

В. В. Кирик¹
А. Р. Буряк¹
М. С. Іськова¹

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ ОПОРУ РЕЗИСТОРА ЗАЗЕМЛЕННЯ НЕЙТРАЛІ В МЕРЕЖАХ 20 кВ

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

На сьогодні в енергосистемі України назріла об'єктивна необхідність розв'язання задач удосконалення принципів побудови топології мереж за класами напруги та видами виконання на основі науково обґрунтованих технічних рішень з використанням сучасних методів та технологій.

Досліджено оптимальне значення опору резистора заземлення нейтралі в мережах 20 кВ. Розподільні електричні мережі України напругою 6 (10) кВ входять в кінцеву ланку системи забезпечення споживачів електричною енергією. Вони перебувають у безпосередній взаємодії як зі споживачем, так і районними та магістральними електричними мережами. Тому стан та функціонування розподільних електричних мереж напругою 6 (10) кВ відчутно впливає на показники надійності, якості і ефективності роботи об'єднаної енергосистеми України. Перехід з рівня напруги 6 (10) кВ на 20 кВ актуальний та пріоритетний крок для підвищення ефективності функціонування розподільної мережі та суттєвого зменшення втрат електроенергії.

Наведено види резисторів та варіанти їх встановлення у нейтраль мережі напругою 20 кВ. Установлена залежність між опором резистора заземлення нейтралі та струмом однофазного короткого замикання, який безпосередньо впливає на види релейного захисту, а також їх кількість.

Виконано моделювання режиму роботи мережі 20 кВ, за його результатами вибрано оптимальне значення опору резистора заземлення нейтралі у цій мережі, з яким досягається достатня чутливість пристроїв РЗА за найменшого струму КЗ. Для дослідження вибрано саме цей метод заземлення нейтралі, оскільки у резистивного заземлення є такі переваги: відсутність дугових перенапруг високої кратності і багатомісних ушкоджень в мережі; відсутність необхідності відключення першого однофазного замикання на землю; зменшення ймовірності ураження персоналу і сторонніх осіб у разі однофазного замикання; практично повне виключення можливості переходу однофазного замикання на землю в багатозаземленні; просте виконання чутливого і селективного релейного захисту від однофазного замикання на землю.

Ключові слова: напруга 20 кВ, розподільна мережа, резистор, коротке замикання, заземлення, нейтраль.

Вступ

Для покращення показників енергозбереження та енергоефективності передачі потужності для зменшення технологічних витрат електричної енергії необхідно вживати різні заходи, зокрема, переведення електромереж 6 (10) кВ на рівень напруги 20 кВ, забезпечити мережі необхідною кількістю пристроїв компенсації реактивної потужності; виконати заміну трансформаторів та силових трансформаторів з великими втратами неробочого ходу тощо. Враховуючи структуру споживання електроенергії в Україні, комплексний підхід до підвищення енергоефективності дозволить досягнути мінімальних витрат електроенергії в мережах на рівні передових країн світу.

На сьогодні мережі рівня напруги 20 кВ успішно застосовуються у багатьох країнах світу, зокрема, в Чехії, Словаччині, Франції, Фінляндії, Польщі, Японії, Німеччині тощо [1]. У південній електромережі Китаю такі міста, як Шеньчжень, Чжухай та Гуанчжоу, реалізували пілотні проекти з будівництва електромереж 20 кВ. Системи 20 кВ часто використовуються в міській системі розподілу електроенергії через значну концентрацію навантаження. Отже, після виникнення несправності це вплине на стабільність електроживлення та безпеку. Відповідні дослідження систем зазе-

млення для ліній 20 кВ зосереджуються на їхніх стратегіях захисту. Однак, оскільки масштаби системи продовжують збільшуватися, різні перехідні процеси, які можуть бути запущені, та їхній вплив на електрообладнання все ще не мають теоретичної оцінки.

