

Т. 2, № 1, 2020

УДК 621.311

П. М. Баран

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електроенергетики та систем управління,
e-mail: petro.m.baran@lpnu.ua

В. П. Кідиба

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електроенергетики та систем управління,
e-mail: kidyba@ukr.net

Я. Д. Пришляк

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електроенергетики та систем управління,
e-mail: pryshlak@gmail.com

І. О. Сабадаш

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електроенергетики та систем управління,
e-mail: office@imskoe.org.ua

АВТОМАТИЧНЕ ПОВТОРНЕ ВВІМКНЕННЯ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ ЗА ОДНОФАЗНОГО ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ

<https://doi.org/10.23939/sepes2020.01.001>

© Баран П. М., Кідиба В. П., Пришляк Я. Д., Сабадаш І. О., 2020

Електричні мережі 6–35 кВ працюють з ізолюованою чи уземленою через дугогасний реактор нейтраллю. Цей режим нейтралі є причиною появи значних перенапруг з крутими фронтами хвиль в електричній мережі за однофазних замикань на землю (ОЗЗ), особливо за дугових замикань та різного роду ферорезонансних явищ. Ці перенапруги пошкоджують ізоляцію всієї електричної мережі. Тому для підвищення ефективності функціонування мережі 6–35 кВ необхідно до мінімуму зменшити час дії згубних для ізоляції мережі (особливо кабелів) перенапруг. Для цього необхідно застосовувати захисти, що діють на вимкнення присіднання з ОЗЗ із мінімальною витримкою часу. Для зменшення збитків від недовідпуску електроенергії за рахунок зменшення часу знеструмлення споживачів, що вимикалися захистом за ОЗЗ, доцільно застосовувати автоматичне повторне ввімкнення (АПВ), що діє на автоматичне увімкнення елемента електричної мережі, попередньо вимкненого захистом за ОЗЗ.

Розроблено алгоритм функціонування АПВ. На основі розробленого алгоритму з застосуванням цифрових технологій виготовлений пристрій, за допомогою якого може бути організована функція АПВ для великої кількості присіднань до секції шин – до 28.

Для перевірки працездатності пристрою створена фізична модель електричної мережі з ізольованою нейтраллю, що дозволяє моделювати ОЗЗ. Для захисту від ОЗЗ у фізичній моделі застосований серійний пристрій «Альтра», що успішно експлуатується на різних електроенергетичних об'єктах України – обленерго, теплових електричних станціях, заводських підстанціях тощо. Взаємна робота пристроїв захисту від ОЗЗ та АПВ опробована на фізичній моделі. Моделювались різноманітні режими за ОЗЗ в електричній мережі (пошкодження в різних місцях електричної мережі) та різний характер ОЗЗ (короткочасні з самоліквідацією, стійкі без самоусунення). Аналіз результатів перевірки на фізичній моделі підтвердив високу ефективність комплексного використання пристроїв захисту за ОЗЗ та АПВ у мережах з ізольованою (компенсованою) нейтраллю. Зараз пристрій знаходиться в дослідній експлуатації на одній із підстанцій «Львівобленерго».

Ключові слова: підстанція; релейний захист; автоматика; однофазне замикання на землю; автоматичне повторне ввімкнення; цифровий пристрій; «Альтра»; інформаційна мережа.

Постановка проблеми

Для зменшення збитків від недовідпуску електроенергії споживачам, що вимикалися захистом за однофазного замикання на землю, пропонується їх вмикати пристроями автоматичного повторного ввімкнення. Це в першу чергу стосується споживачів, приєднаних до шин підстанцій кабелями з паперовою оливопросоченою ізоляцією.

