

Є.О. Зайцев
І.В. Блінов
В.О. Березниченко
А.С. Закусило

ЗАСІБ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОШКОДЖЕННЯ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ В РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Інститут електродинаміки НАН України

У статті показано, що одним із важливих напрямків розвитку електроенергетичної галузі як в світі, так і в Україні є удосконалення та побудова електроенергетичних мереж та систем згідно з концепцією Smart Grid. Основна ідея таких систем – це надійне, енергоефективне та якісне енергопостачання, що ґрунтується на зростанні ролі керування як провідного фактору інноваційного розвитку електроенергетики і побудові високопродуктивної інформаційно-обчислювальної інфраструктури. Однією із основних складових Smart Grid є діагностика аварійних режимів та моніторинг пошкоджень. Це обумовлено тим, що пошкодження електричних мереж позначається на якості та надійності електропостачання споживачів. Тому важливою є задача швидкого і точного визначення місця пошкодження. Ефективне розв'язання цієї задачі дає значний економічний ефект, обумовлений скороченням перерв у електропостачанні, зменшенням транспортних витрат на обхід електричних мереж, мінімізацією загального часу організації ремонтно-відновлюваних робіт. Показано, що одним із шляхів підвищення ефективності є використання засобів ідентифікації аварійних станів на ділянках як кабельних, так і повітряних електричних мереж. Наведено схему розміщення індикаторів пошкоджень на ділянці розподільної електричної мережі, яка дозволяє визначати напрямок пошуку місця пошкодження. Проведено порівняльний аналіз вимірювальних трансформаторів струму оптичного та електромагнітного типу. Показано, що значна кількість переваг оптичних вимірювальних трансформаторів струму, які можуть використовуватися в індикаторах пошкоджень можуть забезпечуватися вимірювальними трансформаторами струму електромагнітного типу. Показано, що для забезпечення створення індикатора пошкоджень за концепцією Smart Grid, який дозволяє знизити час пошуку причини та місця виникнення аварійної ситуації до мінімуму, а також забезпечити підключення до діючих повітряних та кабельних ліній без зняття напруги шляхом підключення виходу вторинної обмотки вимірювального трансформатора струму роз'ємної конструкції до вимірювальних перетворювачів безпосередньо розміщених біля вимірювальних трансформаторів струму за допомогою механічного пружинного кріплення. Створено блок-схему спеціалізованої інформаційно-вимірювальної системи з індикатором пошкоджень з урахуванням вимог концепції Smart Grid, яка дозволяє знизити час пошуку причини до мінімуму.

Ключові слова: електроенергетична система, ідентифікація, цілісність, пристрій, пошкодження лінії, аварійні стани, розподільні мережі.

Вступ

Забезпечення ефективного та безпечного функціонування електроенергетичного комплексу України значною мірою залежить від стабільності роботи його окремих компонентів, які об'єднані спільним режимом виробництва, передавання та розподілу електричної й теплової енергії із спільним централізованим керуванням [1]. Існуючий курс Концепції впровадження “розумних мереж” в Україні до 2035 року направлений на активний розвиток систем Smart Grid в енергетичній системі України повністю відповідає пріоритетним напрямкам розвитку енергетики в ЄС.

Таким чином, одним із важливих напрямків розвитку електроенергетичної галузі як в світі, так і в Україні є удосконалення та побудова електроенергетичних мереж та систем згідно з концепцією Smart Grid. Основна ідея таких систем – це надійне, енергоефективне та якісне енергопоса-

чання, що ґрунтується на зростанні ролі керування як провідного фактору інноваційного розвитку електроенергетики і побудові високопродуктивної інформаційно-обчислювальної інфраструктури.

Порушення режиму роботи будь-якого із компонентів енергетичної системи призводить до виникнення різних аварійних ситуацій. Найбільш поширенішими типами пошкоджень є аварійні ситуації викликані кротким замиканнями та замиканнями на землю. Вважається, що аварії викликані замиканням становлять 70–80% [2]. Одним із найбільш поширеніших місць виникнення пошкоджень в електричних мережах є кабельні і повітряні лінії електропередавання (ЛЕП) [3].