Переведення електричної мережі на рівень напруги 20 кВ зі зміною конфігурації максимально ефективно за одночасної автоматизації цієї мережі та реконструкції систем обліку, що дозволяє: передавати більшу потужність без зміни перетину проводів; знизити технологічні витрати електроенергії при її транспортуванні; зменшити загальну довжину ліній 0,4 кВ та втрат в ній за рахунок використання щоглових КТП 20/0,4 кВ; реконструювати мережі із застосуванням сучасного, надійнішого, обладнання в габаритах наявного [2].

Перехід на клас напруги 20 кВ зі зміною конфігурації та автоматизація розподільної мережі – необхідний та пріоритетний крок для підвищення ефективності роботи мережі та зменшення втрат, забезпечення нормованих показників SAIDI і SAIFI. У енергосистемі України окреслилися тенденції підвищеної уваги питанням вимог до електричного обладнання 20 кВ, безпеки експлуатації електричних мереж на класі напруги 20 кВ, стимулювання споживачів-власників мереж 6 (10) кВ до виконання реконструкції мереж з переходом на клас напруги 20 кВ.

З цього постає важливе питання необхідності заземлення нейтралі розподільної мережі напругою 20 кВ через резистор або дугогасний реактор. Використання дугогасного реактора пов'язане зі значними капіталовкладеннями, а також неможливістю використання простих пристроїв релейного захисту. Оскільки однофазні замикання на землю (ОЗЗ) в мережах 20 кВ становлять не менше 70 % загальної кількості ушкоджень і супроводжуються виникненням кидків ємнісних струмів і перенапруг. Ступінь прояву цих ефектів залежить від низки факторів: режиму нейтралі, довжини й навантаження мережі, початкових умов комутації, віддаленості місць замикань від джерела живлення тощо. Основний фактор, що визначає небезпеку виникнення і розвитку однофазних замикань у таких мережах — спосіб заземлення нейтралі. Тож використання традиційного заземлення нейтралі є неефективним в порівнянні із заземленням нейтралі через резистор. Заземлення нейтралі через резистор дозволяє обмежити струми однофазного короткого замикання до значення, необхідного для виконання простого релейного захисту. Враховуючи вартість резистивного заземлення постає необхідність визначення меж його застосування. Тому оцінка перспектив та вироблення рекомендацій щодо застосування різних режимів роботи нейтралей в розподільних мережах напругою 20 кВ є актуальним питанням.

Оптимальний вибір методу заземлення для нейтральної точки має велике значення для роботи мереж середньої напруги, оскільки різні концепції впливають на значення можливих перенапруг і струмів короткого замикання, на умови роботи мережі, потужність та безпеку людини.

В Європі не існує унікальної концепції заземлення нейтральної точки. В наукових часописах опубліковано низку робіт, до прикладу [1], [3], [4], в яких досліджуються можливі методи заземлення та захист мережі в залежності від способу заземлення. Загалом є два основних підходи до режиму заземлення нейтралі мереж напругою 20 кВ, які спрямовані на зменшення струмів коротких на землю — це обмеження струмів шляхом встановлення резистора в нейтраль мережі та повна компенсація завдяки використанню дугогасного реактора. Ефективність використання дугогасних реакторів неодноразово підтверджена в процесі експлуатації, але водночас вони характеризуються найвищою собівартістю серед можливих варіантів. Зумовлено це потребою складного механізму підлаштування в залежності від параметрів мережі. Дешевою альтернативою є резистивне заземлення нейтралі, за якого струм в місці короткого замикання не зникає, а лише зменшується за своїм значенням відповідно до допустимого.

В роботі розглянуто саме резистивний метод заземлення нейтралі, оскільки у разі однофазних замикань на землю (ОЗЗ) в мережах із заземленою через резистор нейтраллю у всіх приєднаннях протікають власні ємнісні струми, а в пошкодженому приєднанні, крім того, протікає ще й активний струм, створюваний резистором [5]. Це дозволяє вирішити два важливих завдання: селективно визначити пошкоджене приєднання (за рахунок простих релейних захистів, діючих на відключення або на сигнал) і негайно вжити заходів щодо усунення пошкодження; істотно обмежити рівень дугових перенапруг під час ОЗЗ і виключити ферорезонансні процеси.