Актуальність дослідження

Як показав досвід експлуатації, більшість ОЗЗ в мережах з ізольованою (компенсованою) нейтраллю є дуговими (70–90 % всіх ОЗЗ). Навіть стійкі («металічні») ОЗЗ починаються з дугових замикань різної тривалості. Режим дугових ОЗЗ є небезпечним для ізоляції всієї електричної мережі через наявність в ній перенапруг з крутими фронтами хвиль. Під час виникнення дугового ОЗЗ також можуть виникати ферорезонансні явища, для яких характерним є значне підвищення фазних напруг мережі, що може спричинити пробій ізоляції обладнання. За виникнення ферорезонансу насамперед з ладу виходять трансформатори напруги (згідно зі статистичними даними за рік виходить з ладу до 10 % від загальної кількості трансформаторів напруги) та можуть пошкоджуватись кабелі електрично зв'язаної мережі [1]. Крім того, такі перенапруги викликають прискорену деградацію (старіння) ізоляції. Тому режими ОЗЗ, особливо дугові, для електричних мереж з ізольованою (компенсованою) нейтраллю є небезпечними [2]. Враховуючи вищевикладене, захисти за виникнення ОЗЗ у мережах з ізольованою (компенсованою) нейтраллю повинні діяти на вимкнення пошкодженого елемента з мінімальною можливою витримкою часу [3].

В електричних мережах з ізольованою (компенсованою) нейтраллю часто виникають ОЗЗ, що супроводжуються частковими пробоями (короткочасними уземленнями фази). За часткових пробіїв в більшості випадків ізоляція в місці пошкодження самовідновлюється (або відновлюється після зняття напруги). У разі використання швидкодійного релейного захисту, вимкнене ним приєднання, в якому відновились ізоляція, може вводиться в роботу. Для цього доцільно застосувати автоматичне повторне ввімкнення, що здійснює увімкнення елемента, попередньо вимкненого захистом за ОЗЗ в електричній мережі з ізольованою (компенсованою) нейтраллю. Це дозволить зменшити збитки від недовідпуску електроенергії за рахунок зменшення часу знеструмлення споживачів, що вимикалися захистом за ОЗЗ.

Формулювання мети та завдань статті

Метою дослідження є розроблення алгоритму функціонування АПВ за однофазного замикання на землю в електричній мережі з ізольованою (компенсованою) нейтраллю, створення цифрового пристрою та перевірка його працездатності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сьогодні для захисту приєднань підстанцій з ізольованою або компенсованою нейтраллю за ОЗЗ ефективним є застосування цифрових пристроїв “Альтра” [4–6], для яких характерними є висока чутливість та селективність роботи. Принцип роботи пристрою за виникнення ОЗЗ на приєднанні базується на аналізі струмів нульової послідовності приєднань до секції шин (СШ) підстанції та напруги нульової послідовності СШ.

Виклад основного матеріалу

Автоматичне повторне ввімкнення за однофазного замикання на землю (АПВ) призначене для автоматичного увімкнення приєднання, що було вимкнене пристроєм захисту за ОЗЗ [7, 8]. Як захист за ОЗЗ використаємо пристрій “Альтра”. Цей пристрій забезпечує комплексний контроль ізоляції кожного приєднання секції шин 6-35 кВ, селективно визначає приєднання секції шин після виникнення на ньому ОЗЗ та формує сигнал на його вимкнення. Для запуску АПВ обов'язковою є дія пристрою захисту за ОЗЗ на вимкнення пошкодженого приєднання.

Для роботи АПВ необхідно забезпечити виконання таких умов:

- пуск АПВ здійснюється тільки після спрацювання пристрою захисту за ОЗЗ;
- після увімкнення вимикача приєднання на визначений час блокується запуск АПВ;
- дія АПВ має бути однократною.

Функціональну схему, що реалізує роботу АПВ, наведено на рис. 1. Схему показано для одного приєднання.

