 В і вище – з будь-яким режимом нейтралі.

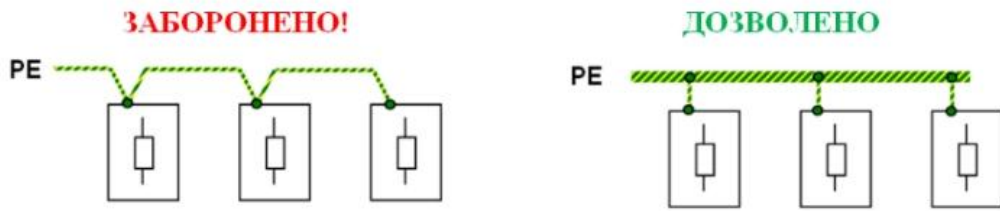


Рисунок 1. 2 - Проходження струму через тіло людини за умов заземленого корпусу та без заземлення корпусу.

Розрахунки, наведені на рисунку 1. 2, дуже приблизні, але вказують на оцінку ефективності захисного заземлення.

УВАГА!

1. Кожен корпус електроустановки повинен бути приєднаний до заземлювача або до заземлюючої магістралі за допомогою окремого відгалуження.
2. Послідовне включення кількох заземлюваних корпусів електроустановок у заземлювальний провідник забороняється.



Розглянемо два випадки.

Корпус електроустановки не заземлений. У цьому випадку дотик до корпусу електроустановки також небезпечний, як і дотик до фазного проводу мережі.

Корпус електроустановки заземлений (рис.1.2).

У цьому випадку напруга корпусу електроустановки щодо землі зменшиться і стане рівною:

$$U_3 = I_3 \cdot R_3.$$

Напруга дотику і струм через тіло людини в цьому випадку будуть визначатися за формулами:

$$U_h = I_3 \cdot R_3 \cdot \alpha_1;$$

$$I_h = I_3 \cdot \frac{R_3}{R_h} \cdot \alpha_1,$$

де α_1 - коефіцієнт напруги дотику.

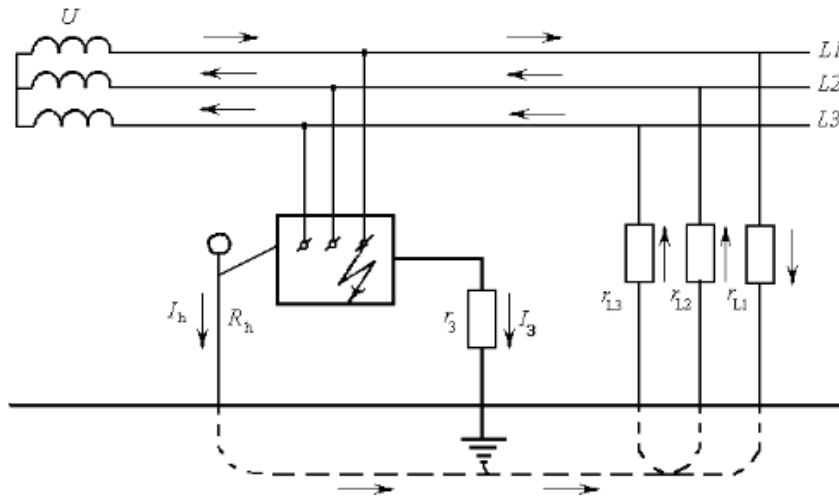


Рисунок 1.2 - Схема мережі з ізолюваною нейтраллю (типу IT) і захисним заземленням електроустановки.

Зменшуючи значення опору заземлювача розтіканню струму R_3 , можна зменшити напругу корпусу електроустановки щодо землі, в результаті чого зменшуються напруга дотику і струм через тіло людини.

Заземлення буде ефективним лише в тому випадку, якщо струм замикання на землю I_3 практично не збільшується зі зменшенням опору заземлювача. Така умова виконується в мережах з ізолюваною нейтраллю (типу IT) напругою до 1 кВ, так як в них струм замикання на землю в основному визначається опором ізоляції проводів відносно землі, яке значно більше опору заземлювача (рис.1.3).

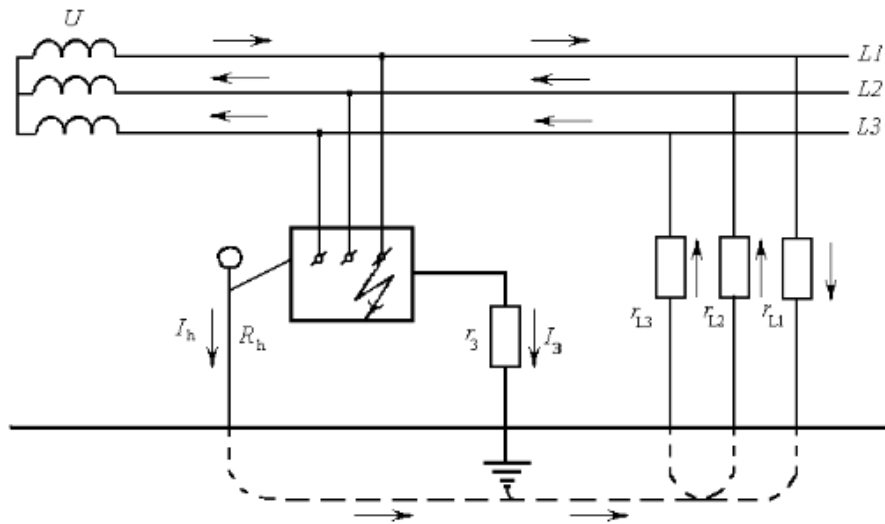


Рисунок 1. 3 - Схема мережі з ізольованою нейтраллю (типу IT) і захисним заземленням електроустановки

У мережах змінного струму з заземленою нейтраллю напругою до 1 кВ захисне заземлення в якості основного захисту від ураження електричним струмом у разі непрямого дотику не застосовується, тому воно не ефективно (рис.1.4).

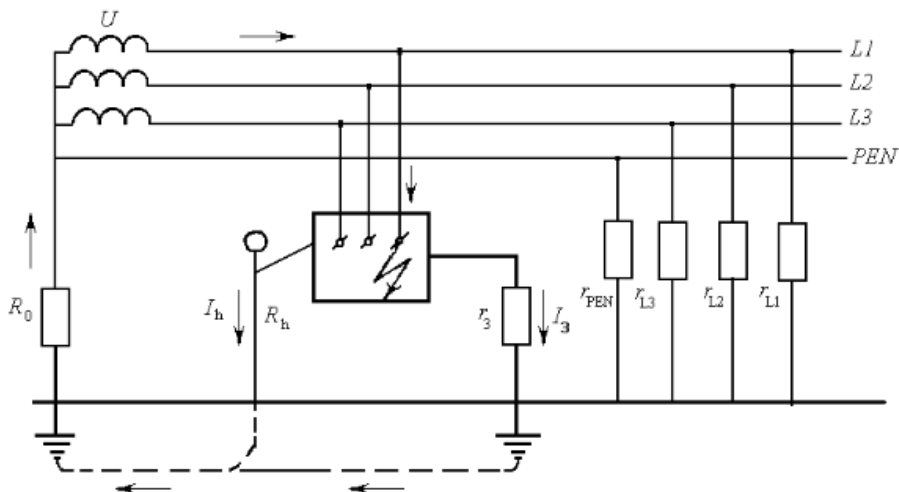


Рисунок 1. 4 - Схема мережі з заземленою нейтраллю і захисним заземленням споживача електроенергії

Область застосування захисного заземлення.

Захисному заземленню підлягають металеві неструмоведучі частини обладнання, які через несправність ізоляції можуть опинитися під напругою і до яких можливий дотик людей:

- електроустановки напругою до 1 кВ в трифазних чотирипровідних мережах змінного струму з ізольованою нейтраллю (система IT);
- електроустановки напругою до 1 кВ в однофазних двопровідних мережах змінного струму ізольованих від землі;
- електроустановки напругою до 1 кВ в двопровідних мережах постійного струму з ізольованою середньою точкою обмоток джерела струму (система IT);
- електроустановки в мережах напругою вище 1 кВ змінного і постійного струму із кожним режимом нейтралі або середньої точки обмоток джерел струму.

Лише у вибухонебезпечних приміщеннях заземлення виконується незалежно від призначення установки.

2. Типи заземлюючих пристроїв

Заземлюючим пристроєм називається сукупність *заземлювача* та *заземлюючих провідників*.

Виносний заземлюючий пристрій (рис. 1.5) характеризується тим, що заземлювач винесений за межі майданчика, на якому розміщено обладнання, що заземлюється, або зосереджений на деякій частині цього майданчика. Тому виносний заземлюючий пристрій називають також *зосередженим*.

Залежно від місця розміщення заземлювача щодо заземленого устаткування розрізняють два типи приладів заземлення: *виносні і контурні*.

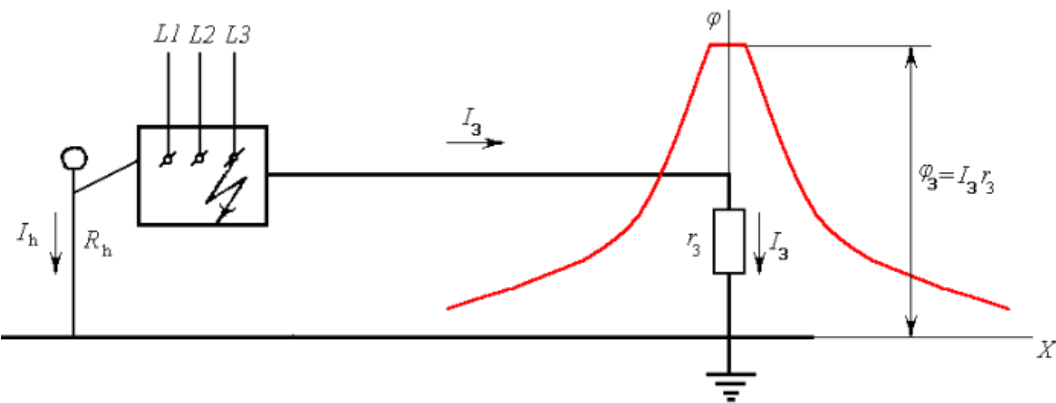


Рисунок 1.5 - Виносний заземлюючий пристрій

Істотний *недолік* виносного заземлювального пристрою - віддаленість заземлювача від обладнання, внаслідок чого на всій або на частині території, що захищається коефіцієнт дотику $\alpha_1 = 1$.

Тому заземлюючі пристрої цього типу застосовуються лише при малих струмах замикання на землю, зокрема в установках до 1000 В, де потенціал заземлювача не перевищує значення допустимої напруги дотику $U_{np.дон}$ (з урахуванням коефіцієнта напруги дотику, що враховує падіння напруги в опорі розтіканню підстави, на якому стоїть людина,

$$\varphi_3 = I_3 \cdot r_3 \leq \frac{U_{np.дон.}}{\alpha_2},$$

де I_3 - струм, який стікає в землю через заземлювальний пристрій;

r_3 - опір розтіканню струму заземлюючого пристрою.

Крім того, при великій відстані до заземлювача може значно зрости опір заземлюючого пристрою в цілому за рахунок опорів заземлювального провідника.

Перевагою виносного заземлювального пристрою є можливість вибору місця розміщення електродів заземлювача з найменшим опором ґрунту (сирий, глинистий, у низинах і т. п.).

Необхідність в пристрої виносного заземлення може виникнути в наступних випадках:

- при неможливості з яких-небудь причин розмістити заземлювач на території, що захищається;

- при високому опорі землі на даній території (наприклад, піщаний або скелястий ґрунт) і наявності поза цією територією місць зі значно кращою провідністю землі;
- при розосередженому розташуванні заземлюється обладнання (наприклад, в гірських виробках) і т. п.

Контурний заземлюючий пристрій (рис. 1.6) характеризується тим, що електроди його заземлювача розміщуються по контуру (периметру) майданчика, на якому знаходиться обладнання, яке заземлюють, а також усередині цього майданчика.

Часто електроди розподіляються на майданчику по можливості рівномірно, і тому контурний заземлюючий пристрій називається також розподілений.

Безпека при розподіленому заземлюючому пристрої може бути забезпечена не тільки зменшенням потенціалу заземлювача, але і вирівнюванням потенціалів на території, що захищається до таких значень, щоб максимальні напруги дотику і кроку не перевищували допустимих.

Це досягається за рахунок відповідного розміщення одиночних заземлювачів на території, що захищається.

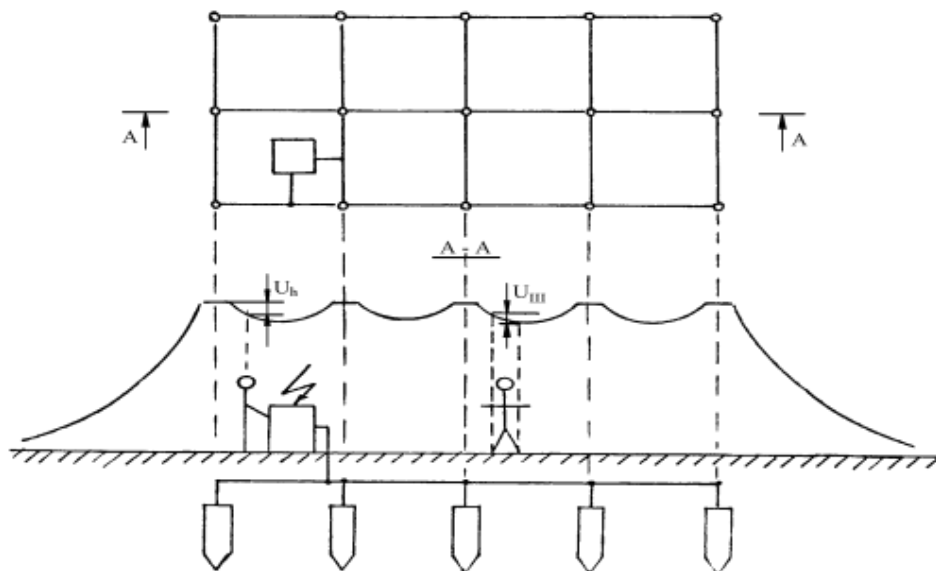


Рисунок 1. 6 - Контурний заземлювальний пристрій

Всередині приміщень вирівнювання потенціалу відбувається природним шляхом через металеві конструкції, трубопроводу, кабелі та подібні їм провідні предмети, пов'язані з розгалуженою мережею заземлення.

Питання для самоперевірки

1. Види заземлення.
2. Призначення захисного заземлення та область застосування захисного заземлення
3. Робоче заземлення.
4. Принцип дії захисного заземлення.
5. Типи заземлюючих пристроїв.

Лекція № 2. ВИМОГИ ТА ВИДИ ЗАЗЕМЛЕННЯ І ЗАЗЕМЛЮЮЧИХ ПРИСТРОЇВ.

1. Види заземлення
2. Вимоги до заземлюючих пристроїв
3. Системи заземлення РП, ТП і опор повітряних ліній.
4. Тип заземлення системи

ЛІТЕРАТУРА

1. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво «Форт», 2017. - 760 с.
2. Козирський В. В. Електропостачання агропромислового комплексу / В. В. Козирський, В. В. Каплун, С. М. Волошин – К.: Аграрна освіта, 2011- 448 с.
3. Притака І. П. Електропостачання сільського господарства / І. П. Притака, Б. В. Мозирський. – Київ: Урожай, 1995 р. - 333 с.
4. Попадченко С. А., Савченко О. А. Захист ліній та підстанцій від блискавки та атмосферних перенапруг - Методичний посібник – Х.: ХНТУСГ імені Петра Василенка, 2019. – 120 с.

1. Види заземлення

В процесі експлуатації поява пилу, вологи на ізоляції та корпусах струмопровідних апаратів може призвести до виникнення напруги. Виникнення потенціалу може бути швидкоплинним і може самоліквідуватись.

Але іноді потенціал на корпусі може зберігатись тривалий час. Так стійким буде потенціал на корпусі машини при порушенні ізоляції однієї з фаз, дотик до корпусу може призвести до смертельного ураження.

Якщо через тіло людини проходить струм, більший за 0,05 А, ураження буде смертельним!

Цей струм визначається напругою кола і його загальним опором

(опір тіла людини коливається в межах від 800 до 100 000 Ом, залежно від вологості шкіри, стану нервової системи та деяких інших факторів).

Заземлення поділяється на:

Захисне заземлення;

Робоче заземлення.

Захисне заземлення - навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою внаслідок замикання на корпус та з інших причин (індуктивний вплив сусідніх струмоведучих частин, винос потенціалу, розряд блискавки і т. п.).

Призначення захисного заземлення - усунення небезпеки ураження людей електричним струмом при появі напруги на конструктивних частинах електрообладнання, тобто при замиканні на корпус і по іншим причинам.

Область застосування захисного заземлення - трифазні чотирипровідні мережі напругою до 1000В з ізольованою нейтраллю і вище 1000В з будь яким режимом нейтралі.

Робоче заземлення - навмисне з'єднання з землею окремих точок електричного кола, наприклад нейтральних точок обмоток генераторів, силових і вимірювальних трансфо-

рматорів, дугогасних апаратів, реакторів поперечної компенсації в далеких лініях електропередачі, а також фази при використанні землі як фазного або зворотного проводу. Робоче заземлення призначене для забезпечення належної роботи електроустановки в нормальних або аварійних умовах і здійснюється безпосередньо (тобто шляхом з'єднання провідником частин, які заземлюються із заземлювачем) або через спеціальні апарати - пробивні запобіжники, розрядники, резистори і т. п.

Заземлення блискавкозахисту - навмисне з'єднання з землею блискавкоприймачів і розрядників з метою відводу від них струмів блискавки в землю.

Принцип дії захисного заземлення - зниження до безпечних значень напруг дотику і кроку, обумовлених замиканням на корпус та іншими причинами.

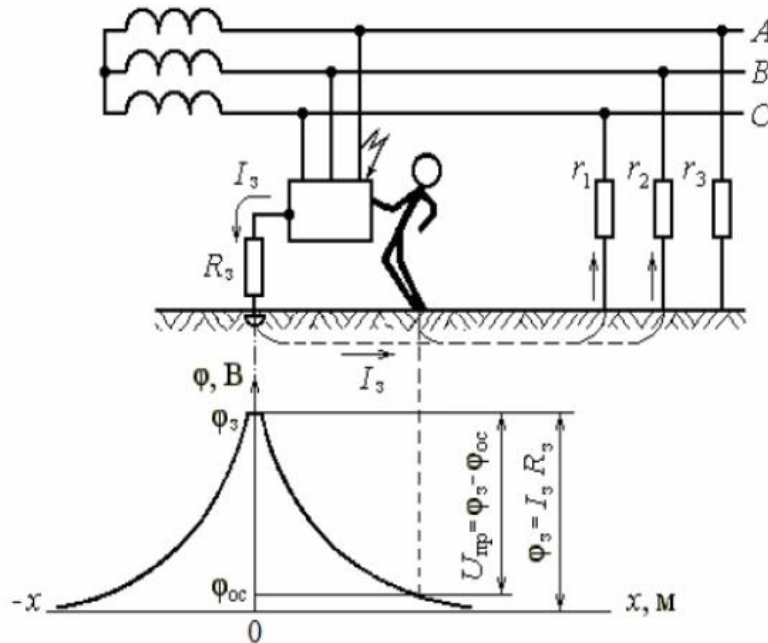


Рисунок 2. 1. – Схема захисного заземлення і розподілення потенціалу на поверхні землі навколо напівкульового заземлювача

Це досягається шляхом зменшення потенціалу заземленого обладнання (зменшенням опору заземлювача), а також шляхом вирівнювання потенціалів підставки, на якій стоїть людина, і заземленого обладнання (збільшенням потенціалу підставки, на якій стоїть людина, до значення, близького до значення потенціалу заземленого обладнання).

Розглянемо два випадки.

Корпус електроустановки не заземлений. У цьому випадку дотик до корпусу електроустановки також небезпечний, як і дотик до фазного проводу мережі.

Корпус електроустановки заземлений (рис.2.2).

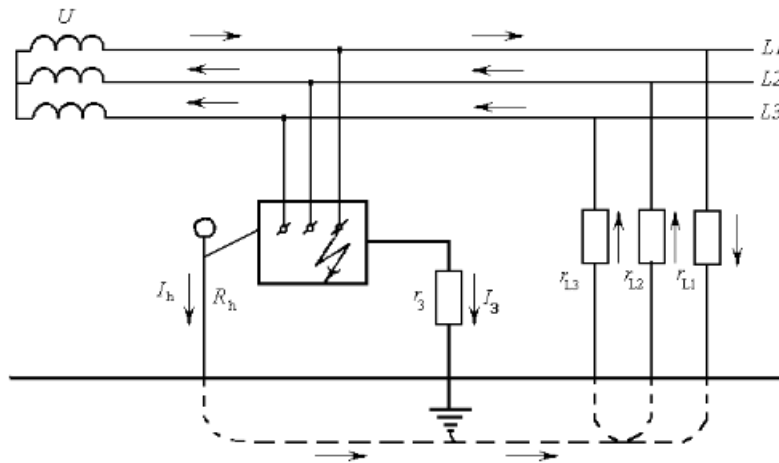


Рисунок 2.2- Схема мережі з ізольованою нейтраллю (типу IT) і захисним заземленням електроустановки.

У цьому випадку напруга корпусу електроустановки щодо землі зменшиться і стане рівною:

$$U_3 = I_3 \cdot R_3.$$

Напруга дотику і струм через тіло людини в цьому випадку будуть визначатися за формулами:

$$U_h = I_3 \cdot R_3 \cdot \alpha_1; \quad I_h = I_3 \cdot \frac{R_3}{R_h} \cdot \alpha_1,$$

де α_1 - коефіцієнт напруги дотику.

Зменшуючи значення опору заземлювача розтіканню струму R_3 , можна зменшити напругу корпусу електроустановки щодо землі, в результаті чого зменшуються напруга дотику і струм через тіло людини.

Заземлення буде ефективним лише в тому випадку, якщо струм замикання на землю I_3 практично не збільшується зі зменшенням опору заземлювача. Така умова виконується в мережах з ізольованою нейтраллю (типу IT) напругою до 1 кВ, так як в них струм замикання на землю в основному визначається опором ізоляції проводів відносно землі, яке значно більше опору заземлювача (рис.2.3).

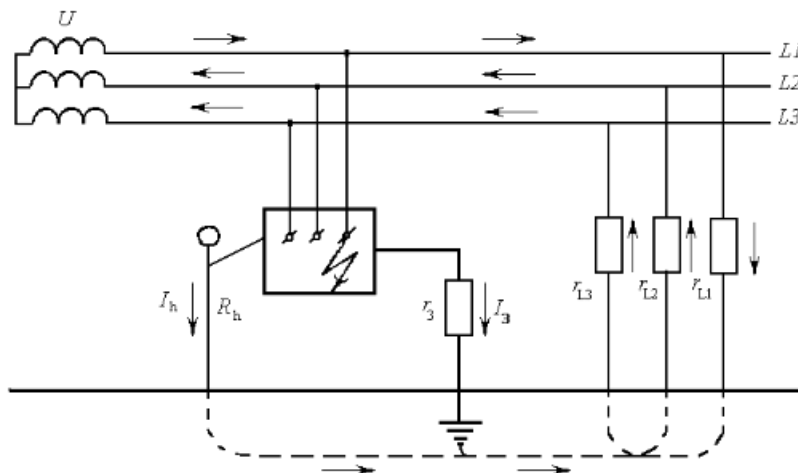


Рисунок 2.3 - Схема мережі з ізольованою нейтраллю (типу IT) і захисним заземленням електроустановки

У мережах змінного струму з заземленою нейтраллю напругою до 1 кВ захисне заземлення в якості основного захисту від ураження електричним струмом у разі непрямого дотику не застосовується, тому воно не ефективно (рис.2.4).

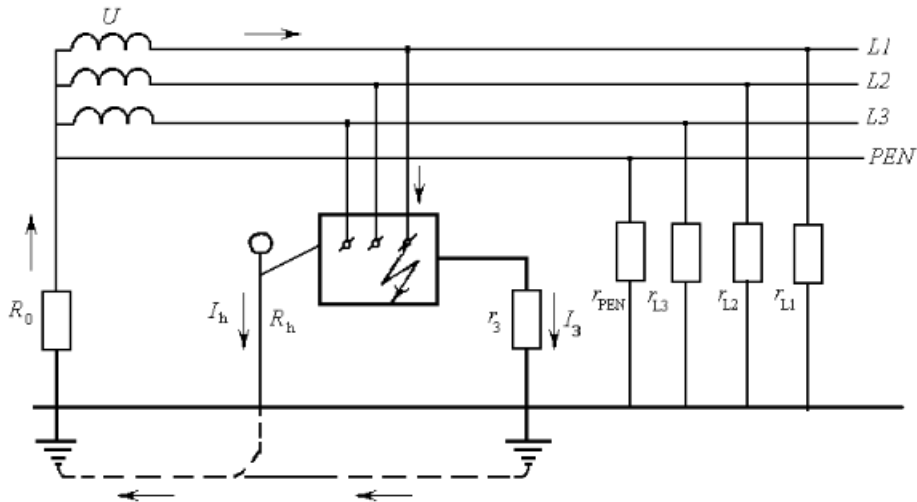


Рисунок 2. 4 - Схема мережі з заземленою нейтраллю і захисним заземленням споживача електроенергії

2. Вимоги до заземлюючих пристроїв

Захисному заземленню підлягають металеві неструмоведучі частини обладнання, які через несправність ізоляції можуть опинитися під напругою і до яких можливий дотик людей:

- електроустановки напругою до 1 кВ в трифазних чотирипровідних мережах змінного струму з ізолюваною нейтраллю (система IT);
- електроустановки напругою до 1 кВ в однофазних двопровідних мережах змінного струму ізолюваних від землі;
- електроустановки напругою до 1 кВ в двопровідних мережах постійного струму з ізолюваною середньою точкою обмоток джерела струму (система IT);
- електроустановки в мережах напругою вище 1 кВ змінного і постійного струму із кожним режимом нейтралі або середньої точки обмоток джерел струму.