Тому, контроль параметрів аварійних режимів кабельних ліній та ЛЕП на різних ділянках електричних мереж є одним із найважливіших завдань із забезпечення надійності електропостачання споживачів, що реалізується шляхом розробки та впровадження спеціалізованих інформаційно-вимірювальних систем (ІВС), як складової систем Smart Grid [4, 5]. Актуальність впровадження таких систем обумовлена тим, що виникнення аварійних ситуацій призводить до порушення нормального електропостачання споживачів пов'язаних з перервами в електропостачанні, а також із зниженням якості електричної енергії. У свою чергу погіршення якості електричної енергії може призвести до виходу з ладу обладнання електричних мереж та споживачів. Ефективне розв'язання цієї задачі дає значний економічний ефект, обумовлений скороченням перерв у електропостачанні, зменшенням транспортних витрат на обхід ПЛ та КЛ, мінімізацією загального часу організації ремонтно-відновлюваних робіт.

Ефективним способом зменшення часу пошуку пошкодженої ділянки ПЛ є використання мережних індикаторів визначення місць пошкодження – пристроїв, що здійснюють моніторинг електромагнітного поля навколо ПЛ і фіксують факт пошкодження на лінії.

Застосування індикаторів пошкоджень є найбільш актуальним для розподільних мереж від 10 кВ до 110 кВ. Основною характеристикою цих мереж є їх велика протяжність, яка обумовлена значною кількістю розгалужень та наявністю ділянок з ускладненим доступом до трас як повітряних та і кабельних ліній. Під час ліквідації аварійних ситуацій у розподільних електричних мережах, зокрема під час ліквідації аварій пов'язаних з виведенням з ладу ліній електропередавання в результаті ворожих дій, першорядне значення набуває своєчасна ідентифікація пошкодженої ділянки мережі.

Отже, визначення місць виникнення аварійної ситуації, причини, яка призвела до її виникнення та розробка заходів з її усунення – це складна та комплексна проблема, вирішення якої стало повсякденним оперативним завданням диспетчерських служб електричних мереж та систем.

Метою статті є аналіз шляхів підвищення надійності електропостачання споживачів та ефективності відновлення електропостачання операторами систем розподілу, шляхом розробки структури засобів ідентифікації аварійних станів в розподільних електричних мережах ОЕС України.

Основна частина

Побудова інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) на базі використання індикаторів із засобами зв'язку і передачі інформації знижує час пошуку аварії до мінімуму. Після появи пошкодження всі індикатори, встановлені на пошкоджених ділянках між центром живлення і місцем пошкодження, відправляють відповідні сигнали в диспетчерський центр, що дозволяє негайно ідентифікувати аварійну ділянку і здійснити оперативні дії.

У цьому разі основою ІВС є вимірювальні перетворювачі, які забезпечують визначення параметрів аварійних режимів. В електричних мережах європейських країн значного розповсюдження в якості вимірювальних перетворювачів (вимірювачів експлуатаційних параметрів в електричних мережах) знайшли індикатори пошкоджень [6,7]. Використання індикаторів пошкоджень в структурі ІВС, тобто сумісно із засобами попередньої обробки, зв'язку і передачі інформації дозволяє знизити час усунення причини виникнення аварійної ситуації до мінімуму, що дозволяє негайно ідентифікувати аварійну ділянку і здійснити оперативні дії.