Однак головним недоліком використання резистивного заземлення нейтралі є обмеження на подальший розвиток мережі, оскільки величина опору резистора вибирається відповідно до ємності мережі. Тож у зв'язку зі значною протяжністю розподільних мереж середнього класу напруги та економічно нестабільного стану країни необхідно обґрунтувати доцільність використання резистивного заземлення нейтралі під час модернізації розподільних електричних мереж.

Метою дослідження є підвищення надійності розподільних мереж середньої напруги та визначення оптимального способу виконання резистивного заземлення нейтралі у цих мережах. Вибір опору резистора, який забезпечить: селективну дію релейного захисту за умови мінімального зростання напруги під час короткого замикання; мінімальні коефіцієнти перенапруги на робочих фазах, максимальну простоту експлуатації.

Основний фактор, що визначає небезпеку виникнення й розвитку однофазних замикань у таких мережах — спосіб заземлення нейтралі. Тож використання звичних методів заземлення нейтралі є неефективним в порівнянні із заземленням нейтралі через резистор, що дозволяє обмежити струми однофазного короткого замикання до значення, необхідного для виконання простого релейного захисту. Враховуючи меншу вартість резистивного заземлення постає необхідність визначення меж його застосування. Тому оцінка перспектив та вироблення рекомендацій щодо застосування різних режимів роботи нейтралей в розподільних мережах напругою 20 кВ є актуальним питанням.

Результати дослідження

На режим заземлення нейтралі через резистор в розподільних мережах енергосистеми України все частіше акцентується тільки увага, тоді як світі резистивне заземлення нейтралі — це найзастосованіший метод. На теперішній час існує два основних типи резисторів для заземлення нейтралей: рідинний резистор зовнішнього встановлення та суцільний металевий резистор внутрішнього встановлення.



а



б

Рис. 1. Резистор заземлення: а — рідинний зовнішнього встановлення; б — суцільний металевий внутрішнього встановлення

У рідинному резисторі зовнішнього встановлення використовується спеціальна рідина (рис. 1а). Наразі цей тип резисторів вважається застарілим та неефективним у порівнянні з твердими (суцільними) резисторами. Рідинний резистор — це металевий бак, наповнений дистильованою водою з домішкою розчинних солей, що використовується як електроліт. Конкретне значення опору досягається шляхом варіювання співвідношення діелектрика та електроліту, а також площею електродів, що занурюються у рідину. Завдяки цьому легко одразу отримати необхідні електричні характеристики, але водночас виникає необхідність постійного обслуговування та контролю стану розчину.

Також необхідно зазначити, що використання рідинних резисторів зумовлює низку складнощів в експлуатації, адже рідина може замерзати за низьких температур, а наявність солей сприяє швидкій корозії бака. Вартість встановлення рідинного резистора є значно меншою за вартість його обслуговування впродовж терміну експлуатації.

Суцільний резистор внутрішнього встановлення (рис. 1б), виготовляють зі сталевих резистивних елементів (нержавіюча сталь або подібні сплави). Такий тип резисторів є найпоширенішим, оскільки на відміну від рідинних резисторів, що встановлюються лише на відкритому повітрі, суцільні металеві резистори можуть мати як внутрішнє, так і зовнішнє виконання. Важливою перевагою є практична незмінність електричних властивостей під час експлуатації, а також відсутність необхідності обслуговування.

Останнім часом набули популярності керамічні/карбонові суцільні резистори. Вони складаються із запеченої суміші дисперсних часток карбону, високоякісного алюмінію та спеціальної глини. Завдяки такому складу значно покращуються термічні властивості та термін експлуатації.