Лише у вибухонебезпечних приміщеннях заземлення виконується незалежно від призначення установки.

3. Системи заземлення РП, ТП і опор повітряних ліній.

Для рівномірного розподілу потенціалу на майдані електроустановки застосовують заземлення контурного типу.

Система заземлення розподільного пункту на 12 клітинок і розподіл потенціалу в розрізі А - А показані на рисунку нижче.

Розподіл потенціалу всередині контуру виходить значно рівномірніше, ніж при одиночному трубчастому заземлювачі, внаслідок чого зменшуються напруги дотику і кроку.

Заземлюючий пристрій контурного типу складається з сталевих труб (заземлювачів) діаметром 50 мм, довжиною 2,5 - 3 метри, з'єднаних між собою заземлюючими провідниками, виконаними зі сталевих шин перерізом 40 x 4 мм.

Шини прокладають на глибині 0,5 - 0,8 метра, труби забивають з таким розрахунком, щоб верх труби знаходився від поверхні землі на глибині 0,5 - 0,7 метра. У середині розподільного пункту прокладена магістраль заземлення, виконана зі смугової сталі перерізом 25 x 4 мм².

Магістраль заземлення з'єднана з заземлювачами сталевими шинами в чотирьох місцях. Металеві корпуси обладнання приєднують до магістралі заземлення відгалуженнями. Також виконують систему заземлення трансформаторної підстанції.

При питомому опорі ґрунту $1 \times 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ опір заземлення 16 заземлювачів $R_z = 5,4 \text{ Ом}$, заземлюючих провідників зі сталевих шин $R_{ш}$ довжиною понад 50 метрів - 8,5 Ом.

Якщо опір заземлення броні чотирьох кабелів (R_k), що заходять напругою вище 1000В прийняти рівним 2 Ом, то опір заземлення системи, показаної на верхньому рисунку, буде:

$$\frac{5,4 \cdot 8,5 \cdot 2}{5,4 \cdot 8,5 + 5,4 \cdot 2 + 8,5 \cdot 2} = 1,24 \text{ Ом}$$

і при розрахунковому струмі замикання на землю $I_3 = 100\text{А}$ буде відповідати вимогам ПУЕ.

Заземлення опор повітряних ліній і щоглових підстанцій виконують забиванням в ґрунт 2 - 10 заземлювачів, що представляють собою кутову сталь 50 x 50 x 5 мм довжиною 2,5 метри і з'єднаних між собою сталевими шинами 4 x 25 мм. Кількість заземлювачів залежить від питомого опору ґрунту і визначається проектом.

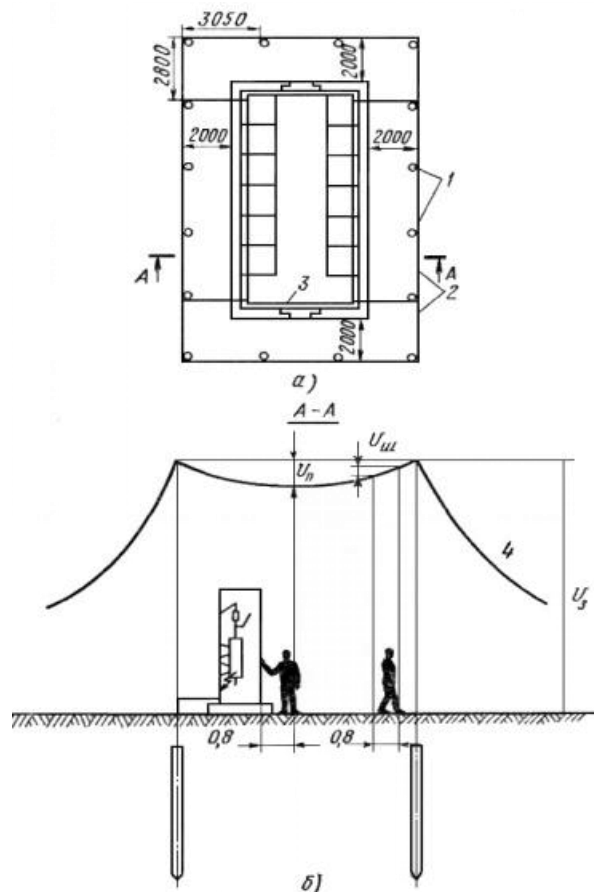


Рисунок 2. 5 - Система заземлення РП (а) і розподіл потенціалу (б):

1 - заземлювач з труб, 2 - сталеві шини, 3 - магістраль заземлення всередині РП, 4 - крива розподілу потенціалу .

Від заземлювачів до металевих конструкцій щоглових підстанцій і опор, що підлягають заземленню, по опорам прокладають заземлюючі спуски.

Діаметр заземлюючого спуску для повітряної лінії напругою до 1 кВ повинен бути не менше 6 мм, для лінії 6 – 10 кВ - не менше 10 мм, переріз не менше 35 мм².

Захисна дія блискавковідводу характеризується ймовірністю прориву блискавки, яка знижується відповідно до зменшення відстані між блискавковідводом та об'єктом.

Визначення ймовірності прориву для кожної окремої споруди складне, тому в практиці проектування використовуються зони захисту блискавковідводів.

4. Тип заземлення системи

Тип заземлення системи - показник, що характеризує влаштування нейтрального провідника (N-провідника) або провідника середньої точки (M-провідника) і з'єднання з землею струмопровідних частин джерела живлення і відкритих провідних частин в електроустановках напругою до 1 кВ.

Відповідно до ГОСТ 30331.2 прийняті наступні позначення типу заземлення системи:

система TN - система, в якій мережа живлення має глухе заземлення однієї точки струмопровідних частин джерела живлення, а електроприймачі і відкриті провідні частини електроустановки приєднуються до цієї точки за допомогою відповідно **N-** або **M-** і захисного **PE-**провідників;

система TN-S - система **TN**, в якій **N-** або **M-** і **PE-**провідники розподілені по всій мережі;

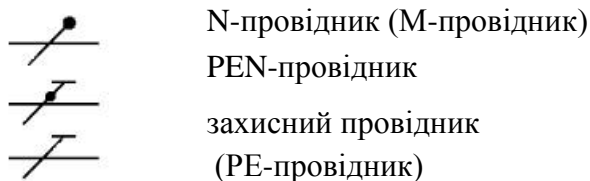
система TN-C - система **TN**, в якій **N-** або **M-** і **PE-**провідники з'єднані в одному **PEN-**провіднику по всій мережі;

система TN-CS - система **TN**, в якій **N-** або **M-** і **PE-**провідники з'єднані в одному провіднику в частині мережі починаючи від джерела живлення;

система TT - система, одна точка струмопровідних частин джерела живлення якої заземлена, а відкриті провідні частини електроустановки приєднано до **PE-**провідника, з'єданого із заземлювачем, електрично незалежним від заземлювача, до якого підключена точка струмопровідних частин джерела живлення;

система IT - система, в якій система живлення ізольована від землі або заземлена через прилади або (і) пристрої, що мають великий опір, а відкриті провідні частини електроустановки приєднано до заземлення **PE-**провідника.

В ПУЕ на рисунках 1.7.1 і 1.7.2 представлені приклади виконання систем **TN**, **TT** і **IT** відповідно в трифазних електроустановках змінного струму і в електроустановках постійного струму, де прийняті наступні умовні позначення:



Для систем ТТ і ІТ представлені можливі варіанти приєднання РЕ-провідників до заземлюючих пристроїв.

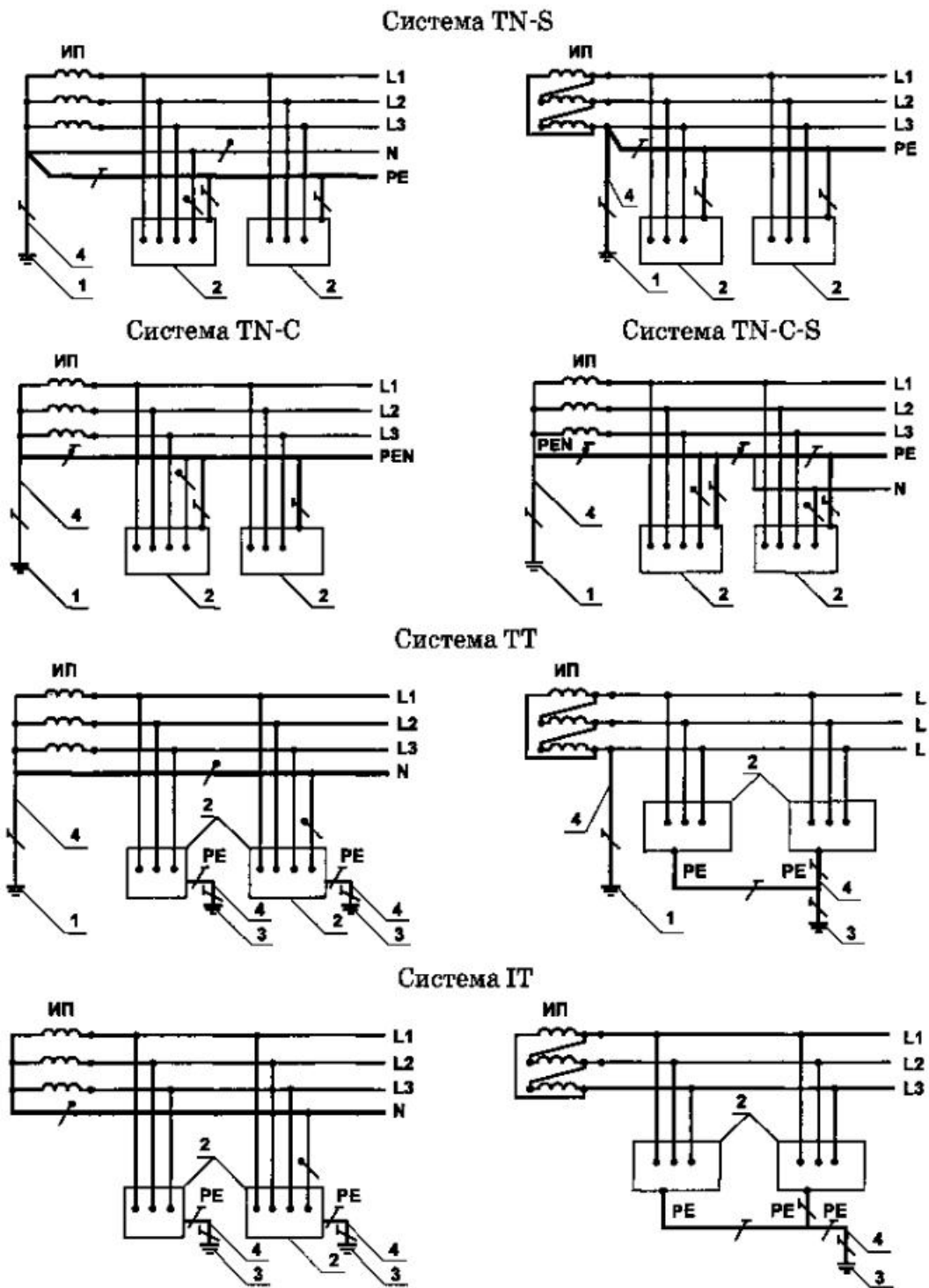


Рисунок 2. 6 (за ПУЕ 1.7.1.) - Схеми виконання систем TN-S, TN-C, TN-CS, ТТ і ІТ в електроустановках трифазного струму:

ІСТ - джерело живлення; L1, L2, L3 - лінійні (фазні) провідники;

1 - заземлювач джерела живлення; 2 - відкриті провідні частини;

3 - заземлювач відкритих провідних частин;

4 - захисний заземлювальний провідник (заземлення системи позначено потовщеними лініями).

Буквені позначення типу заземлення системи означають:

перша буква - характер заземлення джерела живлення:

T (від лат. *terra* - земля) - безпосереднє приєднання однієї точки струмопровідних частин джерела живлення до заземлювального пристрою. У трифазних мережах такою точкою, як правило, є нейтраль джерела живлення (якщо нейтраль недоступна, то заземлюють фазний провідник), в три провідних мережах однофазного струму і постійного струму - середня точка, а в двопровідних мережах - один з виводів джерела однофазного струму або один з полюсів джерела постійного струму;

I (від англ. *isolated* - ізольований) - всі струмоведучі частини джерела живлення ізольовані від землі або одна точка заземлена через великий опір (наприклад, через опір приладів контролю ізоляції);

друга буква - характер заземлення відкритих провідних частин електроустановки:

N (від англ. *neutral* - нейтраль) - безпосередній зв'язок відкритих провідних частин електроустановки з точкою заземлення джерела живлення;

T - безпосередній зв'язок відкритих провідних частин із землею незалежно від характеру зв'язку джерела живлення із землею.

Наступні букви в системі TN позначають влаштування нейтрального N і захисного PE-провідників:

S (від англ. *separate* - розділяти) - функції N- і PE-провідників виконують окремі провідники;

C (від англ. *combine* - об'єднувати) - функції N- і PE-провідників виконує один PEN-провідник.

Питання для самоперевірки

1. Види заземлення.
2. Призначення захисного заземлення та область застосування захисного заземлення
3. Робоче заземлення.
4. Принцип дії захисного заземлення.
5. Типи заземлюючих пристроїв.
6. Схеми виконання систем заземлення в електроустановках трифазного струму.

Лекція № 3. КОНСТРУКТИВНЕ ВИКОНАННЯ І РОЗРАХУНОК ЗАЗЕМЛЮЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ПІДСТАНЦІЙ.

1. Види і типи заземлювачів.
2. Улаштування заземлювачів.
3. Вихідні умови розрахунку заземлюючих пристроїв.
4. Розрахунок заземлюючих пристроїв
5. Визначення опору вертикально забитого у ґрунт одного електрода зі сталевих труб.
6. Визначення опору з'єднуючої смуги.
7. Визначення загального опору заземлюючого пристрою.
8. Розрахунок параметрів заземлювача.

ЛІТЕРАТУРА

1. Козирський В. В. Електропостачання агропромислового комплексу / В. В. Козирський, В. В. Каплун, С. М. Волошин – К.: Аграрна освіта, 2011- 448 с.
2. Миндрин В.И. Электрическая безопасность: Учеб. пособие /В.И. Миндрин; Нижегород. гос.техн. у-т. Нижний Новгород, 2002. 80 с.
3. Притака І. П. Електропостачання сільського господарства / І. П. Притака, Б. В. Мозирський. – Київ: Урожай, 1995 р. - 333 с.
4. Попадченко С. А., Савченко О. А. Захист ліній та підстанцій від блискавки та атмосферних перенапруг - Методичний посібник – Х.: ХНТУСГ імені Петра Василенка, 2019. – 120 с.

Заземлюючий пристрій (**Earthing connection**)- це сукупність заземлювача і заземлюючих провідників.

Заземлювач (**Earthing**) - сукупність електродів, з'єднаних між собою, що знаходяться в безпосередньому зіткненні з землею.

Заземлюючі провідники з'єднують частини електроустановок, що заземлюються із заземлювачами.

Розрізняють заземлювачі:

1. Штучні - призначені виключно для цілей заземлення;

Контурні:

При контурному заземленні забезпечується вирівнювання потенціалів в зоні, що захищається, і зменшується напруга кроку.

Виносні: групові та одиночні

Дозволяють вибрати місце з мінімальним опором ґрунту.

Традиційно, для штучних заземлювачів застосовують кутову сталь завтовшки полиці не менше 4 мм, сталеві смуги завтовшки не менше 4 мм або пруткову сталь діаметром від 10 мм.

Широке поширення останнім часом набули глибинні заземлювачі з обмідненими або оцинкованими електродами, які за довговічністю та витратами на виготовлення заземлювача істотно перевершують традиційні методи.

Особлива проблема – створення якісного заземлення в умовах вічної мерзлоти. Тут варто звернути увагу на системи електролітичного заземлення, що дають змогу ефективно вирішити проблему.

2. Природні - металеві предмети, що перебувають у землі для інших цілей.

- водопровідні труби, прокладені у землі (ХВ)
- металеві конструкції будівлі та фундаменти, надійно з'єднані із землею
- металеві оболонки кабелів
- обсадні труби артезіанських свердловин

Заборонено:

- газопроводи та трубопроводи з горючими рідинами
- алюмінієві оболонки підземних кабелів
- труби теплотрас та гарячого водопостачання

З'єднання з природним заземлювачем має бути не меншим ніж у двох різних місцях.

Типи приладів заземлення за розташуванням:

виносне і контурне.

У виносному заземлювальному пристрої заземлювач винесено за межі майданчика, на якому розміщено заземлююче електроустаткування.

Такий тип заземлюючого пристрою застосовують тільки при малих значеннях струму замикання на землю.

У контурному заземлювальному пристрої поодинокі вертикальні заземлювачі розташовують по контуру (периметру) майданчика, на якому знаходиться заземлююче обладнання (див. рис.5.1), або заземлювачі розміщують по всьому майданчику по можливості рівномірно.

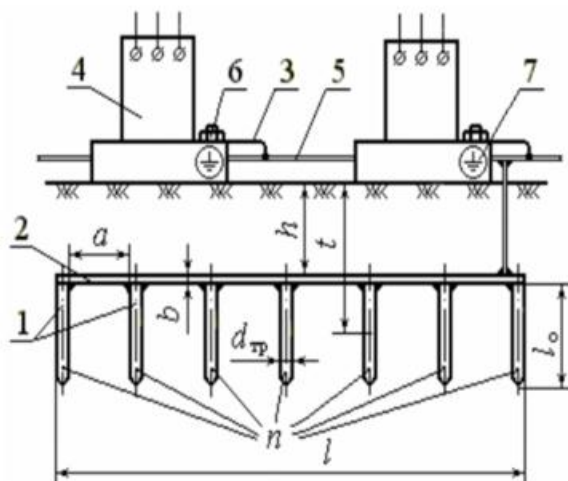


Рисунок 3. 1 - Улаштування захисного заземлення:

- 1- одиничний або група заземлювачів; 2 - з'єднувальна смуга;
- 3- заземлюючий провідник; 4 - заземлювальна установка; 5 - магістраль заземлення з заземлювачем; 6 - болт (гвинт, шпилька); 7 - знак заземлення.

При виносному заземленні (див. рис. 3.2.) заземлювачі розташовуються на деякій відстані від обладнання, що заземлюється. Вони можуть бути винесені за межі виробничого майданчика, або зосереджені в деякій її частині.

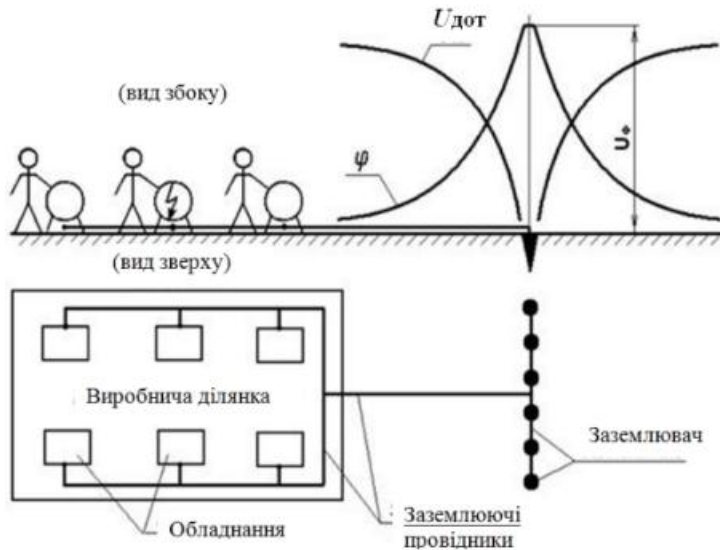


Рисунок 3. 2. – Функціональна схема виносного заземлення.

Перевагою виносного заземлення є можливість вибору місця розміщення електродів з найменшим питомим опором ґрунту (сирий, глинистий, в низинах і т. д.), особливо якщо з яких-небудь причин неможливо його розмістити на майданчику, що захищається (скелястий, піщаний ґрунт і т. п.).

Недолік виносного заземлення полягає в високій напрузі дотику ($\alpha \rightarrow 1$). До того ж через велику довжину заземлюючих провідників зростає опір заземлення. Тому воно застосовується при порівняно малих струмах замикання на землю (зокрема в електроустановках до 1000 В) і захищає тільки за рахунок малого опору заземлення.

При **контурному заземленні** (див. рис. 3. 3.) заземлювачі розташовуються по контуру (периметру) майданчика, на якому знаходиться заземлююче обладнання або всередині його (по можливості рівномірно). Контурне заземлення називається ще **розподіленним**.

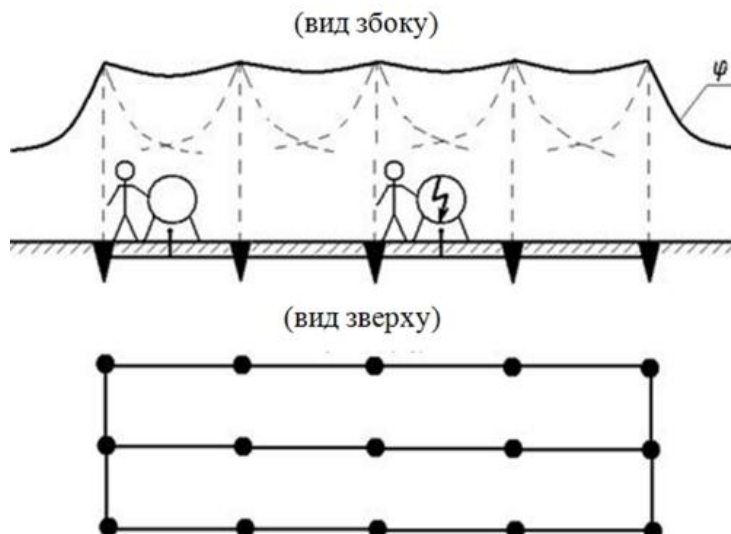


Рисунок 3. 3. – Функціональна схема контурного заземлення.

На рис. 3. 3. пунктирними лініями показані графіки розподілу потенціалів на поверхні ґрунту окремо взятих електродів. У реальності їх поля розтікання накладаються одне на одне (жирна суцільна лінія). Кожна точка поверхні має значний потенціал.

Однак різниця потенціалів між будь-якими точками всередині даного майданчика незначна.

Таким чином відбулося «вирівнювання» потенціалу. У цих умовах коефіцієнти кроку і напруги набагато менше одиниці ($\alpha \ll 1; \beta \ll 1$).

Для штучних заземлювачів застосовують вертикальні і горизонтальні електроди.

В якості вертикальних електродів використовують сталеві труби діаметром 50 ... 60 мм з товщиною стінки не менше 3,5 мм, кутову сталь з товщиною стінки не менше 4 мм або пруткову сталь діаметром не менше 10 мм.

Для зв'язку вертикальних електродів і в якості самостійного горизонтального електрода застосовують смугову сталь перерізом не менше 4×12 мм або сталь круглого перерізу діаметром не менше 10 мм.

З'єднання електродів виконують за допомогою зварювання.

Допускаються різьбові з'єднання.

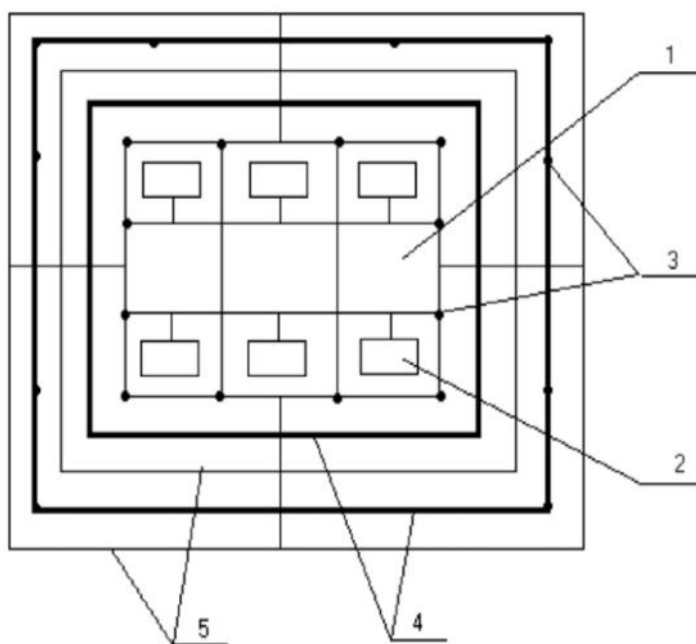


Рисунок 3. 4. - Контурне заземлення підстанції:

- 1 - територія підстанції $U > 1000$ В; 2 - заземлене електрообладнання;
- 3 - вертикальні електроди заземлювачі; 4 - з'єднувальні смуги;
- 5 - додаткові смуги.