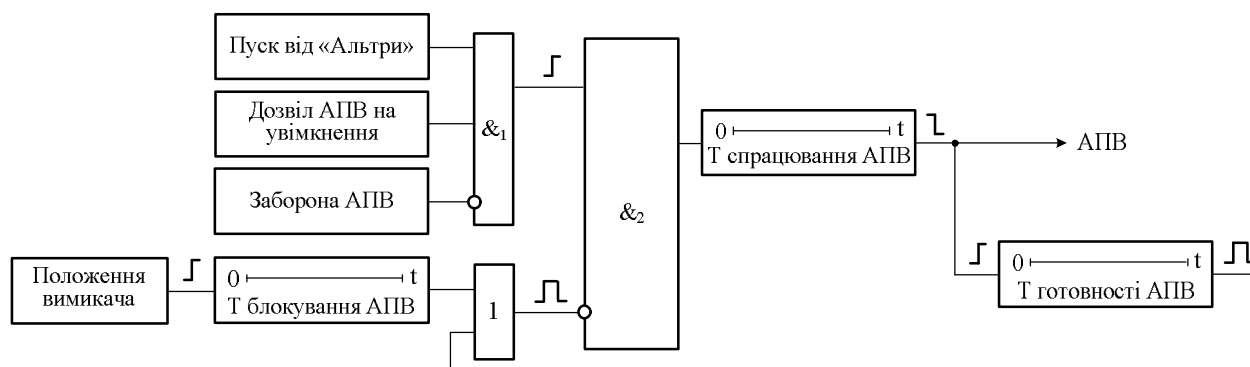


Рис. 1. Функціональна схема роботи АПВ

Для організації АПВ необхідно контролювати стан вихідних реле пристрою захисту за ОЗЗ, які діють на вимкнення вимикачів приєднань та стан вимикачів цих приєднань.

Дозвіл на пуск АПВ формуватиметься (сигнал на виході логічного елемента $\&_2$) у випадку:

1) наявності сигналу на першому вході логічного елемента $\&_2$, який буде після виконання наступних умов:

– пройшло вимкнення приєднання від захисту за ОЗЗ (контролюється, як правило, спрацюванням відповідного вихідного реле);

– дозволена дія АПВ на увімкнення (задається в конфігурації пристрою АПВ);

– немає заборони дії АПВ від інших пристроїв РЗА підстанції;

2) відсутності сигналу на інверсному вході логічного елемента $\&_2$.

Блокування дії АПВ виконане на інверсному вході логічного елемента $\&_2$. Воно здійснюється завдяки наявності сигналу на виході логічного елемента 1, який утримується протягом часу, що визначається витримками часу: $T_{\text{блокування АПВ}}$ та $T_{\text{готовності АПВ}}$. Це блокування передбачене для двох випадків:

- відразу після увімкнення вимикача (появи сигналу “Положення вимикача”), коли можливе увімкнення на закоротку та спрацювання захисту від міжфазних к.з., який повинен вимикати вимикач з мінімальною можливою витримкою часу. В цьому випадку повторне ввімкнення від АПВ не має сенсу;

- після увімкнення вимикача від АПВ. Тим самим забезпечується однократність дії АПВ. Якщо ОЗЗ стійке, то дія АПВ. З неуспішна, автоматично вмикати вимикач приєднання другий раз немає потреби.

Після появи сигналу на виході логічного елемента $\&_2$ запускається таймер, який відраховує час спрацювання АПВ $T_{\text{спрацювання АПВ}}$. Після відрахунку цього часу з'являється сигнал "АПВ", що діє на електромагніт увімкнення вимикача приєднання.

На основі розробленого алгоритму функціонування АПВ в Інституті мікропроцесорних систем керування об'єктами електроенергетики (ІМСКОЕ) – виготовлено цифровий термінал "Альтра-АПВ-ОЗЗ". "Альтра-АПВ-ОЗЗ" – це сучасний цифровий прилад, що забезпечує автоматичне повторне ввімкнення приєднання системи шин 6-35 кВ після вимкнення його захистом за ОЗЗ. Один пристрій встановлюють для організації функції АПВ для 28 приєднань включно (у випадку більшої кількості приєднань встановлюють два або більше пристроїв). Для контролю стану вимикачів передбачено N бінарних входів за кількістю контрольованих приєднань захистом за ОЗЗ "Альтра". Для управління вимикачами приєднань передбачено N бінарних виходів (в терміналі вони реалізовані на електромеханічних проміжних реле).