Спосіб встановлення резисторів в нейтраль мережі, як і його опір, можуть бути різними: заземлення нейтралі за через низькоомний резистор; заземлення об'єднаної нейтралі через високоомний резистор; заземлення нейтралей через високоомний резистор.

Спосіб встановлення резистора в нейтраль залежить від параметрів обладнання та вимог щодо пристроїв релейного захисту. Однак, зауважимо, що оптимальним способом встановлення резистора в нейтраль розподільної мережі середньої напруги є встановлення його в окрему нейтраль мережі, утворену через трансформатор заземлення нейтралі або фільтр приєднання нульової послідовності [6]. В такому разі відсутній електричний зв'язок із суміжною розподільною мережею. Таким чином — забезпечується прийнятний рівень перенапруги, а також практично відсутні гармонічні складові в струмі однофазного короткого замикання.

Загалом можливі два варіанти реалізації резистивного заземлення нейтралі: високоомний і низькоомний. У разі високоомного заземлення нейтралі резистор вибирається таким чином, щоби струм, створюваний ним в місці ОЗЗ, дорівнював або був більше ємнісного струму мережі. Зазвичай, сумарний струм в місці пошкодження при високоомному заземленні нейтралі не перевищує 10 А. Тобто високоомним заземленням нейтралі є таке заземлення, яке дозволяє не відключати негайно ОЗЗ. Відповідно високоомне заземлення нейтралі може застосовуватися тільки в мережах з малими власними ємнісними струмами до 5...7 А. В мережах з великими ємнісними струмами допустимо застосування тільки низькоомного заземлення нейтралі.

У разі низькоомного заземлення нейтралі використовується резистор, що забезпечує величину струму в межах 10...2000 А. Величина струму вибирається з урахуванням декількох конкретних умов: стійкості опор повітряних ліній, оболонки і екранів кабелів до протікання такого струму ОЗЗ; наявність в мережі високовольтних електродвигунів і генераторів; чутливість релейного захисту.

Моделювання режиму роботи мережі 20 кВ для визначення необхідного оптимального значення опору резистора заземлення нейтралі

Для побудови моделі мережі використано програмний комплекс Matlab, тож слід зважати на особливості задання та розрахунку параметрів електричних мереж в цьому обчислювальному комплексі. В переважній більшості зазначається погонна ємність кабелів, не вказуючи окремо параметри прямої та зворотної послідовності, але ці дані необхідні для правильного опису ЛЕП. Перевагою використання програмного комплексу Matlab є можливість моделювання процесу намагнічування трансформатора, що впливає на характер перехідних процесів в мережі.

Потрібно зауважити, що від опору резистора залежить струм однофазного короткого замикання. Величина цього струму безпосередньо впливає на види релейного захисту, а також їх кількість. Чим більше значення струму протікатиме по лінії електропередачі, тим вища селективність пристроїв РЗА. З іншого боку, кількість енергії що виділяється в провіднику має квадратичну залежність від величини струму, що зумовлює необхідність максимального обмеження струмів КЗ. Оптимальною буде така величина опору резистора, за якої досягається достатня чутливість пристроїв РЗА за найменшого струму КЗ.

Мережі напругою 20 кВ проектується за зустрічною двопроменевою розімкнено-кільцевою схемою [7], [8] (рис. 2). В нормальному режимі роботи найвіддаленішою точкою КЗ є лінія, що відходить від РП2 або РП5, тоді кількість пристроїв РЗА в каскаді складає три одиниці, не враховуючи захист трансформатора 20/0,4 кВ.