Залягання електродів в ґрунті повинно бути нижче глибини промерзання (довідкова величина). Після установки і зварювання електродів в траншеї вона засипається і ретельно трамбується.

В якості природних заземлювачів можуть використовуватися прокладе-ні в землі водопровідні та інші металеві труби (крім трубопроводів з горючими газами і рідина-

ми), обсадні труби артезіанських колодязів, свердловин, арматура залізобетонних опор і т. п.

При проектуванні заземлювачів необхідно, щоб напруга кроку в аварійному режимі виробничих електроустановок не перевищувало 20 В, а для побутових електроустановок не перевищувало 12 В (див. ГОСТ 12.1 038-82).

В залежності від призначення заземлення електроустановок підрозділяються на захисне, робоче і грозозахисне.

Зазвичай для виконання всіх трьох типів заземлення використовується один заземлювальний пристрій.

Природні заземлювачі мають, як правило, малий опір розтікання струму, і тому використання їх для цілей заземлення дає велику економію.

Недоліками природних заземлювачів є доступність їх неелектротехнічному персоналу і можливість порушення безперервності з'єднання подовжених заземлювачів.

Розрахунок заземлюючих пристроїв

Метою розрахунку є вибір конструктивних параметрів штучного заземлювача, при яких заземлювальний пристрій задовольняє вимогам електробезпеки.

Порядок розрахунку заземлюючих пристроїв.

1) уточнення вихідних даних (форма і розмір заземлюючих електродів, тип заземлювача, передбачувана глибина закладення в землю, питомий опір ґрунту, дані про природних заземлювачах, розрахунковий струм замикання на землю);

2) обчислення допустимого опору заземлюючого пристрою по ПУЕ ($R_{\text{доп}}$);

3) розрахунок необхідного опору штучного заземлювача, складання схеми (проекту) заземлюючого пристрою, тобто розміщення на плані прийнятих для спорудження електродів заземлювача і заземлювальних провідників;

4) порівняння отриманого розрахункового опору з $R_{\text{доп}}$ за ПУЕ, якщо необхідно, уточнення розмірів заземлювача

5) розрахунок потенціалу заземлюючого пристрою і порівняння з допустимим.

Якщо є природні заземлювачі, але їх опір не задовольняє ПУЕ, то необхідно створювати штучне опір заземлюючого пристрою.

Тоді загальний опір заземлюючого пристрою, з урахуванням природних і штучних заземлювачів можна розрахувати за формулою:

$$R_3 = \frac{U_{\text{нр.доп.}}}{I_3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2}. \quad (3.1)$$

При використанні природних заземлювачів необхідний опір штучного заземлювача $R_{\text{шт}}$ визначається за формулою:

$$R_{\text{шт}} = \frac{R_e R_3}{R_e - R_3}, \quad (3.2)$$

де R_e – опір розтіканню струму штучних заземлювачів, Ом;

$R_{\text{шт}}$ – необхідний опір штучного заземлювача, Ом;

R_3 – розрахунковий нормований опір ЗП, Ом.

- і він повинен бути порівняний з $R_{3,\text{доп}}$ за ПУЕ.

Допустимі за ПУЕ опори заземлюючих пристроїв:

1) для електроустановок до 1000В

- 10 Ом при повній сумарній потужності трансформаторів і генераторів, що живлять дану мережу не більше 100 кВА;

- 4 Ом у всіх інших випадках.

2) для електроустановок вище 1000В

- 0,5 Ом при ефективно заземленій нейтралі;

$\frac{125}{I_3}$

- I_3 , але ≤ 10 Ом при ізольованій нейтралі і за умови, що заземлювач використовується тільки для електроустановки напругою понад 1000 В;

$\frac{125}{I_3}$

- I_3 , але ≤ 4 або 10 Ом згідно норм при ізольованій нейтралі та умові, що заземлювач використовується одночасно для електроустановок напругою до 1000 В і вище 1000В.

250, 125 – допустимі напруги на заземлювачі.

I_3 – струм замикання на землю, А.

Опір вертикально забитого у ґрунт одного електрода зі сталеві труби:

$$R_{en} = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{h_{cp} + l}{h_{cp} - l} \right) \quad (3.3)$$

де ρ - питомий опір ґрунту, Ом;

l – довжина електрода, м;

h_{cp} - середня довжина заглиблення електродів, м.

$$h_{cp} = \frac{h + l}{2},$$

де $h=0,8$ м – відстань від верхньої частини електрода до поверхні землі;

d – зовнішній діаметр труби, м.

Необхідна кількість вертикально забитих електродів:

$$n = \frac{R_{en}}{\eta \cdot R_{дон}} \quad (3.4)$$

де $\eta = 0,66$ – коефіцієнт використання заземлювачів.

Окрім опору електродів необхідно враховувати і опір з'єднуючої смуги.

Горизонтальні заземлювачі прокладаємо по краю території, що зайнята заземлюючим пристроєм, так, щоб вони у сукупності утворювали замкнутий контур.

Оскільки контур заземлюючого пристрою розміщується в межах зовнішнього огороження електроустановки, то у входів і виїздів на її територію слід вирівнювати потенціал шляхом встановлення двох вертикальних заземлювачів і зовнішнього горизонтального заземлювача навпроти входів і виїздів.

Вертикальні заземлювачі повинні бути довжиною 3,5 м, а відстань між ними повинна бути рівна ширині входу або виїзду (п. 1.7.5 ПУЕ).

Опір з'єднуючої смуги:

$$R_n = \frac{\rho}{2\pi \cdot l_n} \cdot \ln \frac{2l_n}{b_n \cdot h}, \quad (3.5)$$

де l_n - довжина смуги, м;

b_n - ширина смуги, м;

h - глибина закладення смуги, м.

Загальний опір заземлюючого пристрою:

$$R_3 = \frac{R_{el}}{n \cdot \eta} \cdot \frac{R_n}{\frac{R_{el}}{n \cdot \eta} + R_n} \quad (3.6)$$

$$R_{don} > R_3$$

Таким чином, в довіднику пропонується розрахувати опір розтікання окремо для горизонтальних електродів (сітки) і вертикальних електродів, застосувавши відповідні коефіцієнти. Результуючий опір заземлюючого пристрою розраховується з передумови, що дану конфігурацію системи електродів можна розглядати, як паралельне з'єднання провідників.

Порядок розрахунку захисного заземлення

Розрахунок захисного заземлення має на меті визначити основні параметри заземлення - число, розміри і розміщення одиночних заземлювачів і заземлюючих провідників, при яких напруги дотику і кроку в період замикання фази на заземлений корпус не перевищують допустимих значень.

Спосіб розрахунку заснований на застосуванні коефіцієнтів використання провідності заземлювача, тому його називають способом коефіцієнтів використання.

Розрахунок може бути виконаний як по допустимому опорі розтікання струму заземлювача, так і по допустимій напрузі доторкнення (кроку).

В даний час розрахунок заземлювачів виконується **в більшості випадків по допустимому опорі заземлювача.**

Розрахунок параметрів заземлювача.

На основі схеми заземлення та наявних даних про питомий опір ґрунту обчислюється розрахунковий опір R_3 цього заземлювача в наступному порядку:

1. За схемою заземлювача визначається сумарна довжина горизонтального електроду l_r і кількість вертикальних електродів n .

2. Для заземлювачів, розташованих нижче рівня землі ($H = 0,7$ м), за формулою (3.7) визначається розрахункове значення питомого опору ґрунту ρ для вертикального і горизонтального заземлювачів відповідно:

$$\rho = \rho_{sp} \cdot \kappa_n \quad (3.7)$$

де ρ_{sp} - питомий електричний опір ґрунту [4,табл.5 Додатку];

κ_n - підвищуючі коефіцієнти, що враховують зміни опору ґрунту в залежності від кліматичних зон, для вертикального і горизонтального заземлювачів відповідно [4,табл.6 Додатку].

3. За формулою (3.8) обчислюється **розрахунковий опір одиночного вертикального заземлювача R_v (стрижня або труби діаметром d), заглибленого в землю, верхній край якого знаходиться на поверхні землі** (Рис. 3. 5 а.):

$$R_v = 0,366 \cdot \frac{\rho}{l} \cdot \ln \frac{4t}{d} \quad (3.8)$$

Якщо вертикальний заземлювач має форму куточка з шириною полки b , то слід вважати $d = 0,95 b$.

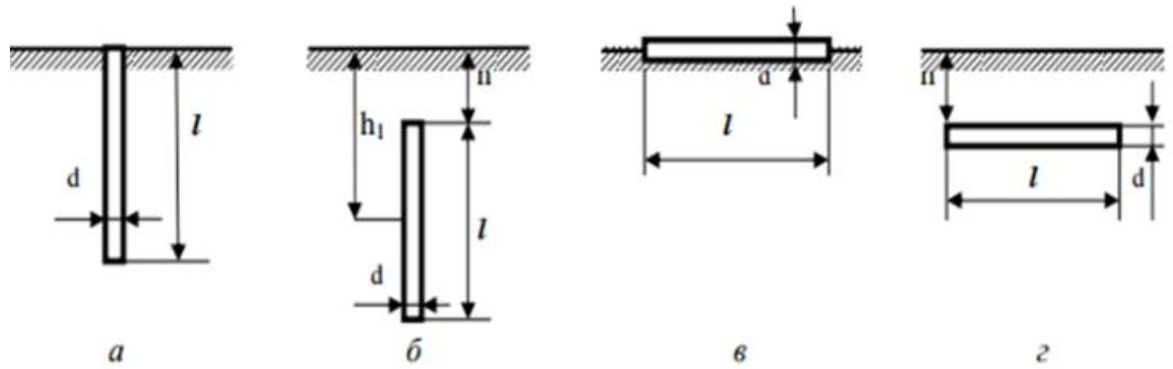


Рисунок 3.5 – Розміщення заземлювачів:

а)стрижневий вертикальний у поверхні землі; б)стрижневий вертикальний, заглиблений в землю; в)стрижневий горизонтальний у поверхні землі; г)стрижневий горизонтальний заглиблений в землю.

4. Для стрижнів або труб діаметром d , заглиблених в землю на $h = 0,7$ м (рис.3.5 б), опір одиночного вертикального заземлювача $R_в$ визначається за формулою (3. 9):

$$R_в = 0,366 \frac{\rho}{l} \cdot \left(1n \frac{2l}{d} + 0,51 \cdot 1n \frac{4h_1 + 1}{4h_1 - 1} \right), \text{ Ом} \quad (3. 9)$$

Для куточка з шириною полиці b слід вважати $d = 0,95 b$

Розрахункове значення опору горизонтального електроду $R_г$, розташованого на поверхні землі (Рис.4в) і має форму стрижня, або труби, визначається за формулою (3. 10):

$$R_г = 0,183 \frac{\rho}{l_г} \ln \frac{2l_г}{d}, \text{ Ом} \quad (3.10)$$

Для горизонтально розташованого електроду у вигляді стрижня або труби, заглибленого в землю на $h = 0.7$ м (Рис.3. 5 г), опір $R_г$ визначається за формулою (3. 11):

$$R_г = 0,366 \frac{\rho}{l_г} \ln \frac{l_г^2}{d \cdot h}, \text{ Ом} \quad (3. 11)$$

Для смуги шириною b слід вважати $d = 0,5 b$.

За [4,табл.2 і 3 Додатків] знаходяться коефіцієнти використання для вертикальних $\eta_в$ і горизонтальних $\eta_г$ електродів і за формулою (3.12) обчислюється **розрахунковий опір заземлювача $R_з$:**

$$R_з = \frac{R_в R_г}{R_в \cdot \eta_г + R_г \cdot \eta_в \cdot n}, \text{ Ом} \quad (3. 12)$$

де n - кількість вертикальних електродів.

Якщо розрахунковий опір заземлювача $R_з$ збігається або менше допустимого значення $R_д$, це свідчить про те, що всі основні параметри прийнятого нами заземлювача (форма, розміри, розміщення електродів в землі і відносно один одного) обрані правильно і, отже, напруги дотику і кроку знаходяться в допустимих межах.

Таблиця 3. 1 – Питомий опір ґрунту.

Ґрунт	ρ , Ом-м	Ґрунт	ρ , Ом-м
Пісок	400-1000	Торф	20
Супісь	150—400	Чорнозем	10-50
Суглинок	40-150	Вапняк	1000—2000
Глина	8-70	Скелястий	2000
Садова земля	40	Ґрунт	2000-4000

Таблиця 3. 2 - Коефіцієнти використання вертикальних заземлювачів η_v

Число заземлювачів n	Відношення відстаней між заземлювачами до їх довжини a/l					
	1	2	3	1	2	3
	електроди розміщені в ряд			електроди розміщені по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,8
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	-	-	-	0,41	0,58	0,66
60	-	-	-	0,39	0,55	0,64
100	-	-	-	0,36	0,52	0,62

Таблиця 5. 3 - Коефіцієнти використання горизонтальних заземлювачів η_r

Число заземлювачів n	Відношення відстаней між заземлювачами до їх довжини a/l					
	1	2	3	1	2	3
	електроди розміщені в ряд			електроди розміщені по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,8
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	-	-	-	0,41	0,58	0,66
60	-	-	-	0,39	0,55	0,64
100	-	-	-	0,36	0,52	0,62

Таблиця 5. 4 - Значення підвищуючого коефіцієнта K_p для заземлювачів, розміщених нижче рівня землі ($h = 0,7\text{м}$)

Кліматична зона	Значення K_p	
	для горизонтальних заземлювачів	для вертикальних заземлювачів
I	4,5-7,0	1,8-2,0
II	3,5-4,5	1,6-1,8
III	2,5-4,0	1,4-1,6
IV	1,5-2,0	1,2-1,4

Питання для самоперевірки

1. Глибина забивання заземлювачів.
2. Формула визначення опору вертикальних заземлювачів.
3. Криві для визначення коефіцієнта використання заземлювачів.
4. Визначення кількості вертикальних заземлювачів.
5. Визначення розрахункового значення питомого опору ґрунту ρ для вертикального і горизонтального заземлювачів розташованих нижче рівня землі.

ЛЕКЦІЯ № 4. ОСОБЛИВОСТІ ЗАЗЕМЛЕННЯ У ЧОТИРИПРОВІДНІЙ МЕРЕЖІ НАПРУГОЮ 380/220 В. ЗАХИСТ ВІД ПОЯВИ НА НЕСТРУМОПРОВІДНИХ ЧАСТИНАХ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ.

1. Умови створення заземлення в мережах низької напруги.
2. Цілі створення повторного заземлення нульового провода.
3. Загальний опір всіх повторних заземлень.
4. Улаштування повторних заземлень.
5. Призначення занулення.
6. Захисна дія заземлення і занулення.
7. Систем заземлення і занулення в електроустановках напругою до 1000 В.

ЛІТЕРАТУРА

1. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво «Форт», 2017. - 760 с.
2. Козирський В. В. Електропостачання агропромислового комплексу / В. В. Козирський, В. В. Каплун, С. М. Волошин – К.: Аграрна освіта, 2011- 448 с.
3. Притака І. П. Електропостачання сільського господарства / І. П. Притака, Б. В. Мозирський. – Київ: Урожай, 1995 р. - 333 с.
4. Попадченко С. А., Савченко О. А. Захист ліній та підстанцій від блискавки та атмосферних перенапруг - Методичний посібник – Х.: ХНТУСГ імені Петра Василенка, 2019. – 120 с.

У мережах низької напруги окремо для кожного апарата або приладу заземлення не створюють. Всі металеві деталі, що в нормальному режимі не перебувають під напругою, з'єднують з заземленим нульовим проводом.

При металевому замиканні якої-небудь фази на корпус чи іншу не стру-мопровідну металеву конструкцію проходить струм к. з., достатній, щоб перегоріла плавка вставка запобіжника або спрацював автомат на вимикання.

При струмах, що в 3 рази перевищують номінальний струм запобіжника або у 1,5 рази – струм спрацювання автомата, відбувається досить швидке вимикання пошкодженої фази.

Для зменшення потенціалу, а також для підвищення надійності захисного заземлення (наприклад, при обриві нульового проводу) на кінцях повітряних ліній (або відгалужень) завдовжки більше 200 м слід виконувати повторні заземлення нульового проводу.

Якщо електроустановка розміщується поза приміщенням, то відстань до ближнього повторного заземлення або заземлення нейтралі джерела не повинна бути більшою 100 м.

Загальний опір всіх повторних заземлень не повинен перевищувати:

5 Ом для електроустановок 660/380 В,

10 Ом для електроустановок 380/220 В,

20 Ом для електроустановок 220/127 В.

При цьому опір кожного повторного заземлення повинен бути не більше значень для штучного заземлення нейтралей генераторів і трансформаторів:

2 Ом для електроустановок 660/380 В,

4 Ом для електроустановок 380/220 В,

8 Ом для електроустановок 220/127 В.

Ці норми необхідно забезпечити з урахуванням природних заземлювачів, а також повторних заземлень нульового проводу ПЛ напругою до 1000 В при кількості відхідних ліній не менше двох.

Заземлення, призначені для захисту від атмосферної перенапруги, рекомендується використовувати також для повторного заземлення нульового проводу.

Штепсельні двополюсні розетки, які використовують для приєднання струмоприймачів з металевим корпусом, мають третій контакт, а вилки – третій стержень для занулення корпуса. Стержень занулення вищий за інші, завдяки чому при вмиканні контакти заземлення штепселя і розетки з'єднуються раніше, ніж струмопровідні контакти. Для заземлення корпуса переносних електроприладів використовують спеціальну жилу переносного проводу, яку не можна використовувати одночасно для робочого струму.

Використовувати нульовий провід цих приладів для заземлення також забороняється.

Приєднують нульовий і заземлюючий проводи до контура заземлення окремо.

Іноді занулення і заземлення плутають один з одним, так в чому різниця між ними? Занулення застосовується за ПУЕ тільки для промислових установок і не є гарантом безпеки. Якщо фаза потрапляє на відкриту частину пристрою, то струм не йде. Після цього відбувається сполучення двох фаз, і, як наслідок, коротке замикання.

Зануленням називається з'єднання металевих неструмоведучих частин електроустановки з нулем (нульовим провідником мережі).

Нульовий провідник необхідний для швидкого реагування диференціального захисного автомата на к. з., але не для захисту людини від ураження струмом. Тому його прийнято використовувати тільки на виробництві, де потрібне швидке відключення живлення у разі аварійної ситуації.

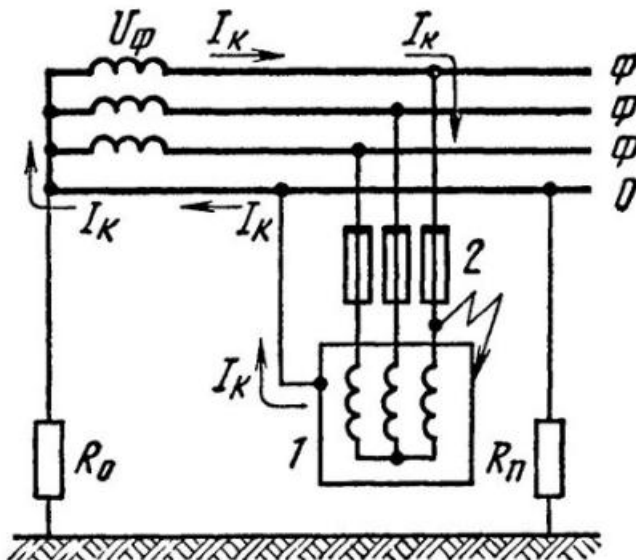


Рисунок 4. 1 – Електрична схема занулення з напрямком струмів к. з.

Робити заземлення в приватному будинку або квартирі необов'язково, і навіть загрожує різними негативними наслідками, бо якщо нульовий провід згорить, то більшу кількість електричних пристроїв, до яких він був підключений, зламається через надзвичайно високий стрибок напруги.

Варто пам'ятати, що Ваша безпека не постраждає, якщо разом з зануленням облаштувати також заземлення, встановити УЗО і захисний вимикач.

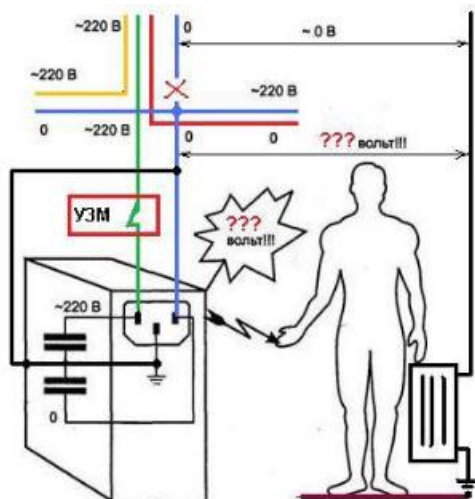


Рисунок 4. 2 – Принцип роботи занулення

Схеми занулення і заземлення мають різну захисну дію:

Нуль гарантує швидку реакцію на зміну потенціалів або витік струму для забезпечення захисту установок. Відповідно, при високій напрузі забезпечується відключення

чення всіх споживачів енергії: освітлювальних приладів, комп'ютера та інших машин (у тому числі, верстатів, трансформаторів).

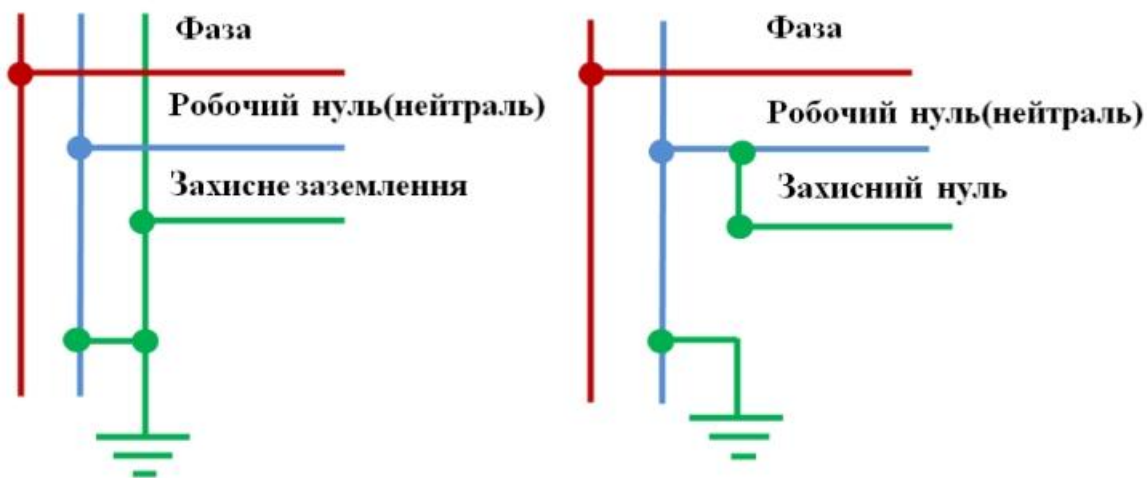


Рисунок 4. 3 - Порівняльна схема занулення і заземлення.

Заземлення ж забезпечує вирівнювання потенціалів і захист від ураження струмом. Земля частіше застосовується в домашніх умовах, її монтаж можна легко зробити своїми руками. Але тут немає гарантії, що запобіжники швидко відреагують на витік.

Оптимальним варіантом для підвищення гарантії безпеки є спільне застосування занулення і заземлення мереж і відкритих частин машин.

За своїм призначенням заземлення і занулення виконують одну й ту ж задачу - захищають людину від ураження електричним струмом. Однак забезпечують вони цю захист трохи різними способами.

Розглянемо приклад, в якому забезпечується захист електроустановки за допомогою занулення.

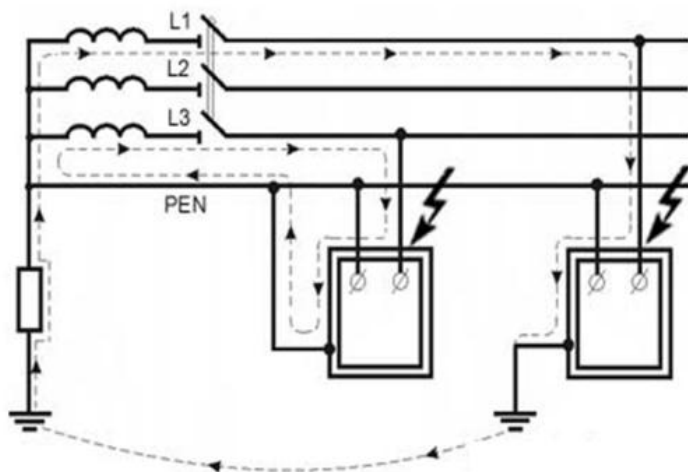


Рисунок 4. 4 – Схема занулення

В електроустановках напругою до 1000 В застосовуються п'ять систем заземлення: TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT.