Індикатори пошкоджень, які знайшли застосування в розподільчих електричних мережах, базуються на різних принципах роботи. Найпростішим варіантом індикаторів пошкоджень є пристрої, які фіксують перевищення певного порогу струму короткого замикання вимірювальним трансформатором (ВТ). Визначення відстані до аварійної ділянки здійснюється за відомими розрахунковими параметрами мережі, а саме за значеннями напруги в мережі та значенням перехідного опору в місці пошкодження. Зазвичай на розподільчих лініях зазначені індикатори визначення відстані до місця ушкодження малоефективні через кілька відгалужень, що обумовлено малими значеннями струмів замикань та протяжністю електричних мереж. Ця проблема вирішується вста-

новленням індикаторів пошкоджень на початку відгалужень кожної лінії. У цьому разі поєднуючи інформацію про відстань до місця аварії з інформацією від індикаторів пошкоджень, отримується точне місце знаходження пошкодженої ділянки мережі. Недоліками таких пристроїв є необхідність проведення додаткових розрахунків та використання ВТ електромагнітного типу. Використання ВТ в багатьох випадках пов'язано з труднощами в їхній реалізації та забезпечення експлуатації в умовах континентального клімату на території України, який характеризується спекотним літом та морозною зимою із значними ризькими перепадами температур. Такого недоліка позбавлені інформаційно-вимірювальні системи з оптичними індикаторами пошкоджень [8]. Принцип дії оптичних індикаторів базується на використанні електро- і магнітооптичних ефектів. Використання стабільності прояву фізичного ефекту впливу магнітного чи електричного полів, які виникають під дією вимірюваних струму чи напруги на параметр оптичного випромінювання дозволяють забезпечити високу точність вимірювання струмів і напруг. Перетворення вимірюваних електричних величин на параметр оптичного випромінювання відбувається безпосередньо в зоні високої напруги, далі використовуючи оптичні канали зв'язку вимірювальна інформація з зони високої напруги передається на низьковольтну частину ІВС розміщену в безпечній зоні. Безпосередньо вимірюваною величиною при використанні електро- і магнітооптичних ефектів є параметр оптичного випромінювання, вимірювання яких може проводитися з високою точністю [9]. Отримані результати не залежать від зовнішніх метеорологічних факторів. Основною перевагою оптичних індикаторами пошкоджень є широка смуга пропускання сигналу, висока стійкість до перешкод, довговічність, стабільність та простота виконання оптичного елемента, а також можливість визначення дуже коротких значень струмів короткого замикання у діапазоні до мілісекунд. Такі значення струмів короткого замикання виникають у випадках короткого замикання на землю наприклад під час виникнення замикання фази на землю або на нейтральний провід під дією природніх стихій. Суттєвим недоліком оптичних індикаторами пошкоджень є висока вартість оптичних індикаторів пошкоджень, що пов'язано з рядом причин [10, 11] :

- високою вартістю технології виготовлення оптичних елементів та засобів вимірювання їх вихідних величин;
- незначна потужність вихідних кіл, що недостатня для приведення в дію існуючих комплектів електромеханічних захистів, і необхідність для її підвищення використання додаткових апаратних засобів;
- відсутність у терміналів захистів і приладів обліку, що випускаються вітчизняними та багатьма зарубіжними виробниками, відповідних входів для підключення оптичних перетворювачів;
- відсутність національних стандартів, які регламентують перевірку та визначення класу точності оптичних сенсорів та перетворювачів в цілому;
- відсутність достатньої кількості статистичних даних по використанню даних пристроїв, що значно затрудняє визначення їх надійності;
- велика вартість проектів з огляду на високу вартість перетворюючих пристроїв і мережевого устаткування, а також організацію ланцюгів струму і напруги в цифровому вигляді.

Оскільки значна кількість переваг оптичних індикаторами пошкоджень можуть забезпечуватися традиційними ВТ струму, тому найбільш ефективним є побудова та використання індикаторів пошкоджень, що базуються на вимірюванні магнітного поля, індукованого струмом в мережі ВТ струму. Принцип роботи таких індикаторів полягає в тому, що сигнал з вторинної обмотки ВТ струму є пропорційним первинному індукованому струму та зсунутий відносно нього на кут по фазі, який близький нулю.

