УДК 621.311

О. Є. РУБАНЕНКО, Ю. Г. ВЕДМІЦЬКИЙ, С. В. МИСЕНКО
Вінницький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ

Метою статті є дослідження показників, які можуть бути використані при визначенні параметра потоку відмов елегазового вимикача. Для цього в статті проаналізовано результати експлуатації елегазових вимикачів та виявлено причини їх пошкоджень. Запропоновані такі показники надійності, як параметр потоку відмов елегазового вимикача: з причини відмови приводного механізму; відмови дугогасильної камери, відмови релейного захисту та автоматики; пошкоджень роз'єднувачів та ошинування в комірці. Також розглянуто комбінований метод визначення технічного стану елегазового вимикача, в якому ускладнено приєднання сенсорів кутового та лінійного переміщення для контролю швидкісних характеристик і який реалізується шляхом подання в коло з контактами вимикача струму тестового сигналу частота якого змінюється від нуля герц до мегагерц. Обґрунтовано доцільність використання комбінованого методу діагностування для вимикачів у яких складно контролювати швидкісні характеристики під час експлуатації та розраховано параметр потоку відмов елегазових вимикачів.

Очікується, що запропонований комбінований метод діагностування елегазових високовольтних вимикачів дозволить зменшити кількість відмов, підвищити показник їх надійності та виявляти пошкодження на ранній стадії розвитку.

O. E. RUBANENKO, U. G. VEDMITSKYI, S. V. MYSENKO
Vinnytsia National Technical University

THE STUDY OF INDICATORS OF RELIABILITY OF GAS-INSULATED CIRCUIT BREAKERS

The aim of the article is the study of indicators that can be used to determine the parameter of the flow of failures of gas-insulated switch. To do this, the article analyzes the results of operation of gas-insulated circuit breakers and the causes of their injuries. Such reliability indices as a parameter of the flow of failures of gas-insulated switch: failure of the drive mechanism; to the camera for extinguishing the arc, failure of relay protection and automatics; damage disconnectors and busbars in the busbar compartment in the busbar compartment circuit breaker. Also considered the combined method of determining the technical condition of gas-insulated circuit breaker in which the difficult connection of the sensors of angular and linear motion to control speed characteristic which is implemented by feeding into the circle with the contacts of the switch current of the test signal, whose frequency changes from zero Hertz to megahertz. It justifies expediency of use of the combined method for diagnosing the circuit in which it is difficult to control the speed characteristics during operation and the calculated flow parameter failures gas-insulated circuit breakers.

It is expected that the proposed combined method of diagnosis of gas-insulated high-voltage circuit breakers by allows to reduce the number of failures, increase its reliability and to detect damage at an early stage of development.

Keywords: gas insulated *switch combined method parameter failure intensity, reliability.*

Вступ. Одними з найбільш важливих комутаційних апаратів, від надійності функціонування яких в значній мірі залежить надійність роботи електроенергетичної системи є високовольтні вимикачі. Під час виникнення аварійних ситуацій, при пошкодженнях високовольтного обладнання, задачі з їх локалізації в першу чергу виконують вимикачі. В наш час в Україні парк високовольтних вимикачів (ВВ) значно поповнився великою кількістю нових елегазових вимикачів різних конструкцій і виробників. Однак в експлуатації все ще знаходяться повітряні вимикачі, які експлуатуються понад 15 - 20 років; вимикачі, які використали свій паспортний ресурс. На сьогодні перед підприємствами, які експлуатують таке застаріле обладнання стоїть завдання забезпечити надійну експлуатацію. Виконання цього завдання передбачає декілька шляхів, відомий шлях планових та позапланових ремонтів застарілого обладнання. Інший шлях заміна застарілого обладнання новим. Проте задача вибору нового вимикача є досить не простою. Враховуючи те, що досвід експлуатації елегазових вимикачів, в порівнянні з досвідом експлуатації повітряних та масляних набагато менший. А його аналіз свідчить про велику кількість різних типів та виробників елегазових вимикачів, що вимагає від проектних організацій ретельного підбору технічних характеристик вимикача та його виробника під час виконання проектних рішень з реконструкції розподільчих пристроїв. Для цього необхідно керуватися відповідними показниками надійності та економічності, технічними характеристиками. До основних показників надійності відносяться: параметр потоку відмов, наробіток на відмову, час відновлення після відмови та т.ін. [1]. Також експлуатуються елегазові вимикачі, яким понад 15 років.