Як правило пристрій АПВ "Альтра-АПВ-ОЗЗ" працює разом з пристроєм захисту за ОЗЗ "Альтра".

Для отримання інформації від пристроїв "Альтра" та "Альтра-АПВ-ОЗЗ" організовується інформаційна мережа. Інформаційна мережа управління пристроями АПВ та захисту за ОЗЗ наведена на рис. 2. Доступ до пристроїв "Альтра-АПВ-ОЗЗ" та "Альтра" організований на основі "Концентратора". Зв'язок "Концентратора" з диспетчером може здійснюватись як по GSM мережі, так і по Ethernet мережі. «Концентратор» містить вбудований комп'ютер, GPS модуль та GSM модем. Він забезпечує збирання інформації від пристроїв, їх часову синхронізацію, передачу інформації на вищий рівень ієрархії управління та можливість зміни їх конфігурації. Зв'язок пристроїв "Альтра-АПВ-ОЗЗ" та "Альтра" з "Концентратором" здійснений за допомогою двопровідної лінії зв'язку типу "вита пара" з використанням інтерфейсу RS-485.

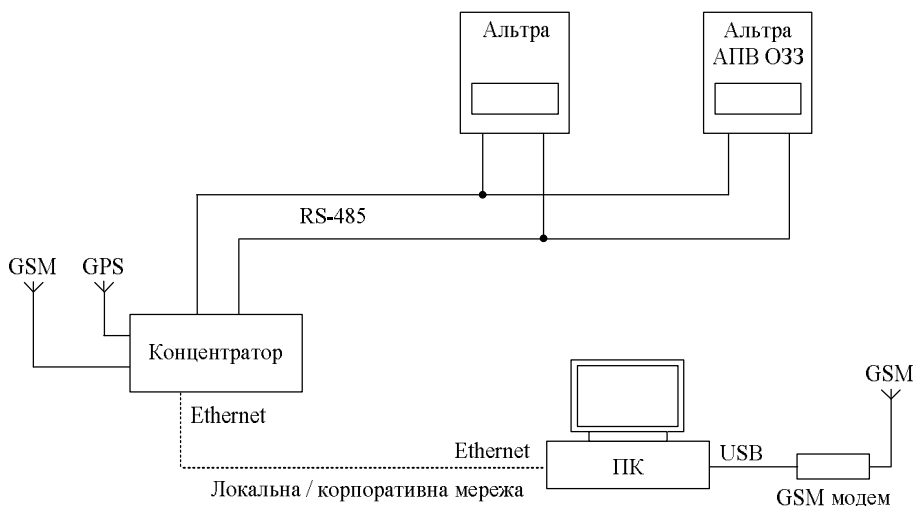


Рис. 2. Інформаційна мережа пристроїв "Альтра-АПВ-ОЗЗ" та "Альтра"

Управління пристроями інформаційної мережі здійснюється через ПК диспетчера.

Для перевірки працездатності пристрою на кафедрі електроенергетики та систем управління створено фізичну модель електричної мережі з ізольованою нейтраллю, що дозволяє моделювати ОЗЗ [9, 10]. Ця фізична модель електричної мережі представляє собою характерний фрагмент типової міської електричної мережі. Принципова схема фізичної моделі електричної мережі наведена на рис. 3.