Існуючі індикаторами пошкоджень на основі ВТ струму через особливості їх конструкцій та забезпечення можливості нагляду за ними під час експлуатації та мінімізації похибки вимірювань встановлюються здебільшого тільки в великих вузлах генерування й розподілу електричної енергії, таких як станції і підстанції. Причому, ВТ зазвичай є складовою частиною закритих і відкритих розподільчих пристроїв. Крім зазначених обмежень на місце розміщення, їх недоліком є довготривалий час монтажу, наладки та необхідність зняття напруги під час їх встановлення й обслуговування.

Результати дослідження

Для забезпечення створення індикатора пошкоджень, який дозволяє знизити час пошуку причини та місця виникнення аварійної ситуації до мінімуму, а також забезпечити підключення до діючих повітряних та кабельних ліній без зняття напруги шляхом підключення виходу вторинної обмотки ВТ струму роз'ємної конструкції до вимірювальних перетворювачів безпосередньо роз-

міщених біля ВТ струму за допомогою механічного пружинного кріплення. Схема підключення трансформатора струму наведена на рис.1, на якому: сенсор струму навантаження (ССН) та вимірювальної системи (ВС). ССН у своєму складі містить: неінвазивний сенсор струму, який складається з індуктивного трансформатора струму з розбірним осердям (1), опору, який призначений для перетворення значення струму в напругу (2), стабілізатора опорної напруги зсуву, реалізованому на аналогових елементах (3). ВС у своєму складі містить: мікроконтролер "АТmega328" (4), мікросхему перетворювача інтерфейсів (5), рідкокристалічний дисплей 2x16 символів (6) для забезпечення відображення інформації у разі необхідності, світлодіод (9) призначений для світової індикації нормальної та аварійної ситуації на ЛЕП. ССН та ВС разом із персональним комп'ютером (7) або іншим спеціалізованим засобом обробки інформації, на якому розміщено спеціалізоване програмне забезпечення утворюють ІВС контролю та моніторингу аварійних параметрів ЛЕП розподілених електричних мережах. Персональний комп'ютер (7) розташовується в диспетчерському центрі у разі дистанційного доступу до ССН або в безпосередній близькості до ССН у безпечній зоні.