Дослідження показників надійності елегазових вимикачів. Від надійної роботи високовольтного вимикача, а саме від роботи приводного механізму, дугогасильної камери та вторинних кіл вимикача, залежить подальша робота електроенергетичної системи в цілому. Отже параметр потоку відмов високовольтних вимикачів має певну структуру [2].

Широке впровадження елегазових вимикачів та зростання їх кількості в експлуатуючих організаціях дозволили отримати статистику їх відмов. Так аналіз експлуатації елегазових вимикачів (ЕВ) протягом 2010-2014 років на 9-ти підстанціях Південно-Західної ЕС, 6-ти підстанціях Тернопільобленерго та ГЕС «Канівська», показав, що причинами деяких відмов ЕВ були: зменшення ізоляційної відстані за рахунок зміщення ковзних контактів − 2 випадки; обрив скло-епоксидних тяг в дугогасильній камері − 3 випадки; пошкодження двигуна заведення пружини увімкнення – 2 випадки, пошкодження електромагнітів

увімкнення та вимкнення – 6 випадків; нестабільна робота привода, а саме дисбаланс між пружинами увімкнення та вимкнення, недостатній натяг пружинки в блоці вимкнення для фіксації защіпки вимкнення, що приводило до самовимкнення при виконанні операції увімкнення − 3 випадки, розірвання дугогасильних камер під час виконання неуспішного *АПВ* − 1 випадок та інші [3].

Проведений аналіз причин відмов ЕВ на підприємствах України дав можливість запропонувати вираз для визначення параметра потоку відмов елегазового вимикача (1)

$$w_{EB} = w_{ПР} + w_{ДГК} + w_{РЗА} + w_{інш}, \quad (1)$$

де $\omega_{ПР}$ – параметр потоку відмов елегазового вимикача з причини відмови приводного механізму; $\omega_{ДГК}$ – теж саме з причини відмови дугогасильної камери, $\omega_{РЗА}$ – теж саме з причини відмови релейного захисту та автоматики, $\omega_{інш}$ – відмови викликані роз'єднувачами та ошинуванням в комірці.

Параметр потоку відмов високовольтних вимикачів використовується при розв'язанні відносно різнопланових задач, таких як: аналіз і вибір структурних схем і схем електричних з'єднань електроустановок, вдосконалення конструктивних особливостей вимикачів, при плануванні стратегії ремонтно-відновлювальних дій та інші.

Деякі з вищеперерахованих пошкоджень ЕВ можна було б попередити, завчасно виявивши дефекти на ранній стадії розвитку. Однак, не завжди на підприємствах експлуатуючих ЕВ є ефективні засоби діагностування вимикачів здатні виявити пошкодження на ранній стадії їх розвитку, які покликані вчасно попередити експлуатуючий персонал про майбутню небезпеку.

Ефективним засобом попередження експлуатуючого персоналу про загрозу пошкодження ЕВ є сучасні високоефективні моніторингові системи, які дозволяють безперервно (в процесі експлуатації) контролювати багато діагностичних параметрів. Однак, у більшості випадків, вони використовуються на нових ЕВ, а вимикачі, що експлуатуються понад 15 років не завжди мають саме такі системи, тому, що, наприклад, їх конструкція не дозволяє приєднувати сенсори лінійного та кутового переміщення для контролю швидкісних характеристик. У таких випадках використовуються методи і засоби періодичного контролю значень діагностичних параметрів. Але, відповідно до вимог виробників та постачальників ЕВ, такий контроль після введення вимикача в експлуатацію або взагалі рекомендується не проводити, або він проводиться не раніше ніж через 12 – 15 років, що значно обмежує інформаційне забезпечення оперативно-диспетчерського та експлуатуючого персоналу про поточний стан ЕВ під час керування нормальними, аварійними та після-аварійними режимами ЕЕС. Хоча кількість відмов елегазових вимикачів набагато менша ніж масляних та повітряних, проте вони все ж таки існують.