Найвіддаленішою точкою КЗ за умови втрати живлення зі сторони однієї

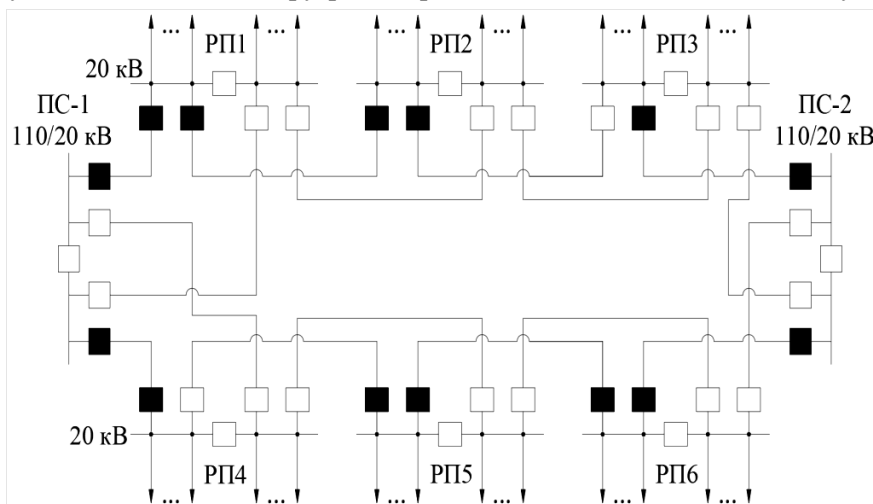


Рис. 2. Зустрічна двопроменева розімкнено-кільцева схема розподільної мережі 20 кВ

ПС, наприклад ПС-2, є кінець лінії, що виходить з РП3 або РП6. В цьому випадку кількість пристроїв РЗА в каскаді складає чотири одиниці, не враховуючи захист трансформатора 20/0,4 кВ. Фрагмент мережі для розрахунку струму КЗ в найвіддаленішій точці наведено на рис. 3.

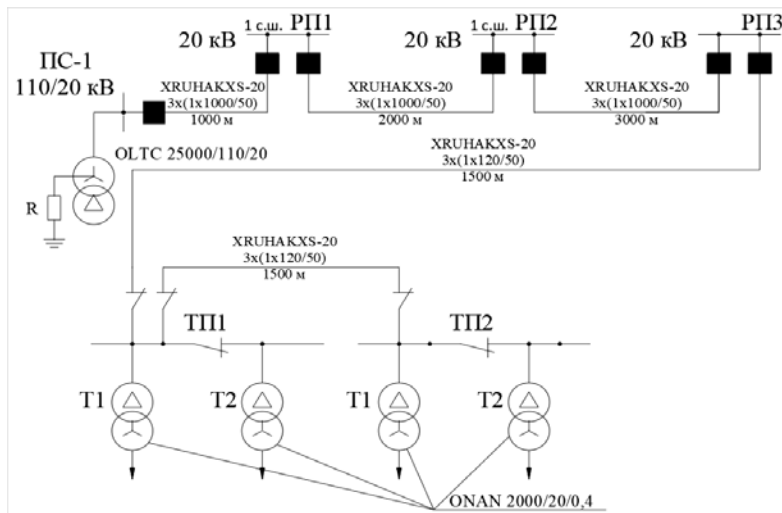


Рис. 3. Фрагмент розподільної мережі 20 кВ

ний характер, то всі поправкові коефіцієнти вважаються рівними одиниці. Аналогічно вибрано кабель від РПЗ до ТП1, його перетин складе 120 мм^2 .

Виконано моделювання мережі за умови ідеального джерела живлення при $\cos(\varphi) = 0,9$ для навантаження відповідно до рис. 3. Модель фрагмента розподільної мережі 20 кВ в середовищі MatLab показано на рис. 4