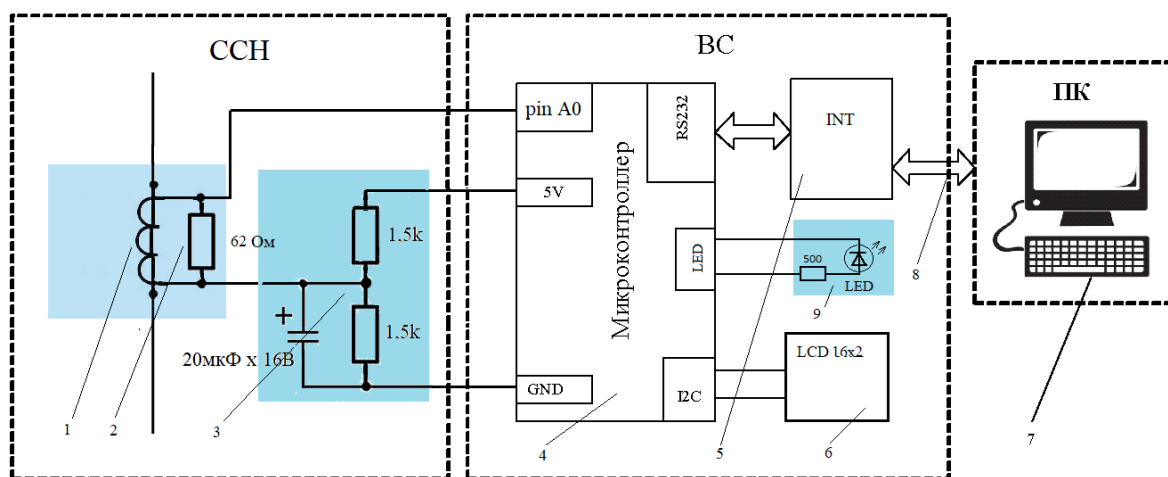


Рис. 1. Блок-схема

Дані зібрані із вимірювальних перетворювачів індикаторів ССН передаються на мережеву частину ІВС. Використовуючи отримані дані за допомогою блоку 7 можливо забезпечити моніторинг величини електричного струму, розпізнання причини різкого зросту сили струму: підключення нового навантаження чи появи струму КЗ, а при веденні додаткових коефіцієнтів визначити орієнтовну кількість спожитої (відпущеної) електроенергії в секторі розподіленої мережі та легко перелаштовуватися з урахуванням можливих пікових навантажень у відгалуженні. Кожний індикатор задля забезпечення візуальної індикації стану лінії оснащується світлодіодом 9, у випадку нормальної роботи лінії світлодіод неперервно світиться зеленим кольором, у випадку аварійного стану світлодіод переходить у режим кодового світіння червоним кольором. Тип кодового світіння визначається типом аварійної ситуації на лінії.

Використання індикаторів ССН, що мають засоби зв'язку та передачі інформації (блок 5 та 8), забезпечують зниження час пошуку аварії до мінімуму. У випадку появи пошкодження індикатори ССН, встановлені на пошкоджених ділянках між центром живлення та місцем пошкодження, відправлять відповідні сигнали до диспетчерського центру, що дозволяє негайно ідентифікувати аварійну ділянку та здійснити оперативні дії, щодо усунення аварійної ситуації.

Висновки

Індикатори пошкоджень використовуються для визначення різних типів пошкоджень в кабельних та повітряних лініях електричних мереж різного класу напруги, дозволяють виконувати візуальну індикацію пошкодженої ділянки лінії, а у разі наявності відповідного інтерфейсу передавати ці дані дистанційно. Схемо-технічне рішення побудови індикаторів пошкоджень дозволяє забезпечити підключення до діючих повітряних та кабельних ліній без зняття напруги, а також на відміну від існуючих індикаторів пошкоджень за рахунок додаткових коефіцієнтів визначити орієнтовну кількість спожитої (відпущеної) електроенергії в секторі розподіленої мережі та легко перелаштовуватися з урахуванням можливих пікових навантажень у відгалуженні.