Занулення використовують в якості захисту в таких системах, в яких присутня PEN, PE або N провідник.

Це мережі з глухо заземленою нейтраллю, TN-C, TN-S і TN-C-S.

Заземлення застосовують в електроустановках з системами заземлення TT і IT.

Розрахунок заземлюючих пристроїв в установках до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю

В установках до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю опір заземлюючого пристрою (R_3) до якого приєднують нейтралі генераторів і трансформаторів повинен бути не більше величин вказаних в табл. 4.1. Ці опори забезпечені з урахуванням природних заземлювачів і повторного заземлення повітряних ліній до 1000 В.

Опір кожного повторного заземлення ($R_{пз}$) і загальний опір всіх повторних заземлювачів не повинен перевищувати величин зазначених в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Допустимі опори заземлюючих пристроїв та повторних заземлювачів в мережах нижче 1000 В

$U_{л}/U_{ф}$, В	660/380	380/220	220/127
R_3 , Ом	2	4	6
$R_{пз}$, Ом	15	30	60
$R_{пз\Sigma}$, Ом	5	10	20

Правила дозволяють не влаштовувати повторних заземлень на відгалуженнях довжиною до 200 м, а також в кабельних лініях, оскільки обрив нульової жили в них малоімовірний. Повторні заземлення і в цих умовах корисно мати з метою зниження напруги дотику при замиканні на корпус.

Відповідно до ПУЕ для електроустановок напругою до 1000 В з заземленою нейтраллю при питомому опорі землі більше 100 Ом м допускається збільшувати вказані в табл. 4.1 норми в $\rho / 100$ раз, але не більше ніж в 10 разів [1, § 1.7.62].

В якості повторних заземлювачів слід максимально використовувати природні заземлювачі, зокрема водопровід. Ці заземлювачі можуть поряд з природними провідниками мати добрий зв'язок з нейтраллю трансформатора при обриві нульових провідників.

Спосіб розрахунку заснований на застосуванні коефіцієнтів використання провідності заземлювача, тому його називають способом коефіцієнтів використання.

Розрахунок може бути виконаний як по допустимому опорі розтікання струму заземлювача, так і по допустимій напрузі доторкнення (кроку). В даний час розрахунок заземлювачів виконується в більшості випадків по допустимому опорі заземлювача.

Розрахунок параметрів заземлювача.

Порядок розрахунку.

1. Визначається опір розтіканню струму в землі одного вертикального заземлювача R_3 у вигляді:

a) труби, забитої в землю до рівня її поверхні

$$R_{mp} = \frac{\rho_{розр}}{2 \cdot \pi \cdot l_0} \cdot \ln \frac{4 \cdot l_0}{d_{mp}}, \quad (4.1)$$

де $\rho_{розр.} = k_c \cdot k_1 \cdot \rho_{взм.}$, Ом.м;

k_c - коефіцієнт сезонності, який враховує промерзання ґрунту; (при розміщенні заземлювача на глибині $h > 1$ м і $k_c = 1$);

l_0 - довжина заземлювача, м;

$d_{тр}$ - діаметр труби, м;

k_1 - коефіцієнт, який враховує стан ґрунту за вимірювань за значної вологості;

ρ - питомий опір ґрунту, Ом.м;

б) кутника (за тієї ж умови)

$$R_{кут} = \frac{\rho_{розр.}}{2 \cdot \pi \cdot l_0} \cdot \ln \frac{4 \cdot l_0}{0,95 \cdot b_{нк}}, \quad (4.2)$$

де $b_{нк}$ - ширина полички кутника, м.

Якщо заземлювачі забиваються в землю нижче рівня її поверхні з деяким заглибленням h (при чому $h \geq 0,5$ м), то опір одного заземлювача розтіканню струму визначається за наступними формулами:

а) для труби

$$R_{тр} = \frac{\rho_{розр.}}{2 \cdot \pi \cdot l_0} \cdot \left(\ln \frac{2l_0}{d_{тр}} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4t + l_0}{4t - l_0} \right), \quad (4.3)$$

де $t = h + l_0 / 2$ - розрахунковий параметр, м,

б) для кутника

$$R_{кут} = \frac{\rho_{розр.}}{2 \cdot \pi \cdot l_0} \cdot \left(\ln \frac{4l_0}{0,95 \cdot b_{нк}} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4t + l_0}{4t - l_0} \right). \quad (4.4)$$

2. Визначається опір розтіканню струму з'єднувальної смуги $R_{см}$, в якості якої застосовують труби або смугову сталь.

Якщо з'єднувальна смуга знаходиться на поверхні землі ($h=0$), то використовуються наступні формули:

а) для труби

$$R_{см} = \frac{\rho_{розр.}}{2 \cdot \pi \cdot l_0} \cdot \ln \frac{2 \cdot l}{d_{тр}}, \quad (4.5)$$

де l - довжина з'єднувальної смуги, м, яку визначають за формулами:
за розміщення заземлювачів в ряд

$$l = 1,05 \cdot a \cdot (n - 1);$$

за розміщення заземлювачів по контуру

$$l = 1,05 \cdot a \cdot n,$$

де a - відстань між сусідніми заземлювачами, м; n - число вертикальних заземлювачів, шт.

Необхідна кількість вертикальних заземлювачів визначається за формулою:

$$n = \frac{R_0}{R_3 \eta_3}, \quad (4.6)$$

де R_0 – опір одиночного заземлювача (R_{mp} або $R_{кут}$), Ом;
 R_3 – допустимий опір заземлюючого пристрою згідно вимог ПУЕ ($R_3 \leq 4 \text{ Ом}$);
 η_3 – коефіцієнт взаємного екранування заземлювачів;

б) для сталюї смуги шириною b

$$R_{см} = \frac{\rho_{розр}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2l}{0,5 \cdot b}. \quad (4.7)$$

За розміщення з'єднувальної смуги на деякому заглибленні h опір розтіканню струму з неї визначається за формулами:

а) для труби

$$R_{см} = \frac{\rho_{розр}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l^2}{d_{тр} \cdot h}, \quad (4.8)$$

б) для смуги

$$R_{см} = \frac{\rho_{розр}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l^2}{0,5 \cdot b \cdot h}. \quad (4.9)$$

Після визначення величини опорів одиночного заземлювача R_0 (R_{mp} або $R_{кут}$) і з'єднувальної смуги $R_{см}$ розраховується **повний опір заземлюючого улаштування розтіканню струму за формулою:**

$$R_{з\gamma} = \frac{R_{тр} \cdot R_{см}}{R_{тр} \cdot \eta_{см} + n \cdot R_{см} \cdot \eta_3}, \quad (4.10)$$

де $\eta_{см}$ – коефіцієнт екранування з'єднувальної смуги.

Якщо отримане значення $R_{з\gamma}$ не відповідає вимогам ПУЕ, тобто більше 4 Ом, то змінюють кількість заземлювачів і розрахунок повторюють знову.

Питання для самоперевірки

1. Призначення занулення та нульового провідника.
2. Заходи для зменшення потенціалу та підвищення надійності захисного заземлення.
3. Розрахунок заземлюючих пристроїв в установках до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю
4. Заземлення електроприладів і апаратів.
5. Заземлення корпусу переносних електроприладів.
6. Відмінність захисної дії занулення і заземлення.

Лекція № 5. МАКСИМАЛЬНИЙ СТРУМОВИЙ ЗАХИСТ МЕРЕЖ 110-35/10 КВ. СТРУМОВА ВІДСІЧКА.

1. Визначення максимального струмового захисту(МСЗ) і структурна схема.
2. Приклад вибору витримки часу.
3. Приклад виконання МСЗ.
4. Робота схеми МСЗ.
5. Розрахунок параметрів максимального струмового захисту.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Єрмолаєв С. О. Проектування систем електропостачання в АПК: навчальний посібник / С. О. Єрмолаєв, В.Ф. Яковлєв, В. О. Мунтян, В. В. Козирський, І. П. Радько, Ю. М. Куценко - Мелітополь: Люкс, 2009, - 570 с.
2. Коваленко О. І. Основи електропостачання сільського господарства: Навчальний посібник / О. І. Коваленко, Л. Р. Коваленко, В. О. Мунтян, І. П. Радько. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2011 – 462 с.
3. Копьев В. Н. Релейная защита. Принципы выполнения и применения: учебное пособие / В. Н. Копьев - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 153 с.
4. Мельников М. А. Релейная защита и автоматика элементов систем электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие / М. А. Мельников – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 218 с.
5. Шкрабець Ф.П. Основи електропостачання. Навчальний посібник / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плєшков – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010, - 408 с.

Принцип дії максимального струмового захисту заснований на фіксації збільшення струму при виникненні короткого замикання і спрацюванні за принципом селективності з витримкою часу.

Структурно схему максимального струмового захисту, що виконує функції захисту лінії, можна представити в наступному вигляді (Рис.5. 1).

Струм захищеного об'єкта контролюється вимірювальним (пусковим) органом захисту **ВО**.

Пусковий орган спрацьовує, якщо контрольована величина струму $I_{\text{контр}}$ стає більше максимально можливого робочого значення $I_{\text{роб.макс}}$:

$$I_{\text{контр}} > I_{\text{роб.макс}} \quad (5. 1)$$

Хоча будь-яке коротке замикання супроводжується збільшенням струму, фіксація даної ознаки не дозволяє зробити однозначного висновку про пошкодження об'єкта.

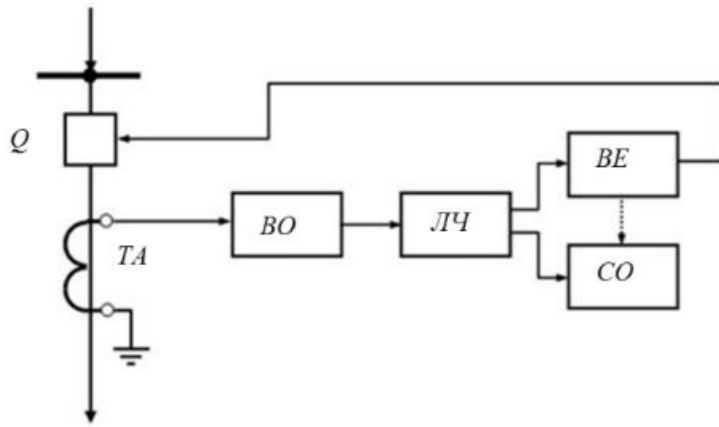


Рисунок 5. 1 - Структурна схема максимального струмового захисту: *ВО* - вимірювальний (пусковий) орган захисту; *ЛЧ* - логічна частина; *ВЕ* - виконавчий елемент; *СО* - сигнальний орган.

Нехай лінії мережевої ділянки, представленої на рис.12. 2, обладнані максимальним струмовим захистом.

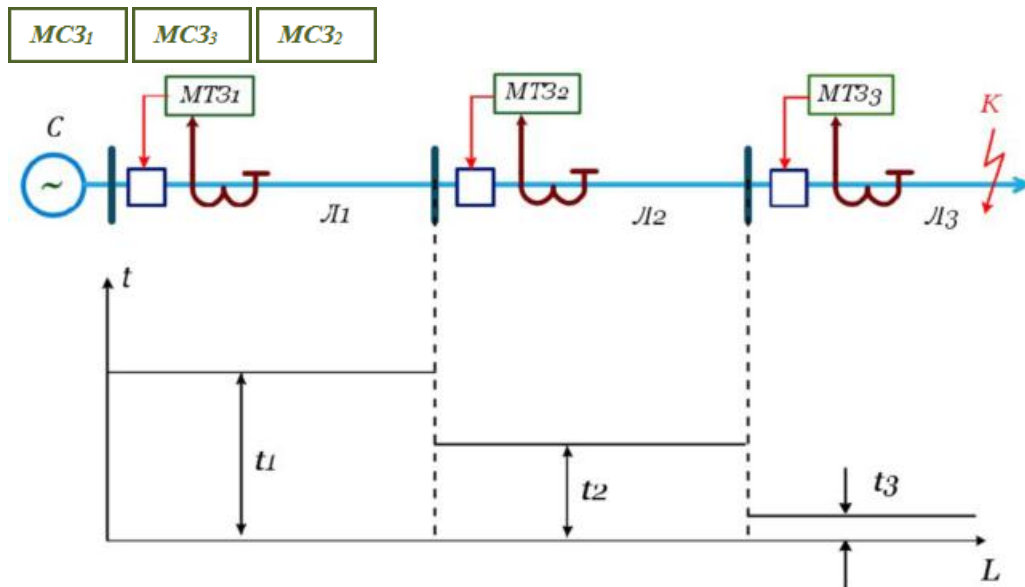


Рисунок 5. 2 - Приклад вибору витримки часу.

У випадку виникнення короткого замикання на лінії *Л3* в точці *К* за умовами селективності повинна бути подана команда на відключення вимикача *Q3*.

КЗ призводить до протікання струму витоку по всіх лініях, що викликає спрацювання пускових органів всіх трьох захистів.

Вимогу селективності забезпечує логічна частина *ЛЧ* шляхом створення затримки на спрацювання, обраної за таким правилом.

Значення витримки часу захистів збільшуються на величину, яка називається **ступенем селективності**.

Для наведеного прикладу

$$t_3 \approx 0; \quad t_2 = t_3 + \Delta t; \quad t_1 = t_2 + \Delta t.$$

Ступінь селективності враховує час відключення вимикачів, похибки елемента затримки спрацювання.

Зазвичай Δt приймається рівним (0,4 – 0,6) сек.

Виконавчий елемент **ВЕ** сприймає сигнал логічної частини і формує команду на відключення вимикача.

Сигнальний орган **СО** фіксує спрацювання захисту.

Елементи максимального струмового захисту - пусковий, логічний, виконавчий, сигнальний виконуються на реле.

Під терміном «реле» розуміється група приладів автоматичного управ-ління, що стрибкоподібно змінюють свій стан при досягненні вхідної величини певного значення, тобто володіють релейною характеристикою спрацювання (рис. 5. 3).

Захист, найбільш віддалений від джерела живлення, повинен мати мінімальний час спрацювання. У міру наближення до джерела живлен-

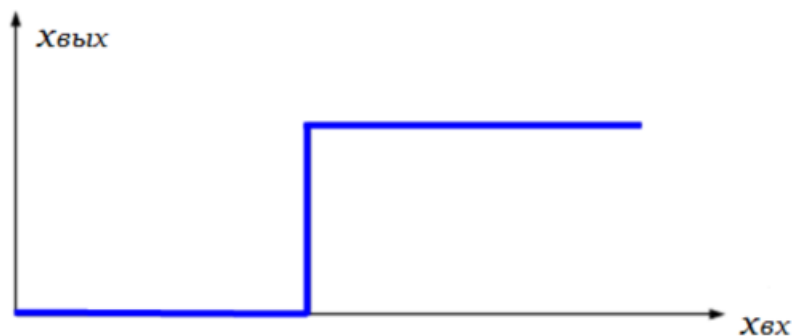


Рисунок 5. 3 - Релейна характеристика спрацювання:
 $x_{вх}$ - вхідна величина; $x_{вих}$ - вихідна величина.

Реле можуть виконуватися на електромагнітному і індукційному принципах, на аналоговій або цифровій мікроелектроніці.

Приклад виконання МСЗ

На рис. 5. 4 показана повна схема максимального струмового захисту на постійному оперативному струмі с електромеханічними струмовими реле. Трансформатори струму і реле з'єднані за схемою неповної зірки.

Оперативний струм потрібен для живлення реле в схемах релейного захисту, сигналізації, управління вимикачами.

В якості джерел оперативного струму застосовуються акумуляторні батареї, трансформатори струму і напруги, трансформатори власних потреб.

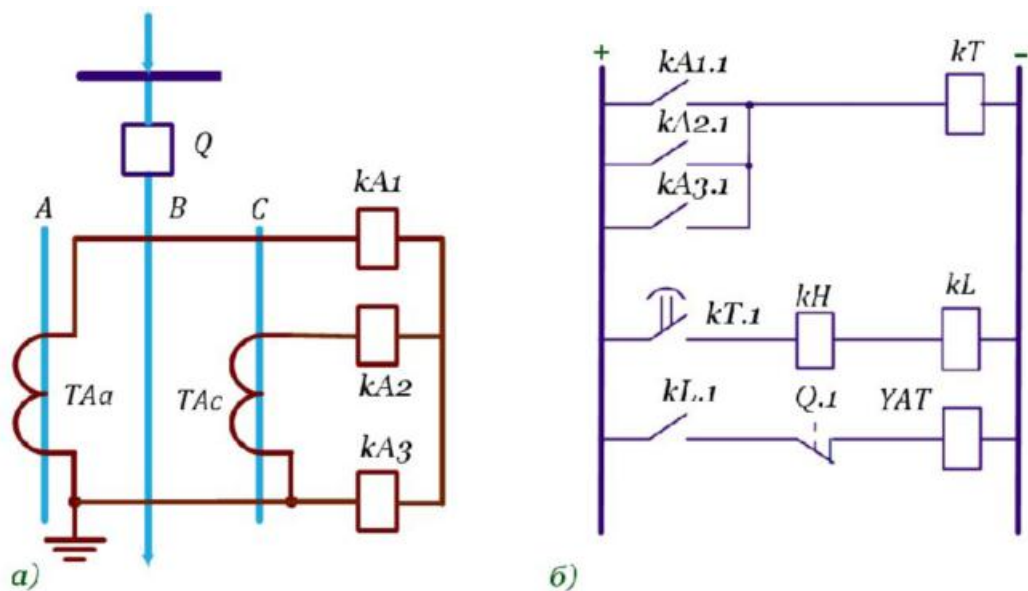


Рисунок 5. 4 - Схема максимального струмового захисту:
 а) схема кіл змінного струму; б) схема кіл постійного струму

Акумуляторні батареї використовуються на великих енергетичних об'єктах, так як їх застосування вимагає спеціально обладнаних приміщень і наявність обслуговуючого персоналу.

Інші джерела оперативного струму використовуються в системах енергопостачання промислових об'єктів, об'єктів сільського господарства і т. д.

Робота схеми МСЗ.

При виникненні короткого замикання спрацьовують два або три струмових реле і подають живлення на реле часу kT . Реле часу, відпрацювавши встановлену витримку, подає "плюс" на вихідне проміжне реле kL . Спрацьовування вихідного реле призводить до подачі живлення через блок-контакт вимикача $Q.1$ на електромагніт відключення YAT . Вказівне реле kH сигналізує про спрацьовування захисту.

У найбільш загальному вигляді, без урахування конкретної елементної бази, принцип і алгоритм роботи максимального струмового захисту можна проілюструвати за допомогою алгебри логіки, рис.5. 5.

Контрольований сигнал від трансформаторів струму TA подається на струмові реле $kA1$, $kA2$, $kA3$. Сигнал на виході кожного з цих реле в режимі чергування дорівнює нулю, а при виникненні короткого замикання струмові реле, що спрацювали формують на виході одиницю.

DW - логічний елемент АБО; сигнал на його виході стає рівним одиниці, якщо хоча б один вхідний сигнал дорівнює одиниці. В елементі DT (тригер) реалізується витримка часу захисту, необхідна для забезпечення вимог селективності захисту; kL - вихідний орган захисту; kH - елемент сигналізації.

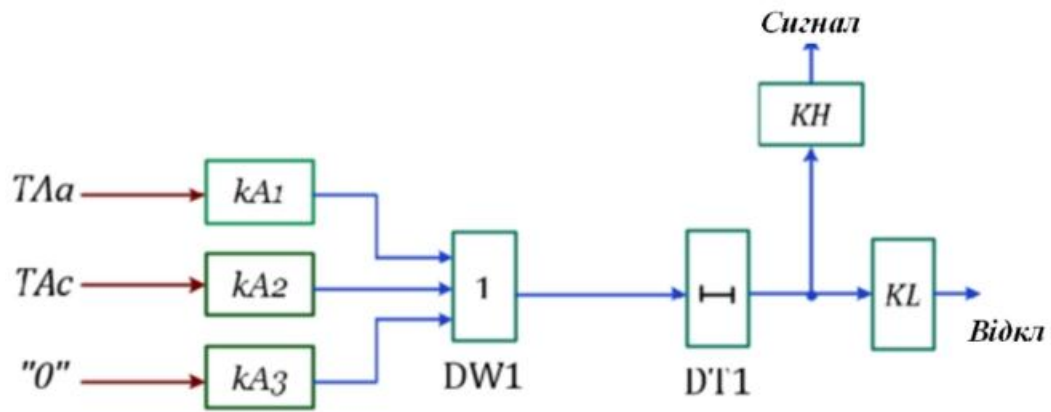


Рисунок 5. 5 - Принцип і алгоритм роботи максимального струмового захисту з використанням елементів логіки.

Якщо поведінку захисту представити у вигляді логічної функції T , то умова спрацювання можна записати у вигляді

$$T = (KA1 \text{ OR } KA2 \text{ OR } KA3) \text{ AND } DT1 \uparrow = 1,$$

де $KA1, KA2, KA3$ - логічні сигнали на виходах струмових вимірювальних органів захисту;

OR - «або»;

AND- «і»;

$DT1 \uparrow$ - оператор тимчасової затримки.

Розрахунок параметрів максимального струмового захисту

Розрахунок параметрів максимального струмового захисту зводиться до вибору струму спрацювання і витримки часу і оцінки чутливості захисту.

Вибір струму спрацювання

При виборі струму спрацювання $I_{с.з.}$ необхідно враховувати такі фактори:

1. Захист не повинен працювати від максимально можливого робочого струму

$$I_{с.з.} < I_{роб.макс} \quad (5.2)$$

2. Після відключення зовнішнього короткого замикання пускові органи захисту повинні повернутися в початковий стан:

$$I_{с.з.} > \frac{I_{роб.макс}}{k_{нов}}, \quad (5.3)$$

$$\text{де } k_{нов} = \frac{I_{нов.}}{I_{спр.}} \text{ - коефіцієнт повернення реле;} \quad (5.4)$$

$I_{нов.}$ - струм повернення реле;

$I_{спр.}$ - струм спрацювання реле.

3. При виборі струму спрацювання необхідно врахувати збільшення струму при пуску двигунів:

$$I_{с.з.} > \frac{K_{сз}}{K_{нов.}} \cdot I_{роб.макс.} \quad (5.5)$$

де $k_{сз} = \frac{I_{пуск.д}}{I_{ном.д}}$ - коефіцієнт самозапуску, рівний відношенню пускового струму

двигуна $I_{пуск.д}$ до його номінального значення $I_{ном.д}$.

Зазвичай значення $k_{сз}$ знаходиться в межах (1- 4).

Точне значення визначається розрахунком або задається в якості вихідних даних.

4. Враховуючи похибки розрахунку, похибки трансформаторів струму і реле, вираз для струму спрацьовування захисту остаточно запишеться у вигляді:

$$I_{с.з.} > \frac{k_n \cdot k_{с.з.}}{k_g} \cdot I_{роб.макс.} \quad (5.6)$$

де k_n - коефіцієнт надійності;

$k_n = (1.15 - 1.3)$ - для напівпровідникових реле;

$k_n = (1.2 - 1.3)$ - для електромагнітних реле;

$k_n = 1.5$ - для індукційних реле.

Для того щоб визначити струм спрацьовування реле, достатньо врахувати коефіцієнт трансформації трансформаторів струму і схему з'єднання трансформаторів струму і реле:

$$I_{с.з.} > \frac{k_n \cdot k_{сз} \cdot k_{сх}}{k_{пов} \cdot n_{ТС}} \cdot I_{роб.макс.} \quad (5.7)$$

де $n_{ТС}$ - коефіцієнт трансформації трансформаторів струму;

$k_{сх}$ - коефіцієнт схеми, рівний відношенню струму в реле до вторинного струму трансформатора струму.

Вибір часу спрацьовування

Максимальні струмові захисти можуть мати незалежну і залежні характеристики спрацьовування.

Максимальні струмові захисти з незалежною характеристикою спрацьовування.

Для забезпечення належного функціонування захистів час спрацьовування захисту, найбільш віддаленого від джерела живлення, приймається мінімальним.

Витримка часу кожної попередньої збільшується на ступінь селективності Δt :

$$t_n = t_{n-1} + \Delta t. \quad (5.8)$$

Ступінь селективності повинна враховувати тип встановлених вимикачів і елементну базу, на підставі якої виконується затримка на спрацьовування захисту і зазвичай становить:

$$\Delta t = (0,4 - 0,6) \text{ с.}$$

Максимальні струмові захисти із залежною характеристикою спрацьовування.