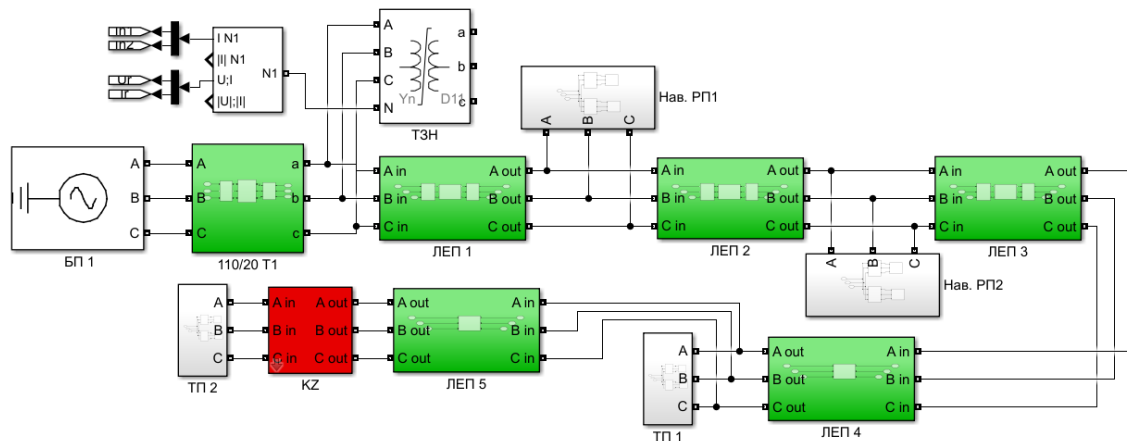


Рис. 4. Модель фрагмента розподільної мережі 20 кВ в середовищі MatLab

Вагомим параметром для вибору необхідного опору заземлення нейтралі є значення коефіцієнта чутливості струмових захистів. Отже, для визначення параметрів установок РЗА визначені струми однофазного та трифазного КЗ, оскільки струм однофазного КЗ є мінімальним струмом, за яким перевіряється чутливість захисту, а трифазний використовується для перевірки обладнання на термічну стійкість.

Для розрахунку параметрів установок РЗА у програмному середовищі MatLab створено програму. Результати розрахунків МСЗ свідчать, що за опору резистора 15 Ом коефіцієнт чутливості захистів, що знаходяться на початку 1-ї та 2-ї ЛЕП, не відповідає вимогам. Для усунення цього можна використати захисти по струмах нульової послідовності з розташуванням ТСНП в нейтралі мережі 20 кВ або зменшити коефіцієнт надійності та застосувати уставки з дробовими складовими.

Під час дослідження, до розгляду взято три варіанти значення опору заземлювального резистора, а саме — 5, 10 та 15 Ом. За результатами розрахунків у розглядуваній мережі із суттєвим навантаженням вздовж ліній електропередачі, з огляду на ефективність роботи максимального струмового захисту, оптимальним є використання резистора номіналом в 10 Ом, оскільки тоді струм однофазного короткого замикання не перевищує 1 кА. В реальних електричних мережах намагаються уникати значних струмів навантаження по одній лінії, адже зазвичай це зумовлюється зростанням кількості споживачів, що погіршує загальну надійність електропостачання. Однак, навіть за розглянутого випадку резистор опором 10 Ом є достатнім для селективної роботи 4-х послідовно встановлених пристроїв захисту,

Кількість та потужність ТП може варіюватися у широких межах, як і спосіб захисту трансформаторів. В роботі виконано розрахунок випадку для двох ТП, при цьому потужність кожного трансформатора становить 2 МВА. Тоді сумарне навантаження лінії, що відходить від РПЗ до ТП1 становить 8 МВА, лінії РП1–РП2 — 16 МВА, а потужність, що видається в мережу становить 24 МВА. Для лінії взято кабель перетином 1000 мм^2 , максимальний струм навантаження якого, у разі прокладання кабелів фаз у вигляді трикутника, становить 820 А. Оскільки розрахунок носить теоретич-

тобто з використанням не більше трьох розподільчих пунктів на одну гілку мережі.

Для мереж, які мають невелику протяжність або малі струми навантаження, можна використовувати резистивне заземлення нейтралі з опором резистора 10...15 Ом, оскільки в цьому випадку забезпечується надійна робота принаймні трьох послідовних пристроїв захисту, тобто гілки з двома розподільними пунктами.