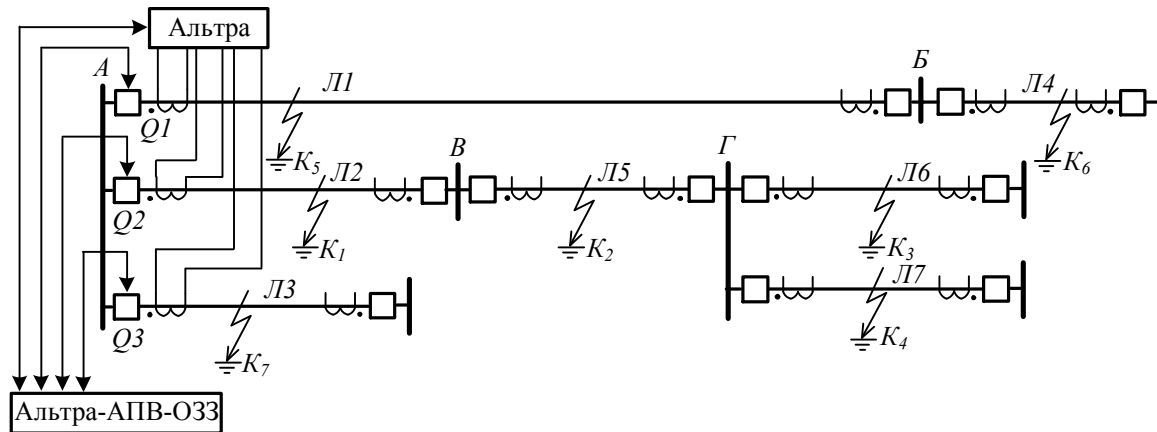


Рис. 3. Принципова схема фізичної моделі електричної мережі

Як видно з рис. 3, в мережі використовується пристрій “Альтра”, який встановлений на підстанції А. Цей пристрій забезпечує селективне визначення лінії, на якій відбулося ОЗЗ та її вимкнення. На цій же підстанції встановлений пристрій, що забезпечує АПВ “Альтра-АПВ-ОЗЗ”. Використовуючи особливості, які характерні для ОЗЗ, розглядаємо схему електричної мережі лише для протікання струмів нульової послідовності. Для моделювання ОЗЗ на лініях мережі джерело напруги нульової послідовності необхідно вмикати у вибраному місці. В схемі фізичної моделі відсутні поздовжні параметри ліній – активні та індуктивні опори, тому що вони є набагато меншими від поперечних (ємнісних) опорів ліній.

На рис. 4 наведено схему управління комутаційним апаратом Q1 фізичної моделі електричної мережі. На схемі контакти A1.1, A1.2, A2.1 – це вихідні контакти пристроїв захисту “Альтра” та “Альтра-АПВ-ОЗЗ”. Реле Q1 моделює вимикач електричної мережі (це двообмоткове реле), SB1, SB2 – кнопки дистанційного ручного управління вимикачем. Аналогічно працюють схеми управління комутаційними апаратами Q2, Q3 фізичної моделі електричної мережі.

Створена фізична модель з достатньою точністю дозволяє моделювати процеси під час ОЗЗ в електричній мережі з ізолюваною нейтраллю.

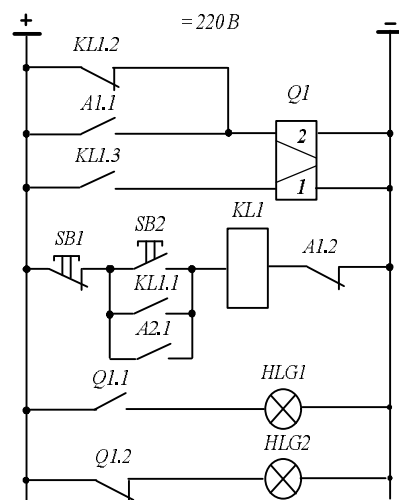


Рис. 4. Схема управління вимикачем фізичної моделі електричної мережі

Висновки

1. Розроблено алгоритм автоматичного повторного ввімкнення приєднання після вимкнення його захистом за однофазного замикання на землю.
2. Розроблено мікропроцесорний пристрій “Альтра-АПВ-ОЗЗ”, що реалізує функцію АПВ.
3. Створено фізичну модель електричної мережі з ізолюваною нейтраллю, що дозволяє моделювати однофазні замикання на землю, роботу пристроїв релейного захисту та дію АПВ.