Наявність залежною від значення струму витримки часу дозволяє підвищити швидкість і ефективність максимального струмового захисту, наприклад, при необхідності обліку переважувальної характеристики обладнання.

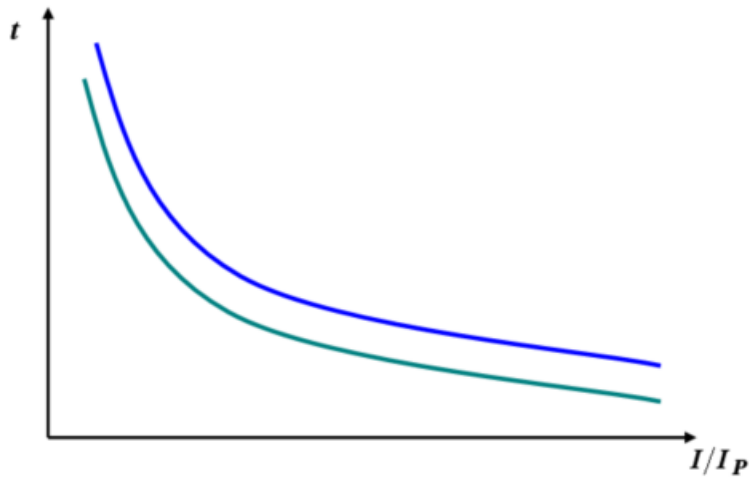


Рисунок 5. 6 - Приклад характеристик часу спрацювання максимального струмового захисту з залежною витримкою часу.

Структура захисту практично збігається зі схемою, представленою на

Рис. 12., з заміною елемента з незалежною витримкою часу елементом з залежним часом роботи. У відповідності зі стандартами ІЕС і ANSI / IEEE основні характеристики можна описати виразом

$$t = \left[\frac{G}{(I / I_p)^\alpha - 1} + H \right] \cdot D,$$

де G , α , H - коефіцієнти, що визначають форму необхідної характеристики;

I - струм короткого замикання;

I_p - уставка реле;

D - постійна часу.

Оцінка чутливості захисту

Чутливість захисту оцінюється значенням коефіцієнта чутливості:

$$k_{\text{чутл.}} = \frac{I_{\text{к.з.мін}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.}}}, \quad (5.9)$$

де $I_{\text{к.з.мін}}^{(2)}$ - мінімальне значення струму двофазного короткого замикання.

Чутливість перевіряється для двох режимів - основного та режиму резервування (Рис.5. 7).

Якщо захист PZ_1 працює як основний, то його чутливість перевіряється по короткому замиканню в кінці лінії, що захищається, точка K_1 .

Для максимальних струмових захистів значення коефіцієнта чутливості має бути більше або дорівнює 1.5.

$$k_{\text{чутл.}} = \frac{I_{\text{к.з.мін}}^{(2)}(K_1)}{I_{\text{с.з.}}} \geq 1,5$$

Якщо захист PZ_1 працює в режимі далекого резервування, то чутливість перевіряється по короткому замиканню в кінці лінії, що резервується, точка K_2 :

$$k_{\text{чутл}} = \frac{I_{\text{к.з. МВН}}^{(2)}(F_0)}{I_{\text{с.з.}}} \geq 1,2$$

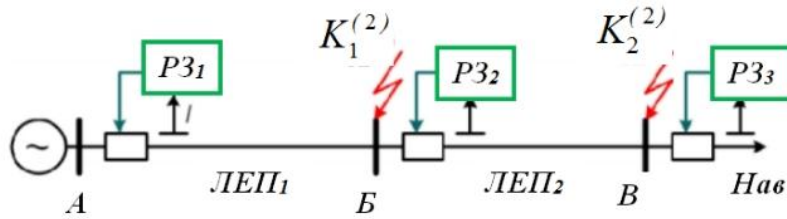


Рисунок 5. 7 - Оцінка чутливості захисту.

Значення коефіцієнта чутливості має бути більшим або рівним 1.2.

Недоліки МСЗ:

- мала швидкодія;
- недостатня чутливість у сильно навантажених та протяжних лініях;
- неможливість правильної роботи в кільцевих мережах та в радіальних мережах з декількома джерелами живлення.

Принцип дії струмового відсічки

Струмова відсічка відноситься до струмових захистів, що реагують на збільшення струму.

Основна її відмінність від МСЗ полягає в способі забезпечення селективності.

В якості прикладу розглянемо ділянку мережі, що складається з двох ліній з одностороннім живленням (рис.5.8).

Зона дії відсічки

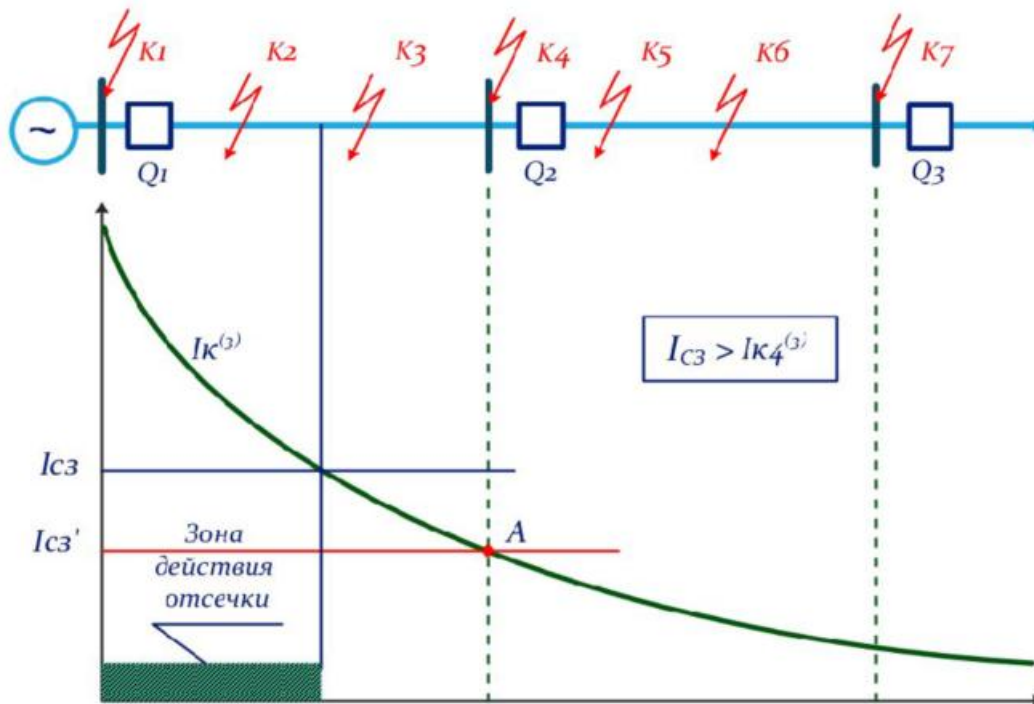


Рисунок 5. 8 - Принцип дії струмової відсічки на лінії з одностороннім живленням.

На цьому ж рисунку крива показує зміну струму трифазного короткого замикання в залежності від відстані до точки короткого замикання.

Крива побудована на основі виразу:

$$I_k^{(3)} = \frac{E_\phi}{x_c + x_0 \cdot l_k},$$

де E_ϕ - фазна э. р. с. системи;

x_c - системи;

x_0 - питомий опір 1 км лінії;

l_k - відстань до місця короткого замикання.

Для того щоб захист працював при коротких замиканнях на своїй лінії і не працював на суміжній лінії, достатньо виконати умову відбудування захисту від струму трифазного короткого замикання в кінці лінії:

$$I_{сз} \geq I_{к4}^{(3)}.$$

Прийнявши до уваги похибки трансформаторів струму, реле і розрахунку, отримаємо:

$$I_{сз} \geq \kappa_n \cdot I_{к4}^{(3)},$$

де $\kappa_n = (1,2 - 1,3)$ - коефіцієнт надійності.

Таким чином, за принципом дії струмова відсічка не вимагає витримки часу, селективність роботи досягається за рахунок обмеження зони дії.

Графічна ілюстрація зони дії відсічки показана на рис. 5. 7.

Із-за того, що зона роботи відсічки не охоплює всю лінію, відсічка не може бути використана в якості єдиного захисту.

Питання для самоперевірки

1. На чому заснований принцип дії максимального струмового захисту?
2. Структурна схема максимального струмового захисту.
3. Вибір витримки часу.
4. Ступінь селективності та вимоги до селективності.
5. Схема максимального струмового захисту.
6. Представлення роботи максимального струмового захисту з використанням елементів логіки.
7. Розрахунок параметрів максимального струмового захисту
8. Принцип дії струмового відсічки

Лекція № 6. МАКСИМАЛЬНИЙ СТРУМОВИЙ НАПРАВЛЕНИЙ ЗАХИСТ ЗАМКНУТИХ ЛІНІЙ 10 КВ, ЛІНІЙ ВЗАЄМНОГО РЕЗЕРВУВАННЯ.

1. Струмові направлені захисти.
2. Вибір струму спрацювання захисту.
4. Вибір витримок часу.
5. Оцінка чутливості.
6. Принцип дії МСНЗ.
6. Схеми максимальних направлених захистів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Єрмолаєв С. О. Проектування систем електропостачання в АПК: навчальний посібник / С. О. Єрмолаєв, В.Ф. Яковлев, В. О. Мунтян, В. В. Козирський, І. П. Радько, Ю. М. Куценко - Мелітополь: Люкс, 2009, - 570 с.
2. Копьев В. Н. Релейная защита. Принципы выполнения и применения: учебное пособие / В. Н. Копьев - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 153 с.
3. Мельников М. А. Релейная защита и автоматика элементов систем электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие / М. А. Мельников – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 218 с.
4. Шкрабець Ф.П. Основи електропостачання. Навчальний посібник / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плєшков – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010, - 408 с.

Схеми максимальних направлених захистів

Для забезпечення селективності дії максимальних струмових захистів в кільцевих мережах з одностороннім і радіальних мережах з двостороннім живленням пусковий орган захисту виконується у вигляді двох реле - реле струму і реле напрямку потужності, контакти яких з'єднані послідовно.

Реле напрямку потужності (надалі будемо називати реле потужності) замикає свій контакт при позитивному напрямку струму.

Струмові направлені захисти.

Направлені захисти встановлюються на лініях з двостороннім живленням.

На лініях з двостороннім живленням використовуються:

1. Струмові відсічки.
2. Направлений максимальний захист.
3. Поздовжній диференціальний захист.
4. Дистанційний захист.
5. Високочастотний захист.

За позитивний напрямок струму прийнято напрямок струму від шин в лінію.

Принцип роботи струмового направленої захисту розглянемо на прикладі однолінійної схеми (рис.б. 1).

При виникненні короткого замикання на лінії, т. K_1 , спрацювають струмове реле K_A і реле потужності K_W , і захист запускається.

При короткому замиканні поза лінією, т. K_2 , струм направлений з лінії до шин, реле потужності не працює і блокує дію захисту.

Введення затримки на спрацювання забезпечує виконання вимог селективності.

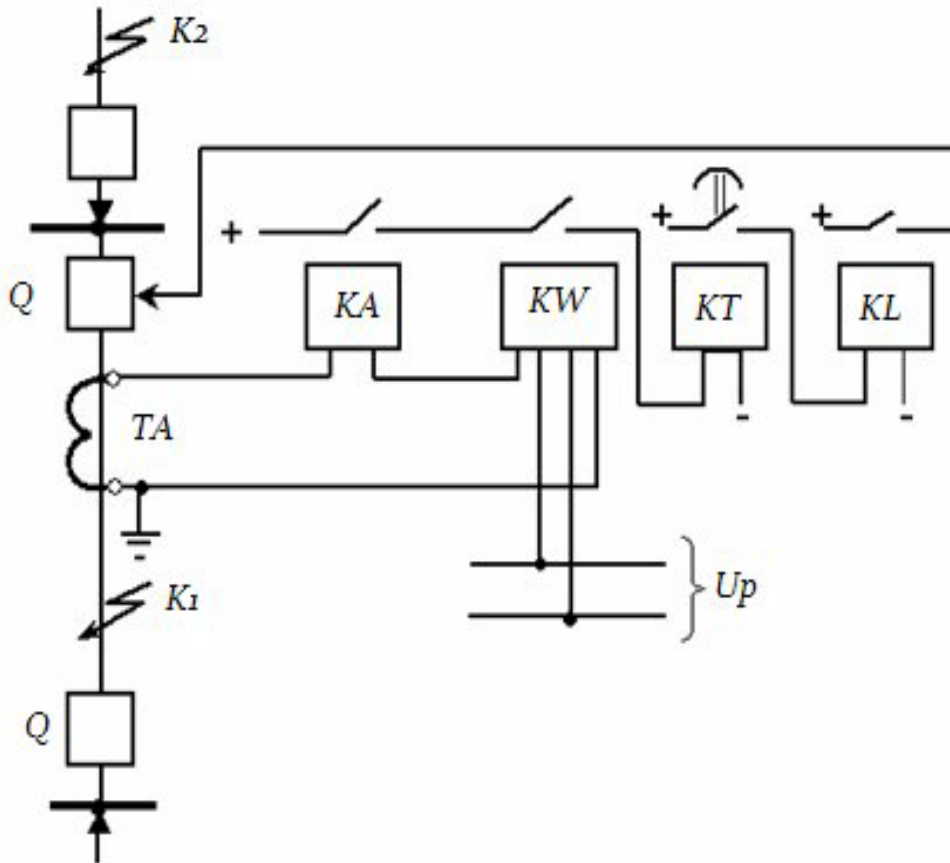


Рисунок 6. 1 - Схема максимального струмового направленої захисту:
Q - вимикач; *TA*- котушки трансформатора струму; *KA* – котушки струмового реле;
KW - котушки реле потужності; *KT*– котушки реле часу; *KL* – котушки проміжного реле;

Розрахунок параметрів захисту полягає у виборі струму спрацювання, витримки часу і оцінці чутливості.

Вибір струму спрацювання.

Струм спрацювання струмових направлених захистів вибирається так само, як для звичайних МСЗ за умовами відбудовування від робочого максимального струму.

При цьому відбудова проводиться від струмів, направлених від шин в лінію.

$$I_{с.з} = \frac{k_n \cdot k_z \cdot k_{cx}}{k_{нов} \cdot n_{ТС}} \cdot I_{роб.макс.}, \tag{6.1}$$

де $k_n = 1,2$ – коефіцієнт надійності;

$k_{cx} = 1$ – коефіцієнт схеми з'єднання трансформаторів струму;

$k_z = 1,2$ – коефіцієнт запасу, яким враховують збільшення струму в мережі, наприклад, при пуску асинхронних двигунів;

$n_{ТС}$ - коефіцієнт трансформації трансформаторів струму, вибирається з таблиці 1, згідно номера бригади;

$k_{нов} = 0,9$ – коефіцієнт повернення реле;

$I_{роб.макс.}$ - первинний робочий максимальний струм, А.

Для селективної дії в мережах із двостороннім живленням струмовий захист доповнюється вимірювальним органом напрямку потужності КВ.

Такий захист називається струмовим направленим.

Вибір витримок часу.

Вибір витримок часу проводиться за зустрічно - ступеневим принципом, застосування якого показано на рис. 6.2. Стрілками на рисунку показано напрямок струму, при якому спрацюють пускові органи захистів.

При короткому замиканні в точці K_1 спрацюють пускові органи захистів 1, 3, 5, 6. Найбільш віддаленим захистом від джерела живлення в цьому режимі є захист 5, тому приймається $t_5 = 0$.

Для інших захистів

$$t_3 = t_5 + \Delta t; \quad t_3 = t_7 + \Delta t \quad - \text{із двох значень вибирається більше};$$

$$t_1 = t_3 + \Delta t; \quad t_1 = t_8 + \Delta t \quad - \text{із двох значень вибирається більше}.$$

При короткому замиканні в точці K_2 спрацюють пускові органи захисту 1, 2, 4, 6. Найбільш віддаленим захистом від джерела живлення в цьому режимі є захист 2, тому приймається $t_2 = 0$.

Для інших захистів

$$t_4 = t_2 + \Delta t; \quad t_4 = t_8 + \Delta t \quad - \text{з двох значень вибирається більше};$$

$$t_6 = t_4 + \Delta t; \quad t_6 = t_7 + \Delta t \quad - \text{з двох значень вибирається більше}.$$

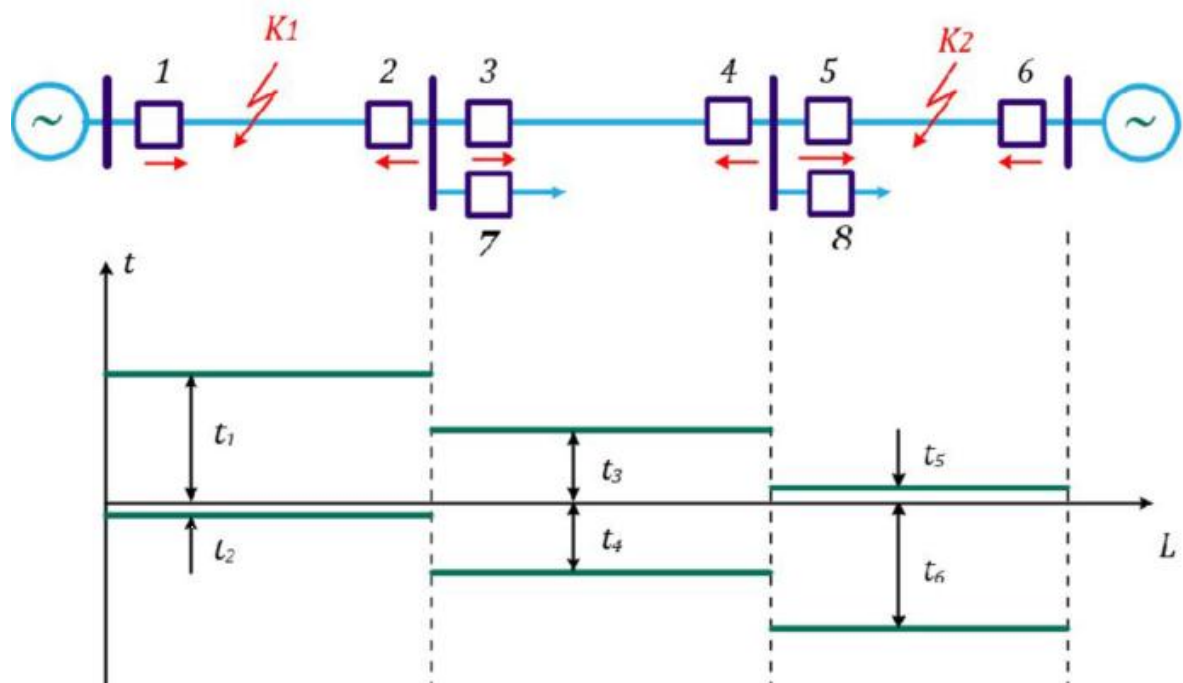


Рисунок 6. 2 - Вибір витримок часу струмових направлених захистів.

Оцінка чутливості.

Чутливість струмових пускових органів максимального струмового направленої захисту (МСНЗ) *оцінюється за струмом двофазного короткого замикання в кінці лінії, що захищається і в кінці ділянок, що резервуються.*

При оцінці поведінки захисту слід врахувати можливість виникнення двох режимів - режиму каскадної дії і відмови захисту через наявність "мертвої зони" по напрузі.

При короткому замиканні поблизу джерела в кільцевій мережі з одностороннім живленням (рис.6. 3) струм короткого замикання, що проходить через захист, встановлений на протилежних шинах, може виявитися недостатнім для його спрацювання. У цьому випадку, незалежно від співвідношення витримок часу, першим спрацює комплект, встановлений поблизу джерела.

Після відключення лінії захистом 6 струм в місці установки захисту 5 збільшується і стає достатнім для його спрацювання.

Така дія захисту називається каскадною.

Ділянка лінії, в межах якої захист працює каскадно, називається зоною каскадної дії захисту.

При трифазному короткому замиканні поблизу місця установки захисту напруга, що підводиться до реле напрямку потужності, може виявитися недостатньою для спрацювання реле, і захист відмовляє.

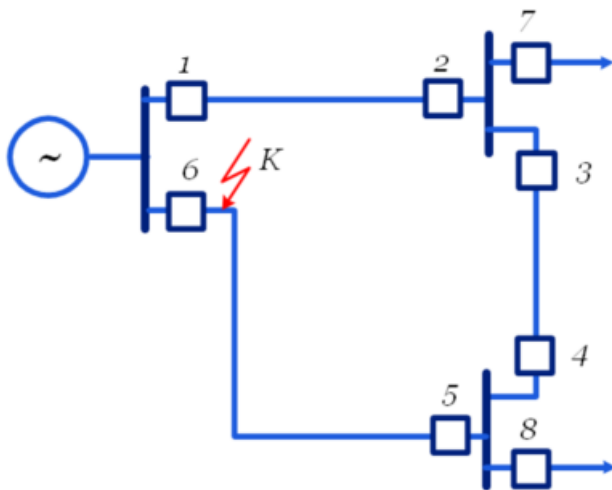


Рисунок 6. 3 - Схема кільцевої мережі.

Ділянка лінії, в межах якої при трифазних коротких замиканнях захист не працює, називається мертвою зоною.

Принцип дії захисту.

При замиканні в будь якій точці фаза струм протікає через захисти $A1$ і $A4$ не змінюється. Тому ці захисти можна виконувати без реле напрямлення потужності.

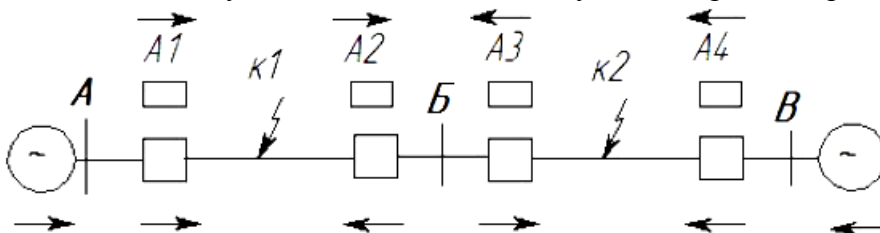


Рисунок 6. 4 – Схема розставлення захистів

Фаза струму при переміщенні точки к. з. від $K1$ до $K2$ в захистах $A2$ і $A3$ змінюється на протилежну. Це використовується в направленому захисті. Реле направлення потужності захисту $A2$ спрацьовує при зсуві фаз відповідному к. з. в т. $K1$, а $A3$ – при зсуві фаз, відповідному к. з. в т. $K2$.

При к. з. в т. $K1$ спрацьовують вимірювальні органи захистів $A1, A2, A4$. Для селективного відключення лінії AB узгоджують витримки часу захистів $A1$ і $A4$.

При к. з. в т. $K2$ спрацьовують вимірювальні органи захистів $A1, A3, A4$. Для селективного відключення лінії BB узгоджують витримки часу захистів $A1$ і $A4$.

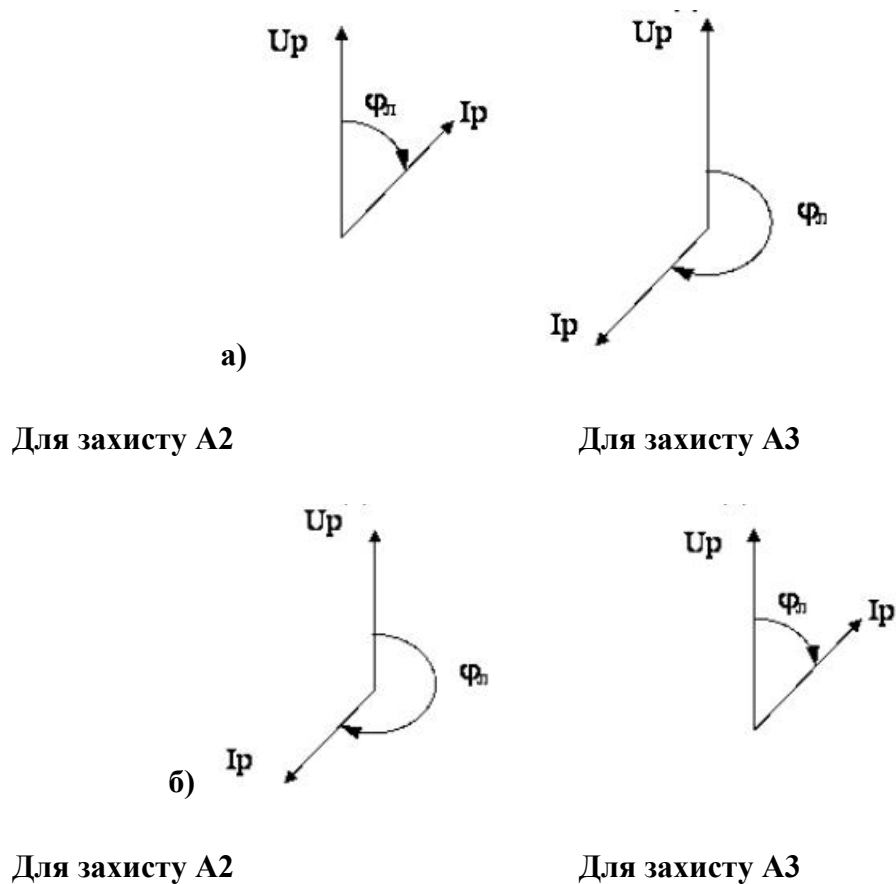


Рисунок 6. 5 – а) Векторні діаграми при замиканні в точці $K1$;
б) Векторні діаграми при замиканні в точці $K2$

Схеми максимальних направлених захистів.