Висновок

Запропоновані шляхи підвищення надійності розподільних мереж середньої напруги шляхом встановлення резистора у нейтраль мережі та визначення його оптимального опору.

Найпопулярнішим та зручним у використанні є суцільний резистор внутрішнього встановлення, оскільки під час експлуатації практично не змінюються його електричні властивості, а також відсутня необхідність обслуговування. До того ж зазначено, що резистор необхідно встановлювати в окрему нейтраль мережі, утворену через трансформатор заземлення нейтралі або фільтр приєднання нульової послідовності.

Встановлено, що величина опору резистора повинна знаходитись в межах 10...15 Ом за умови забезпечення чутливості струмових захистів. З опором резистора в 10 Ом забезпечується селективна робота чотирьох пристроїв релейного захисту розміщених у каскаді, а з опором в 15 Ом — не більше трьох пристроїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] T. Francis, *Optimal neutral ground resistor rating of the medium voltage systems in power generating stations*, 2015. [Electronic resource]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/22348972.2015.1110878>.
- [2] Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. (n.d.), *Підвищення енергоефективності роботи електромереж та зменшення втрат в розподільчих мережах 6(10) кВ шляхом переходу на 20 кВ*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.nerc.gov.ua/web/printable.php?news=5272&lang=UA>.
- [3] A. K. Osintsev, *On low-resistance neutral earthing mode in 20 kV overhead and cable networks*, January 2017. [Electronic resource]. Available: <https://www.researchgate.net/journal/E3S-Web-of-Conferences-2267-1242>.
- [4] Abdallah R. Al-Zyoud, A. Alwadie, A. Elmitwally, and Abdallah Basheer, *Effect of Neutral Grounding Methods on the Earth Fault Characteristics*, 2015. [Electronic resource]. Available: <https://www.piers.org/pierspublications/PIERS2015PragueProceedings02>
- [5] В. В. Назаров, *Заземление нейтрали*. 2014. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.electrik.org/forum/index.php?act=attach&type=post&id=49438>.
- [6] ООО «Релематика», «Релейная защита сети 20 кВ: технические решения и особенности от ООО «Релематика»,» *Электроэнергия, передача и распределение*, № 4 (37), июль — август, 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://relematika.ru/news/releynaya-zashchita-seti-20-kv-tekhnicheskie-resheniya-i-osobennosti/>.
- [7] М. А. Шабад, «Защита от однофазных замыканий на землю в сетях 6–35 кВ,» *приложение к журналу «Энергетик»*. Москва: НТФ «Энергопрогресс», 2007, 64 с.
- [8] В. В. Кирик, Б. В. Циганенко, і О. С. Яндульський, *Розподільні електричні мережі напругою 20 кВ та ефективність їх роботи*, моногр. Київ, Україна: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018, 233 с.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 25.10. 2021

Кирик Валерій Валентинович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електричних мереж та систем;
Буряк Анна Романівна — студентка факультету електроенерготехніки та автоматики, e-mail: annbeet99@gmail.com ;

Іськова Маргарита Сергіївна — студентка факультету електроенерготехніки та автоматики.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

V. V. Kyryk¹
A. R. Buriak¹
M. S. Iskova¹

Determination of the Optimal Value of Resistance Neutral Ground Resistors in 20 kV Networks

¹National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

At present, there is an objective need for a solution in the power system of Ukraine problems of improving the principles of construction of network topology by voltage classes and types of performance on based on scientifically sound technical solutions using modern methods and technologies.

The article is devoted to the study of the optimal value of the resistance of the neutral grounding resistor in 20 kV networks. Distribution electric networks of Ukraine with a voltage of 6 (10) kV are included in the final link systems of providing consumers with electric energy. They are in direct interaction both with the consumer, and regional and main electric networks. Therefore, the state and the operation of 6 (10) kV electrical distribution networks has a significant impact on performance reliability, quality and efficiency of the integrated power system of Ukraine. Transition from voltage level 6 (10) kV on 20 kV is an actual and priority step to increase the efficiency of operation distribution network and a significant reduction in electricity losses.