Список використаних джерел

1. Журахівський А. В. Ферорезонансні процеси та захист трансформаторів напруги в електричних мережах 6–35 кВ: монографія / А. В. Журахівський, З. М. Бахор, О. І. Ганус, П. П. Говоров, А. Я. Яцейко. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. 324 с.

2. Захист електричних мереж 6–35 Кв від ферорезонансних процесів / А. В. Журахівський, Ю. А. Кенс, А. Я. Яцейко, Р. Я. Масляк. Технічна електродинаміка. 2013. № 5. С. 70–76.
3. Гловацкий В. Г., Пономарев И. В. Современные средства релейной защиты и автоматики электросетей. М.: Энергомашиин, 2003. 535 с.
4. Базилевич М. В., Божик Р. С., Сабадаш І. О. Мікропроцесорна інформаційно-діагностувальна система «Альтра» для селективного визначення приєднання з уземленою фазою. Енергетика та електрифікація. Київ, 2003. № 7. С. 9–95.
5. Сабадаш І. О. Новітні мікропроцесорні технології в експлуатації мереж 6–35 кВ. Электрические сети и системы. 2011. № 6.
6. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 504 с.
7. Голота А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах: навч. посіб. К.: Вища шк., 2006. 367 с.
8. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем: навч. посіб. / О. С. Яндюльський, О. О. Дмитренко; під загальною редакцією д.т.н. О.С. Яндюльського. К.: НТУУ «КПІ», 2016. 102 с.
9. Баран П. М., Кідиба В. П., Шмагала В. М., Пришляк Я. Д. Спеціальне програмне забезпечення цифрової тестової системи для перевірки пристроїв релейного захисту та автоматики. Енергетика та електрифікація. Київ, 2006. № 6. С. 25–32.
10. Баран П. М., Божик Р. С., Кідиба В. П., Лисяк Г. М., Сабадаш І. О., Проць Х. А. Фізична модель мережі з ізольованою нейтраллю для перевірки захистів від однофазних замикань на землю // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Електроенергетичні та електромеханічні системи. 2011. № 707. С. 3–9.

References

1. Zhurakhivskii A.V. Ferorezonansni protsesy ta zahyst transformatoriv napruhy v elektrychkykh merezhakh 6–35 KV: monohrafiia / A. V. Zhurakhivskii, Z. M. Bakhor, O. I. Hanus, P. P. Hovorov, A. Ya. Yatseiko. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2019. 324 p. (Ukr)
2. Zakhyst elektrychnykh merezh 6–35 kV vid ferorezonansnykh protsesiv / A. V. Zhurakhivskii, Yu. A. Kens, A. Ya. Yatseiko, R. Ya. Masliak. Tekhnichna elektrodynamika, 2013. No 5. Pp. 70–76.
3. Glovatskiy V. G., Ponomarev I. V. Sovremennye sredstva zashchity i avtomatiki elektrosetey. Moskva: Energomashvin. 2003. 535 p. (Rus)
4. Bazylevych M. V., Bozhyk R. S., Sabadash I. O. Mikroprotsesorna informatsiino-diaagnostuvalna systema “Altra” dlia selektyvnogo vyznachennia pryednannia z uzemlenoiu fazoiu. Energetyka ta elektryfikatsiia. Kyiv, 2003. No 7. Pp. 91–95. (Ukr)
5. Sabadash I. O. Novitni mikroprotsesorni tehnolohii v ekspluatatsii merezh 6–35 kV. Elektricheskie seti i sistemy. 2011. No 6. (Ukr)
6. Kidyba V. P. Releinyi zakhyst elektroenerhetychnykh system: navch. posibnyk. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2015. 504 p. (Ukr)
7. Holota A. D. Avtomatyka v elektroenerhetychkykh systemakh: navch. posibnyk. Kyiv: Vyscha shkola, 2006. 367 p. (Ukr)
8. Releinyi zakhyst. Tsyfrovi prystroi releinoho zakhystu, avtomatyky ta upravlinnia elektroenerhetychkykh system: navch. posibnyk / O. S. Yandulskiyi, O. O. Dmytrenko; pid zahalnoi redaktsiieiu O. S. Yandulskoho. Kyiv: NTUU “KPI”, 2016. 102 p. (Ukr)
9. Baran P. M., Kidyba V. P., Shmahala V. M., Pryshliak Ya. D. Spetsialne prohramne zabezpechennia tsyfrovoi testovoi systemy dlia perevirky prystroiv releinoho zakhystu ta avtomatyky. Energetyka ta elektryfikatsiia. Kyiv, 2006. No 6. Pp. 25–32. (Ukr)
10. Baran P. M., Bozhyk R. S., Kidyba V. P., Lysiak H. M., Sabadash I. O., Prots Kh. A. Fizychna model merezhi z izolovanoiui neutralliu dlia perevirky zakhystiv vid odnofaznykh zamykan na zemliu. Visnyk Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnika”. Elektroenerhetychni ta elektromekhanichni systemy. 2011. No. 707. Pp. 3–9. (Ukr)