Схеми максимальних направлених захистів виконуються в різних варіантах, що відрізняються один від одного в основному схемою включення органу напрямку потужності.

Під схемою включення реле напрямку потужності розуміється поєднання фаз струмів і напруг, що підводяться до реле.

Схеми включення повинні забезпечувати правильне визначення напрямку потужності в умовах короткого замикання.

Найбільшого поширення набули дві схеми: 30-градусна і 90-градусна (рис.6. 6).

Поєднання струмів і напруг для цих схем приведені в табл. 6. 1.

Таблиця 6. 1 - Поєднання струмів і напруг.

30-градусна схема		90-градусна схема	
Фази струму	Фази напруг	Фази струму	Фази напруг
I_A	U_{AC}	I_A	U_{BC}
I_B	U_{BA}	I_B	U_{CA}
I_C	U_{CB}	I_C	U_{AB}

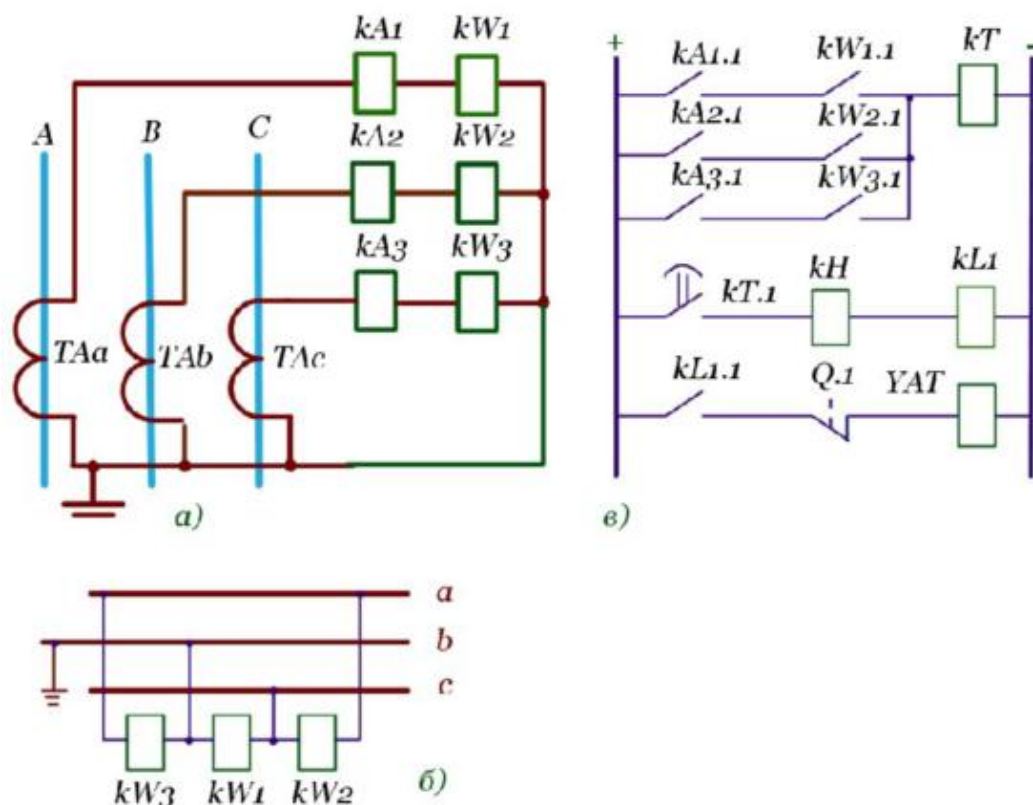


Рисунок 6. 6 - Схема максимального струмового направленої захисту з реле потужності, включеними за 90-градусною схемою:

а) схема кіл змінного струму; б) схема кіл змінної напруги; в) схема кіл постійного струму.

На рис.6. 7 представлений алгоритм роботи максимальних струмових направлених захистів.

Висновки:

Переваги:

- застосування органу напрямку потужності дозволяє забезпечити селективність струмових захистів в кільцевих мережах з одним джерелом живлення і в радіальних мережах з двостороннім живленням.
- захист відрізняється простотою і надійністю.

До недоліків захисту відносяться:

- мала швидкодія;
- недостатня чутливість в навантажених лініях і ЛЕП великої довжини;
- наявність мертвої зони за напругою, що може привести до відмови при трифазних к. з. поблизу місця установки захисту.

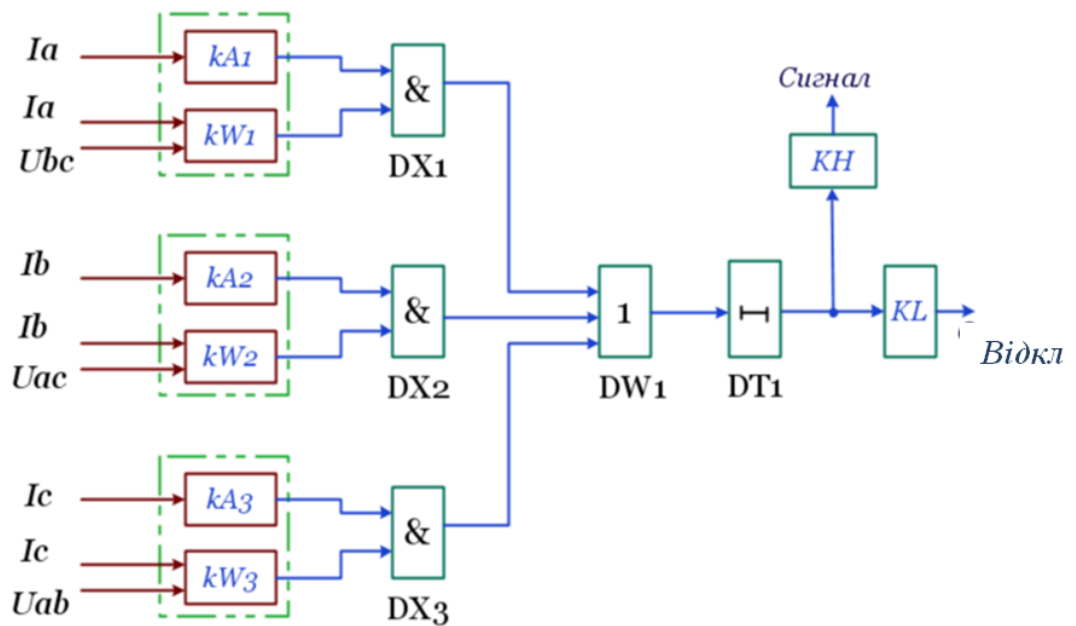


Рисунок 6. 7 - Алгоритм роботи максимальних струмових направлених захистів.

Умова спрацювання направленої захисту:

$$T = ((KA1 \text{ AND } KW1) \text{ OR } (KA2 \text{ AND } KW2) \text{ OR } (KA3 \text{ AND } KW3)) \text{ AND } DT1 = 1$$

Питання для самоперевірки

1. Принцип дії максимального струмового направленої захисту?
2. Що означає термін «максимальний струмовий направлений захист»?
3. Структурні схеми максимального струмового захисту.
4. Алгоритм роботи максимальних струмових направлених захистів.
5. Що таке ступінь селективності та вимоги до селективності.
6. Схеми максимального струмового направленої захисту.
7. Основні складові частини МСНЗ
8. Розрахунок параметрів максимального струмового направленої захисту.
9. Від якого параметру відбудовується струмовий направлений захист?
10. Порівняти МСЗ з МСНЗ.

Лекція № 7. ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРІВ 110-35/10 ТА 10/0,4 КВ.

1. Режими для виконання захистів трансформаторів.
2. Функції захисту трансформаторів та автотрансформаторів.
3. Вибір типу захисту.
4. Захист від внутрішніх пошкоджень.
5. Струмова відсічка.
6. Диференціальний захист.
7. Причини появи похибок при диференціальному захисті.
8. Диференціальне реле струму типу РСТ 15, ДЗТ 21.

9. Захист трансформаторів на реле типу RET 316.

10. Газовий захист

ЛІТЕРАТУРА:

1. Єрмолаєв С. О. Проектування систем електропостачання в АПК: навчальний посібник / С. О. Єрмолаєв, В.Ф. Яковлєв, В. О. Мунтян, В. В. Козирський, І. П. Радько, Ю. М. Куценко - Мелітополь: Люкс, 2009, - 570 с.

2. Коваленко О. І. Основи електропостачання сільського господарства: Навчальний посібник / О. І. Коваленко, Л. Р. Коваленко, В. О. Мунтян, І. П. Радько. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2011 – 462 с.

3. Копьев В. Н. Релейная защита. Принципы выполнения и применения: учебное пособие / В. Н. Копьев - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 153 с.

4. Мельников М. А. Релейная защита и автоматика элементов систем электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие / М. А. Мельников – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 218 с.

5. Шкрабець Ф.П. Основи електропостачання. Навчальний посібник / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плешков – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010, - 408 с.

При виконанні захистів трансформаторів і автотрансформаторів повинні бути враховані наступні режими:

- Багатофазних замикань в обмотках і на виводах;
- Однофазних замикань в обмотках і на виводах;
- Виткових замикань в обмотках;
- Зовнішніх коротких замикань;
- Підвищення напруги на непошкоджених фазах (для трансформаторів 35 кВ, що працюють в режимі ізольованої нейтралі);
- Часткових пробоїв ізоляції вводів напругою 500 кВ і більше.

Захист трансформаторів та автотрансформаторів повинен виконувати наступні функції:

- Відключати трансформатор при його пошкодженні від всіх джерел живлення;
- Відключати трансформатор при зовнішніх замиканнях в разі відмови захистів або виміряних суміжних приєднань;
- Подавати повідомлення черговому персоналу про виникнення перевантажень або виконувати необхідні операції для їх усунення.

Вибір типу захисту

Для захисту трансформаторів від пошкоджень і ненормальних режимів повинні бути передбачені наступні типи релейного захисту:

1. Від uszkodжень на виводах і внутрішніх пошкоджень - *струмова відсічка або поздовжній диференціальний захист.*

Поздовжній диференціальний захист встановлюється на трансформаторах потужністю 6300 кВА і більше, на трансформаторах меншої потужності - струмова відсічка.

2. Від uszkodжень всередині кожуха, що супроводжуються виділенням газу і (або) зниженням рівня масла:

- газовий захист з дією на сигнал і відключення:

для трансформаторів потужністю 6300 кВА і більше;

для внутрішніх цехових понижуючих трансформаторів потужністю 630 кВА і більше;

для трансформаторів потужністю (1000 - 4000) кВА, якщо відсутній швидкодіючий захист.

3. Від струмів зовнішніх коротких замикань повинні бути встановлені наступні захисти з дією на відключення:

МСЗ для трансформаторів потужністю до 1000 кВА;

МСЗ або МСЗ з комбінованим пуском напруги або струмовий захист зворотної послідовності для трансформаторів потужністю 1000 кВА і більше;

дистанційний захист на знижувальних автотрансформаторах напругою 220 кВ і більше, якщо це необхідно за умовами далекого резервування.

4. Від можливого перевантаження на трансформаторах потужністю 400 кВА і більше слід передбачати **МСЗ з дією на сигнал або на розвантаження і на відключення**.

5. Від струмів зовнішніх замикань на землю при наявності заземленої нейтралі для трансформаторів потужністю 1000 кВА і більше **встановлюється МСЗ нульової послідовності**, якщо це необхідно за умовами далекого резервування.

Захист від внутрішніх пошкоджень

Для захисту трансформаторів від внутрішніх пошкоджень і пошкоджень на виводах застосовуються:

- **струмова відсічка,**

- **поздовжній диференціальний захист;**

- **газовий захист.**

Струмова відсічка

Струмова відсічка встановлюється на трансформаторах з боку живлення, рис.7. 1.

Для забезпечення вимог селективності її струм спрацювання відбудовується від струму трифазного КЗ на шинах нижчої напруги:

$$I_{с.з} \geq k_n \cdot I_{к.з. макс.к1}^{(3)} \quad (7.1)$$

Чутливість відсічки перевіряється по струму двофазного КЗ на вводах трансформатора з боку джерела живлення, точка K_2 :

$$k_q = \frac{I_{к.з. мин.к2}^{(2)}}{I_{с.з}} \geq 2. \quad (7.2)$$

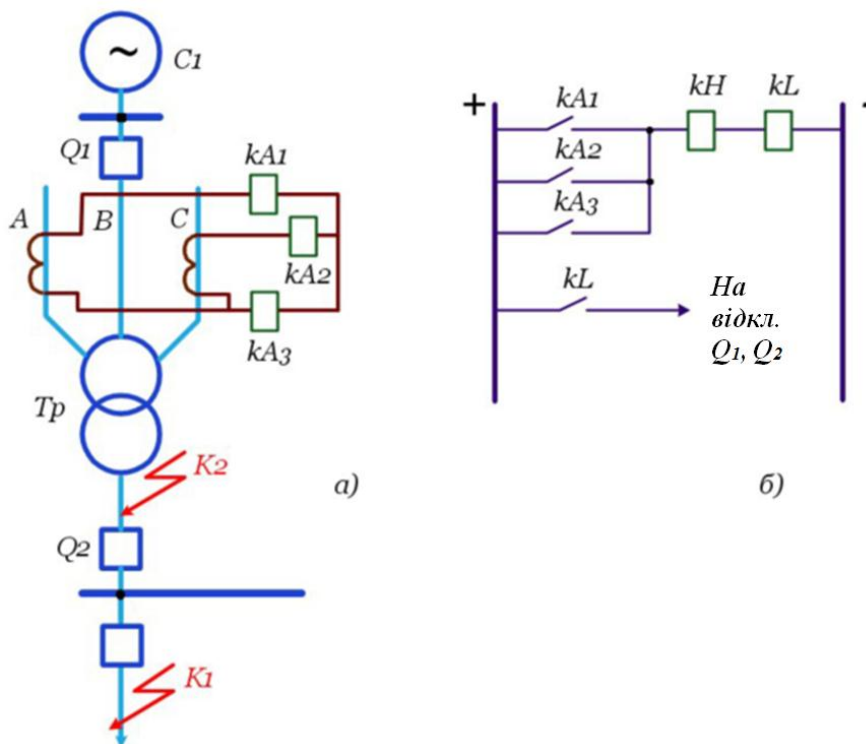


Рисунок 7. 1 - Схема струмової відсічки трансформатора:
в) кола змінного струму; б) кола постійного струму.

Використання струмової відсічки дає можливість відключати КЗ з високою швидкістю.

До недоліків слід віднести:

невисоку чутливість і те, що відсічка захищає тільки частину трансформатора.

Диференціальний захист

Принцип дії захисту заснований на порівнянні струмів по входах трансформатора, що захищається.

Для виконання захисту на кожній стороні трансформатора ставляться трансформатори струму з такими коефіцієнтами трансформації, щоб їх вторинні струми в нормальному режимі були приблизно рівні між собою.

Вторинні обмотки трансформаторів струму з'єднуються між собою паралельно, і до них підключається струмове реле (рис.7. 2).

Струм в реле в нормальному режимі та при зовнішньому КЗ в точці K_1 близький до нуля:

$$I_p = \frac{I_1}{n_{TA_1}} - \frac{I_2}{n_{TA_2}} \approx 0. \quad (7.3)$$

Захист не працює.

При пошкодженні трансформатора, КЗ в точці K_2 , в реле проходить сума вторинних струмів:

$$I_p = \frac{I_1}{n_{TA_1}} + \frac{I_2}{n_{TA_2}} \neq 0. \quad (7.4)$$

Захист спрацює.

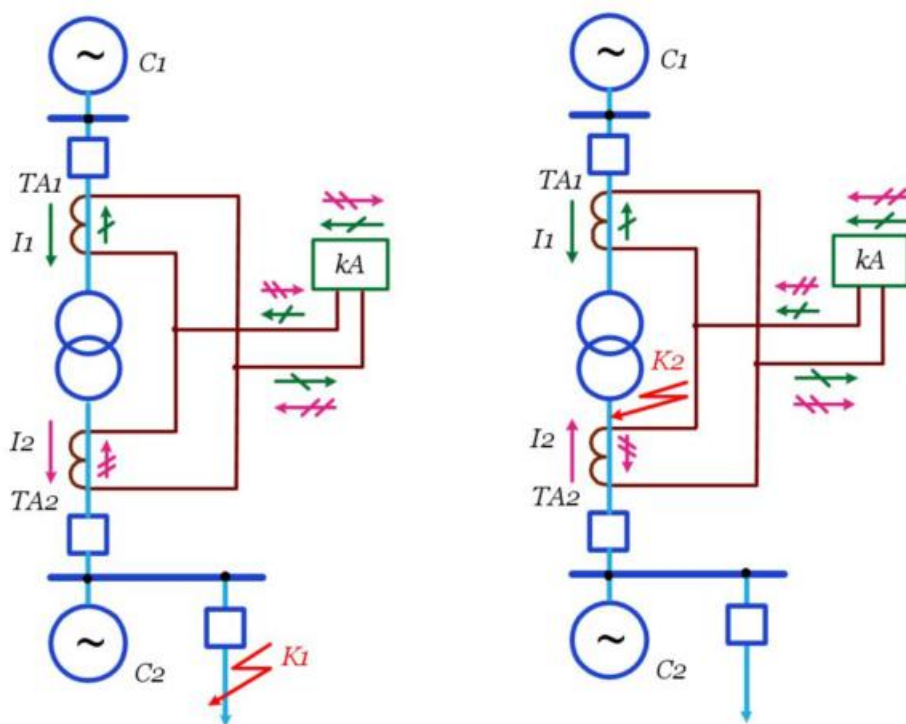


Рисунок 7. 2 - Принцип дії диференціального захисту трансформатора:
а) зовнішнє к. з.; б) к. з. в трансформаторі

Порівняно з диференціальним захистом ліній, диференціальний захист трансформаторів має підвищені похибки.

Причини появи похибок при диференціальному захисті:

1. Можлива неоднаковість схем з'єднання обмоток силового трансформатора.

У більшості випадків обмотки силових трансформаторів мають різні групи з'єднання.

Тоді, навіть за однакової кількості вторинних струмів, через наявність фазового зсуву в реле буде протікати струм небалансу (рис.7.3).

Для усунення цього фактора трансформатори струму на стороні трикутника силового трансформатора з'єднують в зірку, а на стороні зірки - в трикутник.

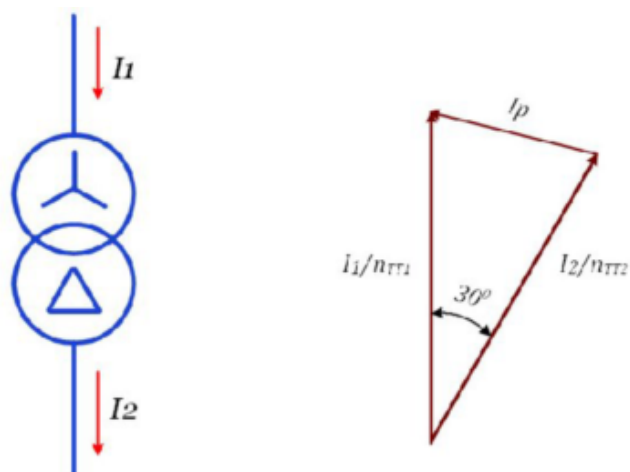


Рисунок 7. 3 - Струм небалансу в реле через неоднаковість схем з'єднання обмоток силового трансформатора.

2. Наявність кидка струму намагнічування.

Оскільки кидки струму намагнічування впливають на захист як внутрішні замикавання, від них необхідно відбудовуватися.

До основних способів відбудови можна віднести наступні:

- Прийняти струм спрацьовування більше максимального значення кидка струму намагнічування.

Недолік способу - істотне загроблення захисту;

- Ввести уповільнення в дію захисту на час кидка струму намагнічування.

Недолік - уповільнення часу ліквідації КЗ;

- Використовувати ознаку наявності аперіодичної складової в струмі намагнічування.

Обмотка струмового реле підключається до трансформаторів струму через спеціальний проміжний трансформатор, званий швидконасичуючим трансформатором. За рахунок аперіодичної складової осердя трансформатора насичується і трансформація періодичної складової в обмотку реле практично не відбувається.

Отже, на час існування кидка струму намагнічування захист виводиться з роботи.

- Ідентифікувати момент включення за наявності другої гармоніки.

Використання даної ознаки передбачає введення додаткового пускового елемента - реле відсічки, яке повинно працювати при великих кратностях первинного струму. При внутрішніх пошкодженнях, пов'язаних з глибоким насиченням трансформаторів струму, у вторинному струмі з'являється друга гармоніка, що може привести до відмови захисту.

3. Можлива неоднаковість вторинних струмів в плечах захисту

Струми силових трансформаторів з боку обмоток вищої і нижчої напруги не рівні між собою, тому трансформатори струму, обрані за номінальним первинним струмом, будуть мати різні коефіцієнти трансформації, різне конструктивне виконання і, відповідно, різні похибки.

Крім того, номінальні струми силових трансформаторів зазвичай не збігаються зі шкалою номінальних струмів трансформаторів струму. Внаслідок цього в плечах диференційного захисту будуть протікати різні за величиною струми. При зовнішньому КЗ струм небалансу різко зростає, що може привести до помилкового спрацьовування захисту.

Тому для зниження струму небалансу, викликаного нерівністю вторинних струмів, необхідно вирівняти ці струми шляхом включення проміжних вирівнюючих автотрансформаторів струму або використовувати в диференціальному реле спеціальні зрівнювальні обмотки.

4. Наявність пристрою автоматичного регулювання напруги силового трансформатора.

При виборі струму спрацювання диференціального захисту до уваги береться два фактори:

1. Захист не повинен працювати від кидка струму намагнічування в момент включення ненавантаженого силового трансформатора під напругу:

$$I_{с.з} \geq k_n \cdot I_{ном}, \quad (7.5)$$

де $k = 0,3 - 1,5$ - коефіцієнт надійності, що враховує виконання вимірювального органу захисту.

2. Захист не повинен працювати від максимально можливого струму небалансу в режимі зовнішнього замикання:

$$I_{c.з} \geq k_n \cdot (I'_{нб} + I''_{нб} + I'''_{нб}), \quad (7.6)$$

де $I'_{нб}$ - складова струму небалансу, викликана похибкою трансформаторів струму;

$I''_{нб}$ - складова струму небалансу, викликана наявністю пристрою регулювання коефіцієнта трансформації силових трансформаторів;

$I'''_{нб}$ - складова струму небалансу, викликана неточністю вирівнювання вторинних струмів в плечах захисту.

В ряді випадків при зовнішніх замиканнях через реле проходять великі струми небалансу, врахування яких суттєво загрублює захист і може привести до відказу захисту при деяких видах пошкоджень.

Для підвищення чутливості диференціального захисту в таких випадках використовується пусковий орган з гальмуванням.

Принцип ефекту гальмування можна розглянути на прикладі диференціального реле з трансформатором, що швидко насичується (рис.7. 4).

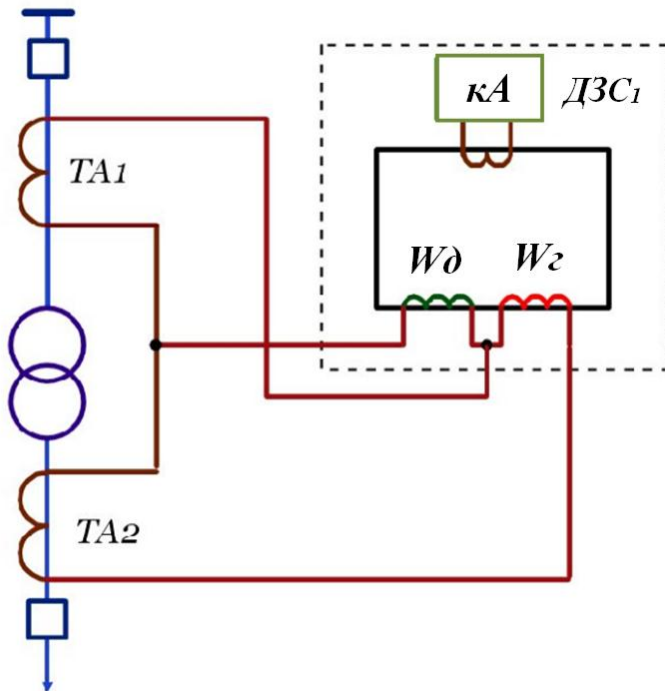


Рисунок 7. 4 - Принцип дії диференціального захисту з гальмуванням:

БНТ – трансформатор, що швидко насичується;

Wd - робоча обмотка;

Wz - гальмівна обмотка;

Wвих - вихідна обмотка.