The paper presents the types of resistors and options for their installation in the neutral voltage network 20 kV. The relationship between the resistance of the neutral grounding resistor and the single-phase current is established short circuit, which directly affects the types of relay protections, as well as their number. Simulation of the 20 kV network operation mode was performed, based on the results of which the optimal one was chosen the value of the resistance of the neutral grounding resistor in the presented network, which is achieved sufficient sensitivity of relay protection devices at the lowest short-circuit current. This one was chosen for the study neutral grounding method, because resistive grounding has the following advantages: no arcs high-frequency overvoltages and multiple damages in the network; no need to disconnect the first single-phase earth fault; reducing the likelihood of impressions of staff and outsiders at single-phase short circuit; almost complete exclusion of the possibility of transition of single-phase circuit to ground in multiphase; simple implementation of sensitive and selective relay protection single-phase ground fault.

Keywords: voltage 20 kV, distribution network, resistor, short circuit, grounding, neutral.

Kyryk Valerii V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Electrical Networks and Systems;

Buriak Anna R. — Student of the Department of Electrical Engineering and Automation, e-mail: annbeet99@gmail.com ;

Iskova Margaryta S. — Student of the Department of Electrical Engineering and Automation

В. В. Кирик¹
А. Р. Буряк¹
М. С. Иськова¹

Определение оптимального значения сопротивления резисторов заземления нейтрали в сетях 20 кВ

Национальный технический университет Украины
 «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

В настоящее время в энергосистеме Украины назрела объективная необходимость решения задач усовершенствования принципов построения топологии сетей по классам напряжения и видам выполнения на основе научно обоснованных технических решений с использованием современных методов и технологий

Исследовано оптимальное значение сопротивления резистора заземления нейтрали в сетях 20 кВ. Распределительные электрические сети Украины напряжением 6 (10) кВ входят в конечное звено системы обеспечения потребителей электрической энергией. Они находятся в непосредственном взаимодействии как с потребителями, так и с районными и магистральными электрическими сетями. Поэтому состояние и функционирование распределительных электрических сетей напряжением 6 (10) кВ ощутимо влияет на показатели надежности, качества и эффективности работы объединенной энергосистемы Украины. Переход с уровня напряжения 6 (10) кВ на 20 кВ актуальный и приоритетный шаг для повышения эффективности функционирования распределительной сети и существенное уменьшение потерь электроэнергии.

В работе представлены виды резисторов и варианты их установки в нейтраль сети напряжением 20 кВ. Установлена зависимость между сопротивлением резистора заземления нейтрали и однофазным током короткого замыкания, непосредственно влияющего на виды релейной защиты, а также их количество. Выполнено моделирование режима работы сети 20 кВ, по его результатам выбрано оптимальное значение сопротивления резистора заземления нейтрали в представленной сети, с которым достигается достаточная чувствительность устройств РЗА при малейшем токе КЗ. Для исследования выбран именно этот метод заземления нейтрали, поскольку у резистивного заземления есть такие преимущества: отсутствие дуговых перенапряжений высокой кратности и многоместных повреждений в сети; отсутствие необходимости отключения первого однофазного замыкания на землю; уменьшение вероятности поражения персонала и посторонних при однофазном замыкании; практически полное исключение возможности перехода однофазного замыкания на землю в многофазное; простое исполнение чувствительной и селективной релейной защиты от однофазного замыкания на землю.

Ключевые слова: напряжение 20 кВ, распределительная сеть, резистор, короткое замыкание, заземление, нейтраль.

Кирик Валерий Валентинович — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электрических сетей и систем;

Буряк Анна Романовна — студент факультета электроэнерготехники и автоматики, e-mail: annbeet99@gmail.com ;

Иськова Маргарита Сергеевна — студент факультета электроэнерготехники и автоматики