P. Baran

Lviv Polytechnic National University,
Department of Electric Power Engineering and Control Systems,
e-mail: petro.m.baran@lpnu.ua

V. Kidyba

Lviv Polytechnic National University,
Department of Electric Power Engineering and Control Systems,
e-mail: kidyba@ukr.net

Ya. Pryshliak

Lviv Polytechnic National University,
Department of Electric Power Engineering and Control Systems,
e-mail: pryshlak@gmail.com

I. Sabadash

Lviv Polytechnic National University,
Department of Electric Power Engineering and Control Systems,
e-mail: office@imskoe.org.ua

AUTOMATIC RECLOSING FOR ISOLATED NEUTRAL ELECTRIC GRID UNDER SINGLE-PHASE TO GROUND FAULT

© Baran P., Kidyba V., Pryshliak Ya., Sabadash I., 2020

6–35 kV electrical networks operates with isolated or compensated neutrals. Such mode of a neutral is the reason of emergence of considerable overvoltage in an electrical network during single-phase ground fault (SFGF), especially during short-circuit through an arc and various ferro-resonance phenomena. These overvoltage destroy the insulation of the electrically coupled network. Therefore, in order to increase the performance efficiency of the 6-35 kV network, it is necessary to minimize the operate time of overvoltage that are detrimental to the insulation of the network (especially cables). For this purpose it is necessary to use protections, which with minimum time delay disconnect feeder with SFGF. In order to reduce the time of de-energizing of consumers who have been disconnected by the protection during the SFGF, it is advisable to use automatic reclose (AR), which will lead to reduction of losses from electricity sacrifice. The AR automatically switches on an electric network element previously disconnected during the SFGF.

The algorithm of functioning of the APP is developed. On the basis of the developed algorithm with use of digital technologies the device by means of which it is possible to organize the APP function for a large number of connections to section of lines – up to 28 is manufactured.

To test the performance of the device created a physical model of the isolated neutral system, which allows to simulate SFGF. To protect against SFGF in the physical model used serial device “Altra”, which is successfully operated at various power facilities in Ukraine – power, thermal power stations, substations of enterprises and more. The mutual operation of protection devices during SFGF and AR has been tested on a physical model. Various modes during SFGF in the electrical network (damage in different places of the electrical network) and different nature of SFGF (short-term with self-liquidation, stable without self-elimination) were simulated. The analysis of the results of the physical model verification confirmed the high efficiency of the integrated use of the protection devices during SFGF and AR in the isolated neutral system and compensated network. The device is currently being piloted at one of substations of “Lvivoblenergo”.

Keywords: substation; relay protection; automatics; single-phase ground fault; automatic reclose; digital device; “Altra”; information network.