Диференціальне реле струму типу РСТ 15

Реле типу РСТ 15 виконано на мікроелектронній основі і застосовується для захисту знижувальних трансформаторів і електродвигунів для випадків, коли не потрібно гальмування.

Структурна схема реле представлена на рис. 7. 5.

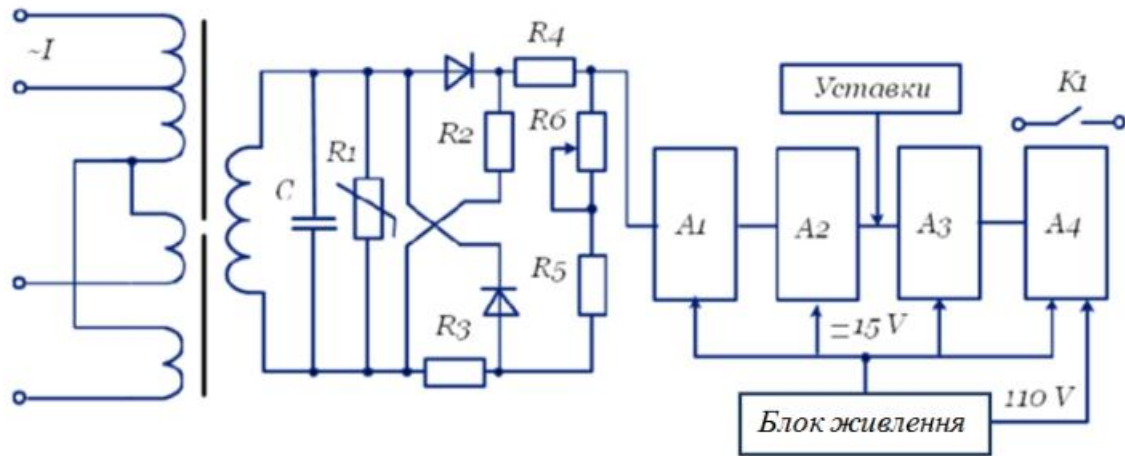


Рисунок 7. 5- Диференціальне реле струму типу PCT 15.

Диференціальне реле струму з гальмуванням типу ДЗТ 21

Реле типу *ДЗТ-21* використовується для виконання диференціального захисту з гальмуванням і до теперішнього часу є найбільш поширеним типом захисту трансформаторів і автотрансформаторів великої потужності від внутрішніх пошкоджень і пошкоджень на виводах. Реле має високу чутливість і швидкодію.

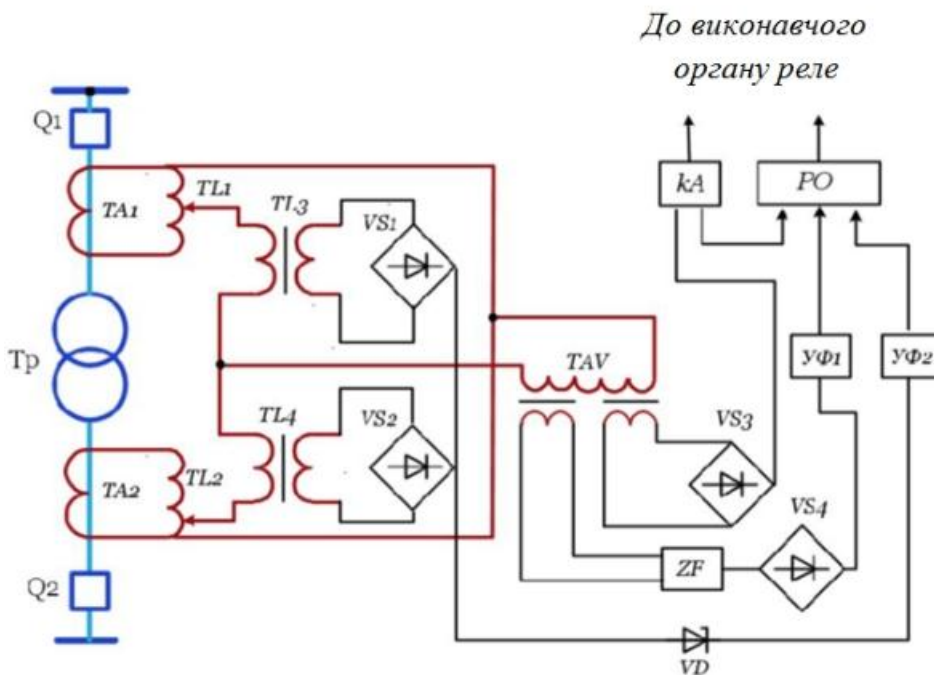


Рисунок 17. 6 - Однолінійна структурна схема захисту ДЗТ-21.

Для відбудови від кидків намагнічувального струму силових трансформаторів і перехідних струмів небалансу застосовується часоімпульсний спосіб блокування захисту в поєднанні з гальмуванням від складової другої гармоніки струму намагнічування. У захисті передбачено також гальмування від фазних струмів.

Однолінійна структурна схема захисту наведена на рис. 7. 6.

Захист трансформаторів на реле типу RET 316

Цифровий захист типу RET 316 застосовується:

- На електростанціях для захисту трансформаторів власних потреб, транс-форматорів і автотрансформаторах зв'язку, блокових трансформаторів;
- В електричних мережах для захисту триобмоткових трансформаторів і автотрансформаторів.

RET 316 складається із наступних блоків (рис.7. 7):

1. Аналоговий вхідний блок
2. Вхідний блок обробки
3. Центральне процесорне улаштування
4. Блок вводу/виводу
5. Додаткова плата зв'язку і пам'яті
6. Материнська плата
7. Блок живлення

В аналоговому вхідному блоці 1 проводиться гальванічна розв'язка вхідних сигналів і їх нормування. До складу блоку може входити до шести трансформаторів струму і трьох трансформаторів напруги або дев'яти транс-форматорів струму.

Вхідний блок обробки 2 перетворює аналогові сигнали в цифрові за допомогою АЦП і виробляє цифрову фільтрацію сигналів під керуванням вхідного процесора типу 80186. Дискретизація вхідних сигналів виробляється 12 разів за період, тобто частота дискретизації становить 600 Гц.

Центральний процесорний пристрій(ЦПП) 3 складається з головного мікропроцесора захисту (*Intel 80186*) і мікропроцесора логіки (*Intel 8031*).

Основний мікропроцесор отримує сигнали від вхідного мікропроцесорного пристрою, реалізує алгоритм захисту і передає результат обчислень мікро-процесора логіки.

Послідовний інтерфейс *RS-232C*, що входить в ЦПП, дозволяє налаштувати захист з персонального комп'ютера оператора і передати інформацію про події, що відбуваються на персональний комп'ютер.

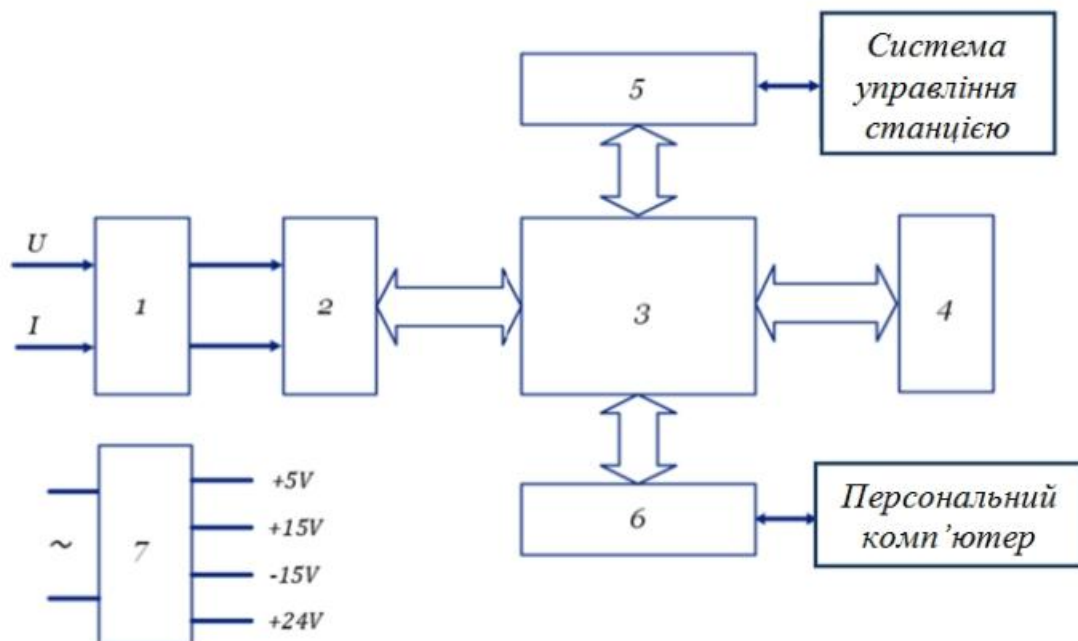


Рисунок 7. 7 - Блок-схема захисту трансформатора *RET 316*

Додаткова плата зв'язку і пам'яті 5 містить мікропроцесор *Intel 80186* для забезпечення зв'язку захисту і системи управління електростанцією, годинник реального часу.

Плата дозволяє дистанційно встановлювати параметри захисту, передавати результати вимірювань струму, напруги, потужності і т.д. оперативному персоналу станції і на реєстратор відхилень.

Програмне забезпечення захисту дозволяє:

- відбудуватися від кидка струму намагнічування;
- виконати амплітудно - фазову корекцію вхідних струмів;
- отримати струмозалежну нелінійну характеристику спрацювання;
- відбудуватися від аперіодичних складових і вищих гармонік;
- забезпечити високу стійкість функціонування при зовнішніх пошкодженнях і насиченні трансформаторів струму;
- забезпечити швидкодію.

Газовий захист

Газовий захист встановлюється на трансформаторах і автотрансформаторах з масляною системою охолодження.

Принцип дії газового захисту заснований на тому, що при будь-якому, навіть незначному пошкодженні обмоток, за рахунок тепла, що виділяється відбувається розкладання масла. Розкладання масла супроводжується виділенням газу, інтенсивність виділення якого залежить від тяжкості ушкодження.

Виконується за допомогою газових реле, що представляють собою металевий корпус, який встановлюється в маслопровід між баком і розширювачем трансформатора. В середині корпусу реле встановлюють поплавкові контакти, які при появі газу замикають свої контакти.

При слабкому газоутворенні реле діє на сигнал, при інтенсивному - на відключення.

Газовий захист є простим і універсальним інструментом для визначення внутрішніх пошкоджень трансформаторів. Він дозволяє визначити і виткові замикання, на які не реагує диференціальний захист через малу величину струму.

Установки газового захисту обов'язкові на трансформаторах потужністю від 4000 кВА.

Висновки

1. Для захисту трансформаторів від внутрішніх пошкоджень, в залежності від потужності, застосовуються струмова відсічка, диференціальний захист, газовий захист.
2. При використанні диференціального принципу для захисту трансформаторів слід враховувати наявність додаткових похибок.
3. Запровадження принципу гальмування в диференціальному захисті дозволяє підвищити його чутливість.
4. Відмінними ознаками диференціального захисту є швидкодія, порівняно висока чутливість до міжфазних замикань і замикань на виводах, надійність.
5. Газовий захист є простим і універсальним засобом для визначення внутрішніх пошкоджень трансформаторів, в тому числі виткових замикань.

Питання для самоперевірки

1. Режими, які враховуються при виконанні захистів трансформаторів і автотрансформаторів.
2. Типи релейного захисту для захисту трансформаторів від пошкоджень і ненормальних режимів.
3. Захист від внутрішніх пошкоджень.
4. Струмова відсічка та диференціальний захист.
5. Цифровий захист трансформаторів на реле типу RET 316 та газовий захист

Лекція № 8. ЗАХИСТ ЛІНІЙ НАПРУГОЮ 0,38 КВ.

1. Захисти за принципом дії.
2. Захисти, засновані на застосуванні плавких запобіжників.
3. Захисти, засновані на застосуванні автоматичних вимикачів.
4. Захисти, що реагують на струм, що протікає по нульовому проводі ПЛ
5. Захисти, що реагують на різні види диференційних струмів ПЛ
6. Захист, що реагує на тривалість кидків струмів нульової послідовності.
7. Частотно-імпульсний захист.
8. Струмовий фазопорівнюючий захист від однофазних замикань на землю і обриву проводів електричних мереж 380 В, виконаних ПЛ.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Єрмолаєв С. О. Проектування систем електропостачання в АПК: навчальний посібник / С. О. Єрмолаєв, В.Ф. Яковлєв, В. О. Мунтян, В. В. Козирський, І. П. Радько, Ю. М. Куценко - Мелітополь: Люкс, 2009, - 570 с.
2. Валєєв Р. Г. Анализ защит воздушных линий электропередач напряжением 380 В от однофазных замыканий на землю / Р. Г. Валєєв // Безопасность в третьем тысячелетии: сборник материалов V научно-практической конференции: в 2 т.; под ред. А. И. Сидорова. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2012. –Т. 1. – 353 с.
3. Коваленко О. І. Основи електропостачання сільського господарства: Навчальний посібник / О. І. Коваленко, Л. Р. Коваленко, В. О. Мунтян, І. П. Радько. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2011 – 462 с.
4. Мельников М. А. Релейная защита и автоматика элементов систем электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие / М. А. Мельников – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 218 с.
5. Шкрабець Ф.П. Основи електропостачання. Навчальний посібник / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плєшков – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010, - 408 с.

В сільських електричних мережах всі захисти повітряних ліній напругою 380 В від однофазних к. з. можна розділити за принципом дії на наступні групи, що реагують на:

- На надструми, що протікають по фазним проводам;
- На струм, що протікає по нульовому проводу;

- На різні види диференційних струмів;
- На перехідні і сталі процеси, що протікають в електричній мережі при виникненні однофазних к. з.

Перші три види захистів за принципом дії відносяться до класу струмових, четвертий вид включає захисти, які реагують не тільки на зміни струмів, що протікають в електричній мережі, а й на інші величини або сигнали.

Струмові захисти, що реагують на струми, що протікають по фазним проводам.

До цієї групи відносяться захисти від однофазних к. з., засновані на застосуванні широко поширених плавких запобіжників і автоматичних вимикачів, підключених у розтин фазних проводів ПЛ.

Захисти, засновані на застосуванні плавких запобіжників.

Плавка вставка запобіжника є найпростішим струмовим захистом з зворотно залежною від струму характеристикою витримки часу. Вона повинна захищати елементи системи електропостачання від струмів КЗ і від тривалого перевантаження.

У ПУЕ ефективність захисту плавкими запобіжниками визначалася за коефіцієнтом чутливості:

$$k_q = \frac{I_{к.між}}{I_{н.пл.в}} \geq 3, \quad (8.1)$$

де $I_{к.між}$ - мінімальне значення струму двофазного і однофазного на нульовий провід короткого замикання(к. з.) в кінці лінії, що захищається, А;

$I_{н.пл.в}$ - номінальний струм плавкої вставки, А.

Струмові захисти, побудовані з використанням плавких запобіжників, внаслідок їх простоти виконання, зручності експлуатації та відносної дешевизни широко поширені.

У той же час вони забезпечують захист від однофазних к. з. лише на відстані не більше 250-350 м від початку повітряної лінії.

Для підвищення ефективності цих струмових захистів було запропоновано секціонувати ПЛ, тобто розбивати її на ділянки і на початку кожної з них встановлювати захисні апарати (плавкі запобіжники і автоматичні вимикачі) в розтин фазних проводів ПЛ 380 В на такій відстані від ТП 10 / 0,4 кВ, щоб дотримувалися умова (8.1) і максимальний робочий струм ділянки ПЛ 380 В, що захищається був менше або дорівнював струму плавкої вставки.

Слід зазначити, що запобіжники досить надійно і ефективно захищають ПЛ за умови, коли їх число при русі від кінця кожного відгалуження ПЛ до живильної підстанції не перевищує 2-3, і якщо струм аварійного або ненормального режиму принаймні в п'ять - сім разів більше $I_{н.пл.в}$ запобіжника.

За таких умов правильно вибрані за своїми характеристиками запобіжники можуть забезпечити вибіркове відключення саме пошкодженої ділянки мережі.

Захисти, засновані на застосуванні автоматичних вимикачів.

Автоматичні вимикачі призначені для автоматичного відключення електричних кіл при перевантаженнях електричної мережі або від к. з. , що виникають в ній.

Відключення вимикача при перевантаженнях і к. з. здійснюється вбудованим в вимикач автоматичним пристроєм, який називається максимальним розчіплювачем струму.

Розчіплювачі можуть бути прямої дії (електромагнітні, теплові) і непрямой дії (напівпровідникові, мікропроцесорні).

Комбінацію з електромагнітного і теплового розчіплювачів називають комбінованим розчіплювачем.

Коефіцієнт чутливості теплового розчіплювача визначається за виразом:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мін}}}{I_{\text{р.тепл}}}, \quad (8.2)$$

де $I_{\text{к.мін}}$ - мінімальне значення струму двофазного або однофазного на нульовий провід короткого замикання в кінці лінії, що захищається, А;

$I_{\text{р.тепл}}$ - номінальний струм теплового розчіплювача.

Згідно ПУЕ 6-го видання коефіцієнт чутливості повинен бути не менше трьох.

Якщо ця умова не виконується, то необхідно секціонування повітряної лінії як і в разі захисту ПЛ з плавкими запобіжниками

Захисти, що реагують на струм, що протікає в нульовому проводі ПЛ

Дана група апаратів захисту реагують на значне збільшення величини струму в нульовому робочому провіднику при виникненні однофазного короткого замикання.

Враховуючи особливості роботи сільських електричних мереж напругою 380 В, уставка спрацьовування цих апаратів повинна відбудовуватися від струму в нульовому робочому провіднику $I_{\text{НП}}$, який виникає внаслідок несиметрії електричних навантажень фаз у нормальному режимі роботи.

Максимальна величина цього струму може досягати 50 % максимального фазного струму $I_{\text{Р.МАКС}}$.

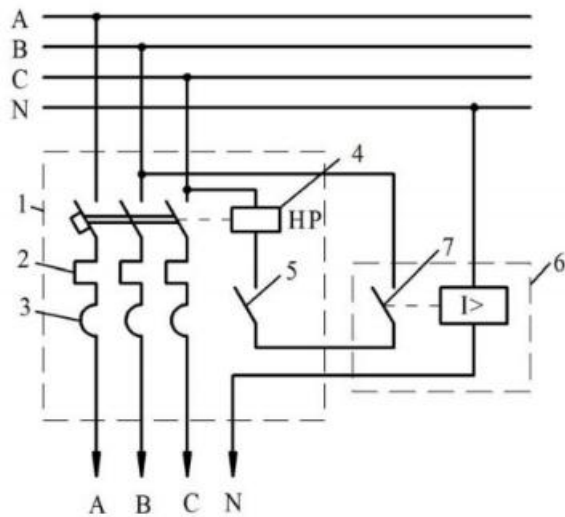
Якщо струм в нульовому робочому провіднику $I_{\text{НП}}$ перевищує $0,5 I_{\text{Р.МАКС}}$, то це може говорити про виникнення будь-якого ненормального режиму роботи мережі, наприклад, замикання фазного проводу на нульовий провід (ОКЗ).

До апаратів захистів, що реагують на струм в нульовому проводі, відносяться струмові реле РЕ-571Т або РЭ13-2, включені в нульовий провід, і автоматичний вимикач з вбудованим розчіплювачем максимального струму в нульовому проводі типу АП50 - 2МЗТО.

На рисунку 8. 1 приведена принципова електрична схема захисту, що реагує на струм, що протікає по нульовому робочому провіднику, із застосуванням струмового реле РЕ-571Т.

Автоматичний вимикач 1 з тепловим 2 і електромагнітним 3 розчіплювачами забезпечує захист повітряної лінії від струмових перевантажень і струмів КЗ. Автоматичний вимикач може бути будь-якого типу, наприклад А3124, А3144, АЕ20, А3700ФУЗ і ВА. Він повинен містити незалежний розчіплювач 4, який включається послідовно з нормально відкритим блок-контактом 5 цього вимикача.

Реле максимального струму 6 типу РЕ-571Т вмикається в нульовий робочий провідник. Нормально розімкнутий контакт 7 реле вмикається в коло незалежного розчіплювача 4, який включений на лінійну напругу мережі.



а)

б)

Рисунок 8. 1 – Захист, побудований на спрацюванні струмового реле, що включений в розтин нульового проводу:

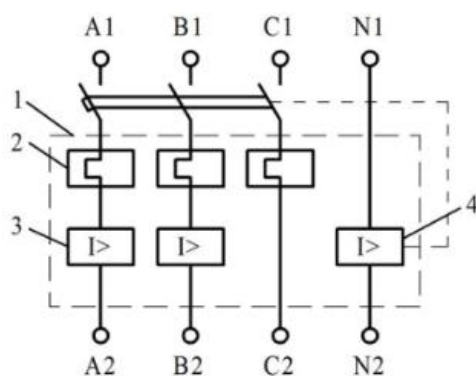
а – принципова електрична схема захисту;

б – зовнішній вигляд реле РЭ – 571Т.

Струм спрацьовування реле РЕ-571Т вибирається за умовою відбудування від струму в нульовому проводі, обумовленого несиметрією навантажень фаз ПЛ, з коефіцієнтом запасу 1,4.

На рисунку 8.2 наведена принципова схема автоматичного вимикача типу АП50-2МЗТО і його зовнішній вигляд.

Позначення 2МЗТО показує, що ці вимикачі мають два електромагнітних розчіплювача, три теплових розчіплювача і один розчіплювач максимального струму в нульовому проводі.



а)

б)

Рисунок 8. 2 – Захист від ОКЗ, побудований на автоматичному вимикачі з вбудованим розчіплювачем максимального струму в четвертому полюсі:

а) – принципова електрична схема автоматичного повітряного вимикача АП50-2МЗТО:

1 - автоматичний вимикач; 2 – тепловий розчіплювач; 3 – електромагнітний розчіплювач; 4 - розчіплювач максимального струму в нульовому проводі;

б) – загальний вид автоматичного повітряного вимикача АП50-2МЗТО.

Автоматичний вимикач 1 має чотириполюсне виконання. У четвертому полюсі вимикача розташований незалежний розчіплювач струмового типу, який безпосередньо включається в нульовий робочий провід. Цей незалежний розчіплювач виконує ту ж функцію, що і реле РЕ-571Т.

Принцип роботи захисту від струмів ОКЗ за допомогою автоматичних вимикачів типу АП50-2МЗТО, полягає в дії розчіплювача максимального струму, встановленого в четвертому полюсі вимикача, на механізм вільного розчеплення при перевищенні струму в нульовому проводі струму уставки.

Автоматичні повітряні вимикачі типу АП 50-2МЗТО набули широкого поширення для захисту від струмів ОКЗ в КТП потужністю 25, 40 і 63 кВА.

Захисти, що реагують на різні види диференціальних струмів повітряної лінії
До захисту, що реагує на різні види диференціальних струмів ПЛ, відноситься захист ЗТИ-0,4.

Даний захист являє собою приставку до автоматичних вимикачів серії А3100 і А3700, що встановлюються всередині КТП напругою 6-10/0,4 кВ.

Пристрій ЗТИ-0,4 було призначено для установки в КТП 6-10/0,4 кВ потужністю 63, 100 і 160 кВА, обладнаних автоматичними вимикачами, що мають незалежний розчіплювач і розрахований на захист повітряних ліній напругою 380 В з робочими струмами 63, 100, 160 А.

Основне призначення захисної приставки ЗТИ-0,4 є захист трифазних чотирипровідних повітряних ліній напругою 380 В з глухозаземленою нейтраллю живлячого трансформатора і повторними заземлювачами нульового проводу від міжфазних та однофазних на нульовий провід коротких замикань, а також від однофазних замикань фази на землю.

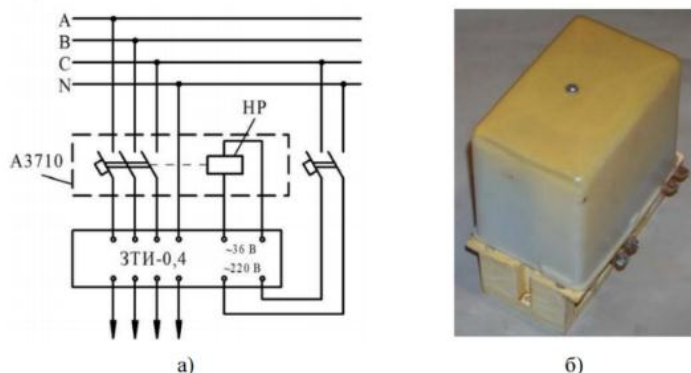


Рисунок 8. 3 - Принципова схема включення струмового захисту ЗТИ-0,4 і його зовнішній вигляд.

Принципова електрична схема підключення ЗТИ-0,4 до розподільного пристрою 0,4 кВ показана на рисунку 8.3.