Розробка та впровадження таких індикаторів є основою для побудови спеціалізованих інформаційно-вимірювальних систем в електричних мережах, використання яких зменшує транспортні витрати під час пошуку місць пошкоджень, мінімізувати загальний час організації ремонтно-відновлюваних робіт, що у свою чергу дозволяє підвищити надійність електропостачання споживачів та отримати позитивний економічний ефект внаслідок скорочення перерв у їх електропостачанні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими. Під заг. Ред. Акад. НАН України Кириленко О.В. К.: Ін-т електродиніміки НАН України, 2016. 400 с.
- [2] K. Łowczowski and B. Olejnik Monitoring, detection and locating of transient earth fault using zero-sequence current and cable screen earthing current in medium voltage cable and mixed feeders. *Energies* 2022, 15, 1066. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15031066>.
- [3] С. Зайцев, В. Кучанський та І. Гунько Підвищення експлуатаційної надійності та ефективності роботи електричних мереж та електроустаткування. Вінниця: ГО «Європейська наукова платформа», 2021. 156 с. DOI: <https://doi.org/10.36074/penereme-monograph.2021>.
- [4] С.Є. Танкевич, І.В. Блінов та В.В. Кириленко Україна та світ: нормативне забезпечення інтелектуальних електроенергетичних систем за концепцією Smart Grid. *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2014. № 4 (89). С. 38 – 44.
- [5] О.В. Кириленко, І.В. Блінов та С.Є. Танкевич Smart Grid та організація інформаційного обміну в електроенергетичних системах. *Технічна електродинаміка*. 2012. № 3. С. 47 – 48.
- [6] І.В. Блінов, Е.В. Парус, Е.Ю. Полищук та І.В. Журвалев Мониторинг воздушных линий электропередачи с использованием индикаторов повреждений. *Электротехническая системы и сети*. 2013. No 4. С. 42–44.
- [7] J. Roberts, H.J. Altuve and D. Hou Review of ground fault protection methods for grounded, ungrounded and compensated distribution systems. SEL: Pullman, WA, USA, 2005.
- [8] V.A. Listyuhin, E.A. Pecherskaya, O.A. Timokhina and V.V. Smogunov System for monitoring the parameters of overhead power lines. *Journal of Physics: Conference Series* 2086 (2021) 012059 DOI:10.1088/1742-6596/2086/1/012059
- [9] Волоконно-оптичні датчики / Окоси Т., Окамото К., Оцу М., Нисихара Х., Кюма К., Хататэ К.; Під редакцією Т. Окоси. Пер. з яп. Ленінград «Енергоатомиздат» Ленінградське відділення, 1990. 256 с.
- [10] С.Є. Танкевич Адаптивні вимірювальні перетворювачі струму та напруги для високовольтних електроенергетичних об'єктів : дис ... канд. техн. наук: 05.14.02. Київ: Ін-т електродиніміки НАН України, 2011. 171 с.
- [11] С.О. Зайцев Розвиток теорії і практична реалізація оптоелектронних систем діагностування механічних параметрів потужних турбо- та гідрогенераторів : дис ... докт. техн. наук: 05.13.05. Київ: Ін-т електродиніміки НАН України, 2020. 424 с.

REFERENCES

- [1] Intelligent electrical networks: elements and modes. Under general Ed. Acad. National Academy of Sciences of Ukraine O.V. Kyrylenko: Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2016. 400 p.
- [2] K. Łowczowski and B. Olejnik Monitoring, detection and locating of transient earth fault using zero-sequence current and cable screen earthing current in medium voltage cable and mixed feeders. *Energies* 2022, 15, 1066. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15031066>.
- [3] Ie. Zaitsev, V. Kuchanskyi and I. Gunko Increasing operational reliability and efficiency of electrical networks and electrical equipment. Vinnytsia: NGO "European Scientific Platform", 2021. 156 p. DOI: <https://doi.org/10.36074/penereme-monograph.2021>.
- [4] S.E. Tankevich, I.V. Blinov and V.V. Kirylenko Ukraine and the world: regulatory support of intelligent electric energy systems based on the Smart Grid concept. *Standardization, certification, quality*. 2014. No. 4 (89). p. 38–44.
- [5] O.V. Kirylenko, I.V. Blinov and S.E. Tankevich Smart Grid and organization of information exchange in electric power systems. *Technical electrodynamics*. 2012. No. 3. P. 47–48.
- [6] I.V. Blynov, E.V. Parus, E.Yu. Polishchuk and I.V. Zhurvalev Monitoring of overhead power lines with the use of damaged indicators. *Electric power systems and networks*. 2013. No. 4. С. 42–44.
- [7] J. Roberts, H.J. Altuve and D. Hou Review of ground fault protection methods for grounded, ungrounded and compensated distribution systems. SEL: Pullman, WA, USA, 2005.
- [8] V.A. Listyuhin, E.A. Pecherskaya, O.A. Timokhina and V.V. Smogunov System for monitoring the parameters of overhead power lines. *Journal of Physics: Conference Series* 2086 (2021) 012059 DOI:10.1088/1742-6596/2086/1/012059
- [9] Fiber optic sensors / Okoshi T., Okamoto K., Otsu M., Nishihara X., Kyuma K., Hatate K.; Edited by T. Okoshi. Per. from Japanese Leningrad "Energoatomizdat" Leningrad branch, 1990. 256 p.
- [10] S.E. Tankevich Adaptive measuring converters of current and voltage for high-voltage electric power facilities: dis ... Cand. technical Sciences: 05.14.02. Kyiv: Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2011. 171 p.
- [11] Ie.O. Zaitsev Theory development and practical implementation of optoelectronic systems for diagnosing mechanical parameters of powerful turbo- and hydrogen generators: diss ... doc. technical Sciences: 05.13.05. Kyiv: Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2020. 424 p.