Для підключення до лінії ЗТИ-0,4 має чотири струмових входи, через які пропускають три фазних і нульовий проводи лінії. Захист діє на незалежний розчіплювач автоматичного вимикача А3710.

На рисунку 8.4 наведена функціональна блок-схема захисту типу ЗТИ-0,4.

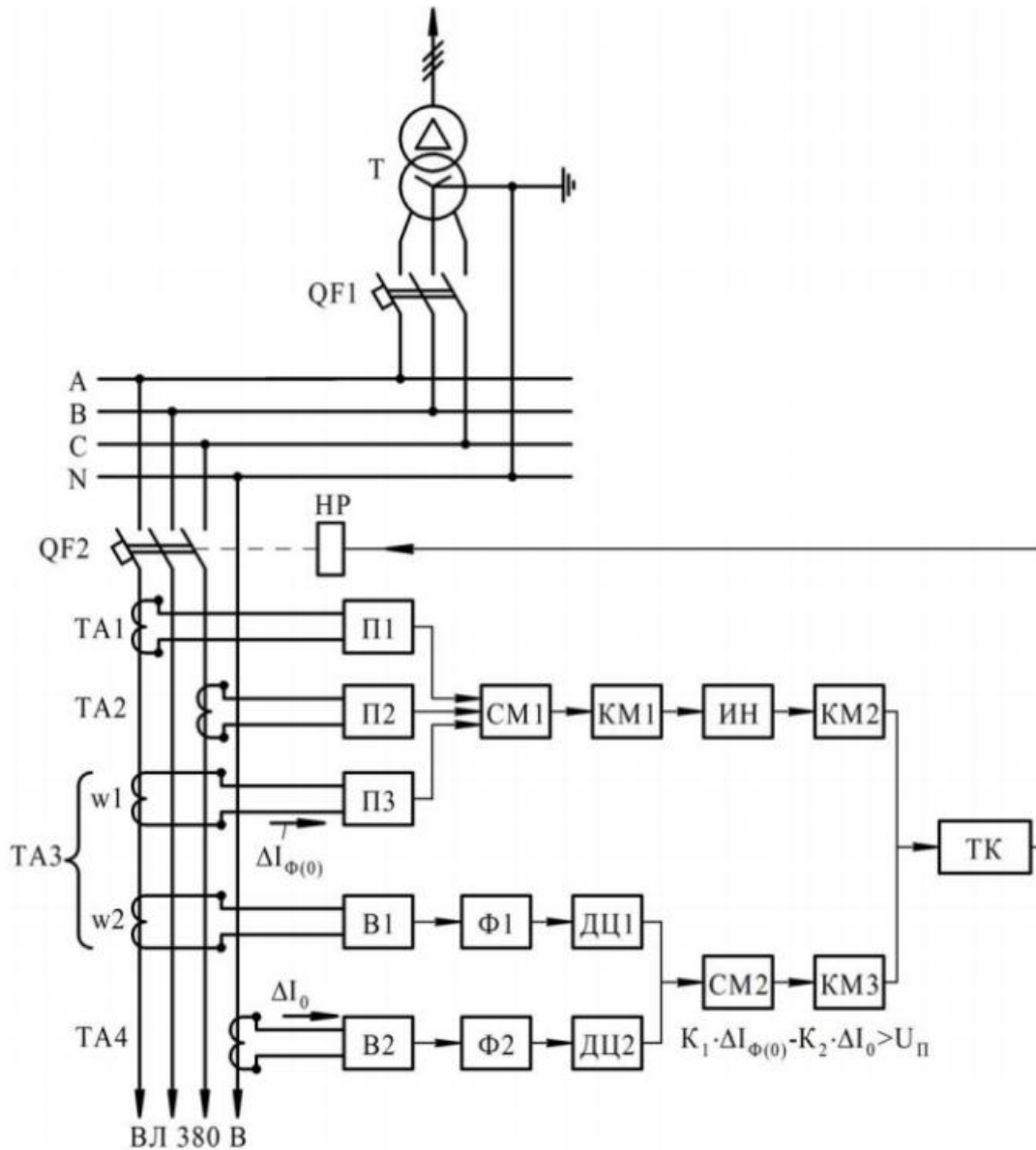


Рисунок 8. 4 – Функціональна блок-схема захисту типу ЗТИ-0,4.

Захист містить:

- максимальний струмовий захист від міжфазних коротких замикань;
- струмовий захист нульової послідовності від віддалених однофазних коротких замикань;
- захист від однофазних замикань на землю.

Для дії цього захисту використовується диференціальний трансформатор струму ТА3, магнітопровід якого охоплює всі три фазних проводи повітряної лінії.

Трансформатор струму ТА3 є фільтром струмів нульової послідовності, які з'являються при однофазних к. з. - замиканнях однієї з фаз на нульовий провід.

$$\Delta I_{\Phi(0)} = I_{A,\Phi} + I_{B,\Phi} + I_{C,\Phi} = 3I_0, \quad (8.3)$$

де $\Delta I_{\Phi(0)}$ – диференціальний струм (позначення, прийняте Валєєвим Р. Г.);

$I_{A,\Phi}, I_{B,\Phi}, I_{C,\Phi}$ – фазні струми ПЛ;

I_0 – струм нульової послідовності.

Отже, якщо струм віддаленого однофазного КЗ перевищить значення відповідної уставки захисту ЗТИ-0,4, то це призведе до відключення автоматичного вимикача, встановленого на початку лінії.

Струм спрацьовування захисту від однофазних КЗ на нульовий провід визначається за умовою відбудови від найбільшого значення струму небалансу $I_{нб}$, який дорівнює половині максимального струму навантаження лінії $I_{P,МАКС}$, з коефіцієнтом надійності $K_{Н.С} = 1,2$.

Захисти, що реагують на перехідні і усталені процеси, що протікають в електричній мережі при виникненні однофазних коротких замикань.

Захист, що реагує на тривалість кидків струмів нульової послідовності.

Для ідентифікації струму однофазного к. з. використовують також не значення струму нульової послідовності, а характеристики перехідних процесів при появі цього струму - його кидки або стрибкоподібні зміни, викликані перехідним процесом, і тривалості появи струму однофазних к. з. . Подібні перехідні процеси можуть виникати також при включенні і відключенні однофазних електроприймачів.

Проте характеристики таких перехідних процесів мають інші параметри.

Потужність одиночних однофазних електроприймачів зазвичай значно менше сумарної потужності, приєднаної до фази лінії.

Тому стрибкоподібні зміни струму нульової послідовності, обумовлені їх включенням і відключенням, мають незначну величину в порівнянні з можливою величиною робочих струмів фаз і струмів робочої несиметрії.

Крім того, перехідні процеси при цьому мають невелику тривалість. Шляхом відбудови від цих процесів неможливо ідентифікувати струм однофазного короткого замикання.

На рис.8. 5 показано функціональну схему пристрою захисту від однофазних к. з., що реагує на тривалість кидків струмів нульової послідовності, а на рис. 8. 6 показані епюри струмів і напруг захисту.

Пристрій отримує інформацію від трансформатора струму нульової послідовності ТА, через який проходять три фазних проводи ПЛ. На вторинній обмотці трансформатора струму ТА виділяється струм нульової послідовності I_0 , який перетворювачем струм-напруга ПСН перетворюється в випрямлену напругу U_1 , пропорційну струму I_0 . Випрямлена напруга подається на диференціюючий блок ДБ, на виході якого з'являються імпульси напруги U_2 , величина яких визначає швидкості зміни випрямленої напруги U_1 .

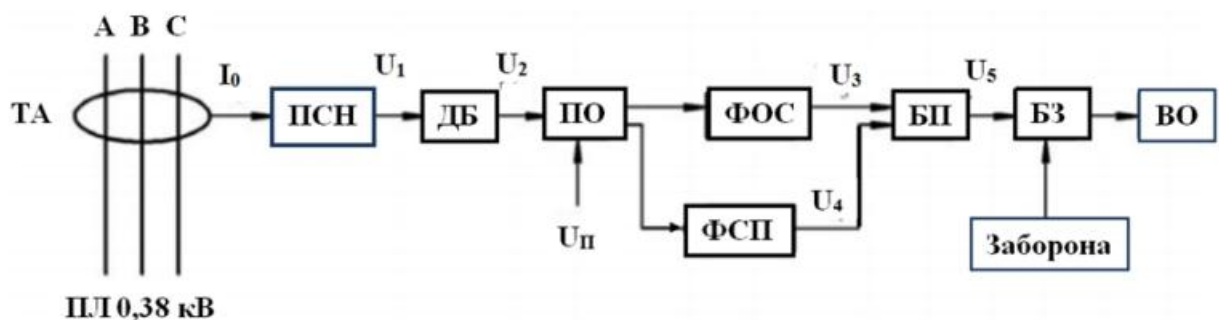


Рисунок 8. 5 – Функціональна схема улаштувань захисту від одно фазних к. з. , що реагує на тривалість кидків струму нульової послідовності.

Пороговий орган ПО порівнює за величиною імпульси напруги U_2 з пороговою напругою U_{II} , відповідною уставці за струмом пристрою захисту I_{II} .

Якщо імпульси напруги U_2 більше порогової напруги U_{II} , то ці імпульси подаються на входи формувача опорного сигналу ФОС і формувача сигналу пошкодження ФСП.

Тривалість $\Delta t_{ЗАД}$ вихідної напруги U_3 формувача ФОС має строго задане значення - формувач ФОС виконаний у вигляді мультівібратора, що чекає.

Тривалість Δt_0 вихідної напруги U_4 формувача ФСП дорівнює тривалості зміни струму нульової послідовності I_0 і, відповідно, напруги U_1 - формувач ФСП виконаний у вигляді тригера.

Блок порівняння БС порівнює тривалості напруг U_3 і U_4 і при виконанні умови $\Delta t_0 > \Delta t_{ЗАД}$ через блок заборони БЗ видає сигнал на вхід виконавчого органу ВО.

Робота пристрою пояснюється епюрами струмів і напруг (рис. 8.6).

Пристрій працює наступним чином.

При стрибкоподібній зміні струму нульової послідовності ΔI_0 на виході диференціюючого блоку ДБ з'являються імпульси напруги U_2 , пропорційні за амплітудою величині стрибкоподібної зміни струму нульової послідовності ΔI_0 .

При цьому на початку зміни струму ΔI_0 формується позитивний імпульс напруги U_2 , а при закінченні зміни струму ΔI_0 формується негативний імпульс напруги U_2 .

У разі, якщо величина стрибкоподібної зміни струму нульової послідовності ΔI_0 не перевищує уставку за струмом пристрою захисту ПІ (імпульс напруги U_2 не досягає величини порогової напруги U_{II} - див. рис. 8.6, в), то формувачі ФОС і ФСП не запускаються і, відповідно, сигнал на виконавчий орган ВО не надходить.

Стрибки струмів нульової послідовності I_0 можуть з'являтися,

по-перше, під час оперативних перемикань в мережі, яка живить групи електроприймачів, в числі яких є однофазні,

по-друге, при відключенні групи електроприймачів, приєднаних, наприклад, до силового пункту, в результаті дії інших захистів і т.п.

Захист в цих випадках буде працювати помилково.

Для виключення помилкових спрацьовувань, не пов'язаних з однофазними КЗ, у пристрої є блок заборони БЗ, що блокує проходження сигналу з блоку порівняння БП в виконавчий орган ВО.

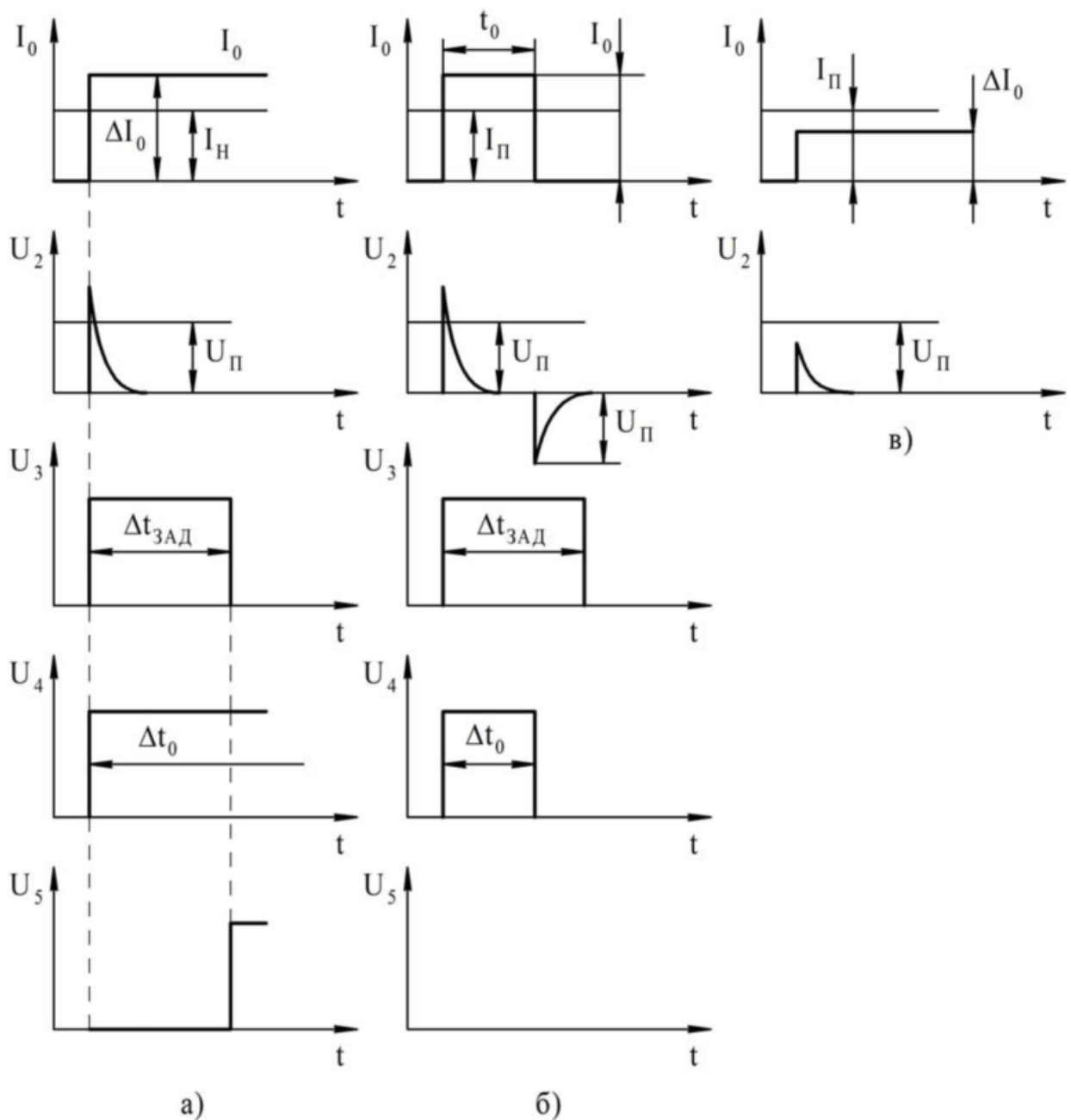


Рисунок 8. 6 – Епюри струмів і напруг захисту.

Частотно-імпульсний захист.

Захист ПЛ напругою до 1 кВ, принцип дії якого полягає в контролі тривалості тестового сигналу (рис. 8.7).

Пристрій містить генератор 1 імпульсних сигналів, з'єднаний з розподільвачем імпульсних сигналів 2, виходи якого підключені до першого входу блоку порівняння 3 і фазним проводам лінії. Датчик 4 струму, включений в нульовий провід лінії, з'єднаний з підсилювачем 5 високої частоти, до виходу якого підключений широтно-імпульсний модулятор 6, вихід якого з'єднаний з другим входом схеми 3 порівняння, до виходу якого підключений виконавчий орган 7.

Описані вище блоки захисту розміщуються на початку лінії.

В кінці лінії встановлюються три конденсатора 8, кожен з яких одним виводом з'єднаний з одним з фазних проводів лінії, а інші виводи пов'язані один з одним і підключені до нульового проводу.

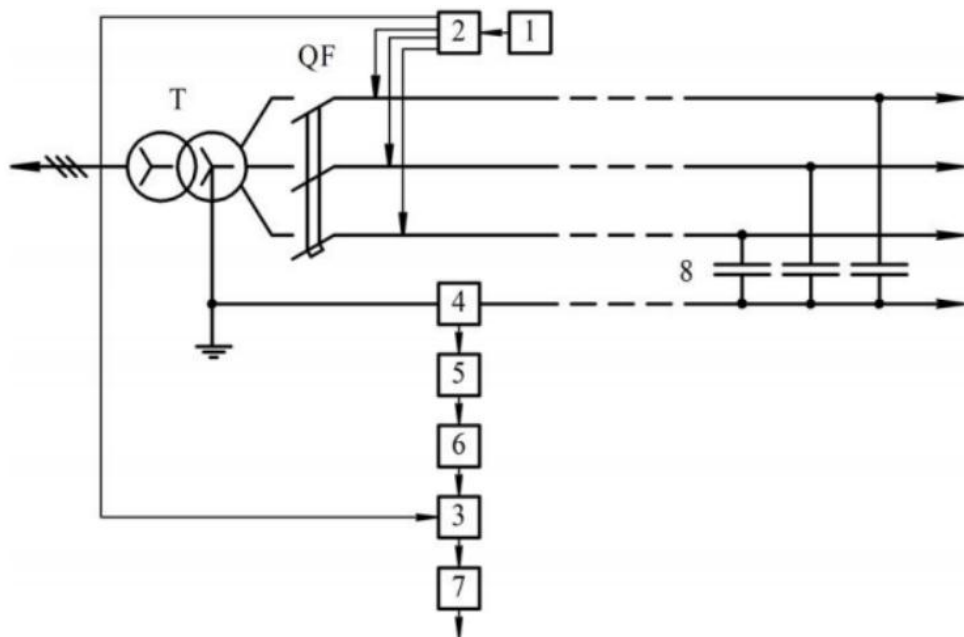


Рисунок 8. 7 – Функціональна схема частотно-імпульсного захисту.

Пристрій працює наступним чином.

Прямокутний імпульс тривалістю $W1$, що виробляється генератором 1 імпульсних сигналів, подається через розподільник 2 імпульсних сигналів по черзі в фазні проводи лінії, а також на перший вхід схеми 3 порівняння.

При відсутності обриву проводу або КЗ імпульс, виділений датчиком 4 струму і посилений підсилювачем 5 високої частоти, має наростаючий фронт за рахунок наявності конденсаторів 8 в кінці лінії. В даному випадку на виході широтно-імпульсного модулятора 6 з'являється імпульс тривалістю $W2$, який не перевищує величини $W1$. Цей імпульс подається на другий вхід схеми 3 порівняння. Так як в даному випадку виконується умова $0 < W2$.

Струмовий фазопорівнюючий захист від однофазних замикань на землю і обриву проводів електричних мереж 380 В, виконаних ПЛ.

Захищає мережу від замикань фазного проводу на землю і КЗ фази на корпус електроустановки.

Принцип дії може бути розглянутий на прикладі мережі з двома лініями.

Схема захисту наведена на рис. 8.8.

Захист засновано на порівнянні фаз струмів, які протікають при замиканні на землю на початку ліній мережі, з фазою струму в заземлюючу нейтраль силового трансформатора проводів.

Струми вимірюються за допомогою трансформаторів ТТН, ТТНП1, ТТНП2. Трансформатори струму нульової послідовності (диференціальні трансформатори струму) ТСНП охоплюють всі 4 проводи лінії.

При однофазному замиканні на землю струм I_{O33} , що має напрямок від шин ТП в лінію, проходить по фазі пошкодженої лінії, місцю пошкодження і розгалужується по наявними шляхам. Основна частина струму I'_{O33} протікає по землі і повертається в мережу через опір заземлювального улаштування ТП $R_{3У}$ в нейтраль силового трансформатора.

Частина струму I_{O33} через опори повторних заземлювачів РП «відсмоктуються» в нульові проводи пошкодженої і непошкодженої ліній - струми відсмоктування $I_{OTC.O33}$.

При цьому струми $I_{OTC.O33}$, що повертаються в мережу через нульові проводи знаходяться в протифазі з струмами I_{O33} і I'_{O33} .

За допомогою трансформатора струму пошкодженої лінії ТТНП1 вимірюється різниця між повним струмом замикання I_{O33} і струмом відсмоктування замикання $I_{OTC.O33.1}$ $I_{ТТНП1} = I_{O33} - I_{OTC.O33.1}$, а трансформатора струму ТТНП2 – тільки струм відсмоктування своєї непошкодженої лінії $I_{OTC.O33.2}$

$$I_{ТТНП2} = - I_{OTC.O33.2} .$$

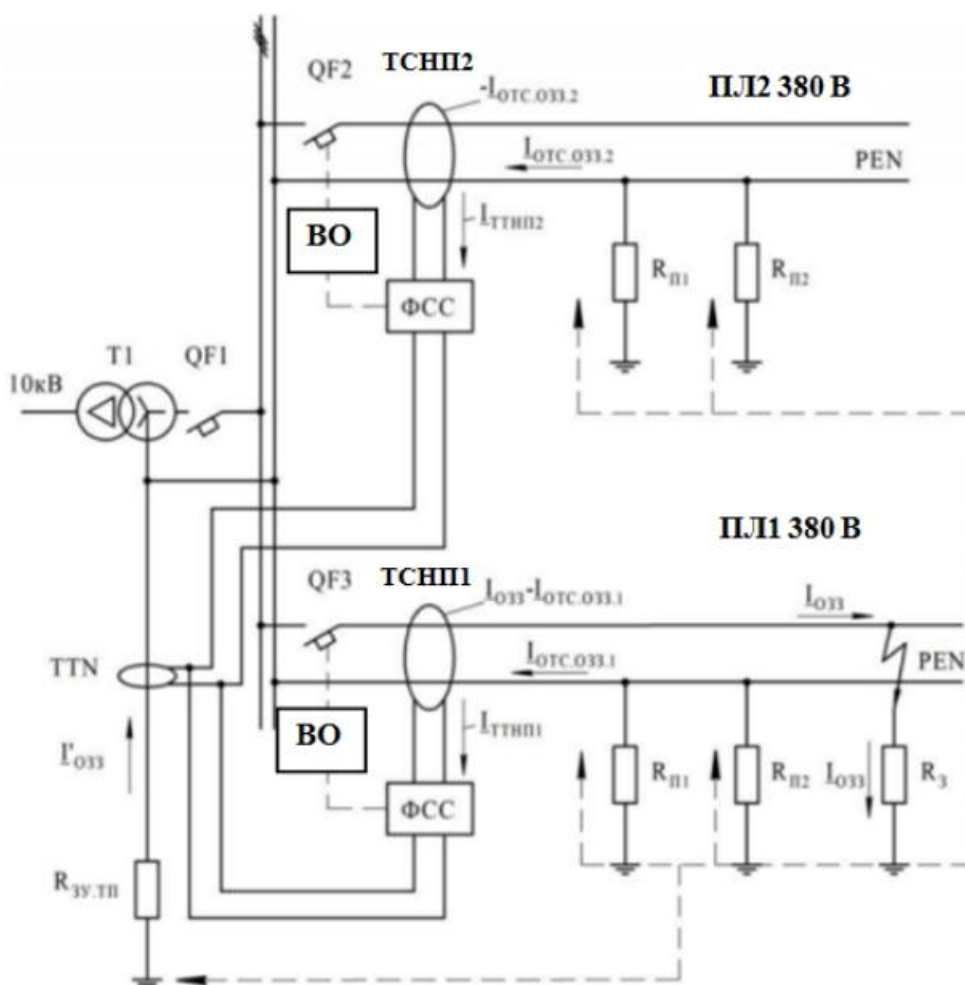


Рисунок 8. 8 – Схема струмового фазопорівнюючого захисту.

Оскільки струм I_{O33} значно більше струмів відсмоктування $I_{OTC.O33}$, то в пошкодженій лінії вимірюваний струм $I_{ТТНП1}$ збігається з напрямком струму I_{O33} , що протікає по трансформатору струму ТТН, а в непошкодженій лінії вимірюваний струм $I_{ТТНП2}$ знаходиться в протифазі з струмом I_{O33} .

Порівнюючи за допомогою фазопорівнюючих схем ФПС попарно фази струмів I_{O33} і $I_{ТТНП2}$, I_{O33} і $I_{ТТНП2}$ можна визначити пошкоджену лінію і забезпечити селективну дію захисту.

Застосування диференціальних трансформаторів струму ТТГП1 і ТТНП2 на лініях виключає вплив несиметрії навантаження і забезпечує підвищену чутливість.

Поріг спрацьовування захисту визначається струмами небалансу трансформаторів струму ТТНП і ТТН при нормальному несиметричному режимі мережі.

Навчальне видання

ЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ ТА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Курс лекцій

ПОПАДЧЕНКО Світлана Анатоліївна

САВЧЕНКО Олександр Анатолійович

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. _.

Наклад ___ пр.

ДБТУ

61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44