Зайцев Євген Олександрович – д-р техн. наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу теоретичної електротехніки та діагностики електротехнічного обладнання, e-mail: zaitsev@i.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3303-471X>

Блінов Ігор Вікторович – д-р техн. наук, старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи Інституту електродинаміки НАН України, e-mail: blinovigor81@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8010-5301>

Березниченко Вікторія Олександрівна – молодший науковий співробітник відділу теоретичної електротехніки та діагностики електротехнічного обладнання, email: vika.bereznichenko@i.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9961-1703>

Закусило Сергій Анатольович – аспірант відділу теоретичної електротехніки та діагностики електротехнічного обладнання, e-mail: sergy_zakusilo@i.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9193-8920>
Інституту електродинаміки НАН України

**Ie. O. Zaitsev
I.V. Blinov
V.O. Bereznichenko
A.S. Zakusylo**

Electrical Transmission Line Damage Identification System for Distribution Electrical Networks

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine

In the paper shows, that one of the important directions of the development of the electric power industry both in the world and in Ukraine is the improvement and construction of electric power networks and systems according to the Smart Grid concept. The main idea of such systems is a reliable, energy-efficient and high-quality energy supply, which based on the growing role of management as a leading factor in the innovative development of electric power and the construction of high-performance information and computing infrastructure. One of the main components of Smart Grid is the diagnosis of emergency modes and damage monitoring. This is because damage to electrical networks affects the quality and reliability of electricity supply to consumers. Therefore, the task of quickly and accurately determining the place of damage is important. The effective solution of this problem gives a significant economic effect due to the reduction of power supply interruptions, the reduction of transport costs for bypassing electrical networks, and the minimization of the total time for the organization of repair and restoration works. It shown that one of the ways to increase efficiency is the use of means of identifying emergency conditions in sections of both cable and overhead electrical networks. A diagram of the location of damage indicators on the section of the electrical distribution network presented, which allows determining the direction of the search for the location of the damage. A comparative analysis of current measuring transformers of optical and electromagnetic type carried out. It shown that a significant number of advantages of optical measuring current transformers, which can be used in damage indicators, can be provided by measuring current transformers of the electromagnetic type. It is shown that in order to ensure the creation of a damage indicator based on the Smart Grid concept, which allows to reduce the time of searching for the cause and location of an emergency situation to a minimum, as well as to ensure connection to operating overhead and cable lines without removing voltage by connecting the output of the secondary winding of the measuring current transformer of the detachable design to the measuring converters directly placed near the current measuring transformers with the help of a mechanical spring fastener. A block diagram of a specialized information and measurement system with a damage indicator was created, taking into account the requirements of the Smart Grid concept, which allows to reduce the time of searching for the cause to a minimum.

Keywords: electric power system, identification, integrity, device, line damage, emergency situations, distribution networks.

Zaitsev Ievgen O. – Dr. Sc. (Eng.), senior researcher, head of the department of theoretical electrical engineering and diagnostics of electrical equipment, e-mail: zaitsev@i.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3303-471X>

Blinov Igor V. – Dr. Sc. (Eng.), senior researcher, deputy director for scientific work of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, e-mail: blinovigor81@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8010-5301>

Bereznichenko Victorii O. – junior researcher at the Department of Theoretical Electrical Engineering and Diagnostics of Electrical Equipment, email: vika.bereznichenko@i.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9961-1703>

Zakusilo Serhiy A. – Ph.D. student of the department of theoretical electrical engineering and diagnostics of electrical equipment, e-mail: sergy_zakusilo@i.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9193-8920>