Тому, з метою контролю діагностичних параметрів елегазових вимикачів запропоновано комбінований метод діагностування, який реалізується шляхом подання в коло з контактами вимикача струму тестового сигналу частота якого змінюється від нуля герц до мегагерц. Комбінований метод передбачає чотири етапи діагностування. На першому етапі проводиться візуальний огляд. На другому − джерело тестового сигналу подає в коло тестовий сигнал частотою «нуль», для визначення струму витоку через ізоляцію та опору постійному струму головного струмопровідного контуру. На третьому етапі − джерело тестового сигналу подає високочастотний сигнал. Далі здійснюють попереднє сканування напруг завад на виході сенсора за місцем випробувань та виявляють частоти гармонічних складових цих напруг. Виключають їх із спектра частот тестових сигналів, що використовуються під час випробувань. На четвертому етапі джерело тестового сигналу автоматично змінює частоту цього сигналу та подає його на контакти контрольованого вимикача. Автоматично змінювана частота тестового сигналу, під час переміщення контактів вимикача, повинна забезпечити виконання умови резонансу між індуктивністю допоміжного трансформатора джерела тестового сигналу та ємністю між контактами вимикача. Далі визначається швидкісна характеристика в умовах резонансу напруг та зіставлення її з еталонною на обґрунтованих інтервалах часу, що дозволяє одночасно виявити пошкодження в дугогасильній камері та приводному механізмі на ранній стадії їх розвитку, без обмежень викликаних конструктивними особливостями вимикача [4].

Запропонований комбінований метод діагностування, розроблені апаратне та програмне забезпечення цього методу покликані зменшити ризик експлуатуючих організацій в частині невчасного виявлення аварійно-небезпечних відхилень діагностичних параметрів ЕВ від їх нормованих значень та відсутності інформації про пошкодження ЕВ на ранній стадії їх розвитку. В першу чергу це стосується таких дефектів, як: зменшення відстані ізоляційного проміжку між головними контактами в дугогасній камері ЕВ, за рахунок зміщення ковзних контактів від першочергового фіксованого положення; розрив скло-епоксидної тяги; пошкодження вузлів та деталей приводу вимикача тощо і найбільш виправдано для ЕВ застарілих конструкцій, які не дозволяють контролювати швидкісні характеристики під час експлуатації.

Очікується, що впровадження та ефективне використання запропоновано методу, за умови його реалізації з використанням мікропроцесорних систем, дозволить зменшити кількість відмов ЕВ під час експлуатації.

Для обґрунтування впливу такого впровадження на надійність ЕВ, визначимо параметр потоку відмов ЕВ як середню кількість відмов на вищеперерахованих підприємствах в період від 2010 до 2014 року включно (2) [5]

$$w_1 = \frac{n_1}{m \cdot (t_{2014} - t_{2010})} = \frac{17}{4 \cdot m} = \frac{4{,}25}{m} \text{рік}^{-1}, \quad (2)$$

де ω – середній параметр потоку відмов, n_1 − кількість вимикачів, що відмовили за період часу від 2010 до 2014 року включно, m – загальна кількість контрольованих вимикачів.

За умови, що використання розробленого комбінованого методу діагностування ЕВ дозволить уникнути наступних пошкоджень ЕВ (і передбачити безаварійну заміну обладнання):

- викликаних переміщенням ковзних контактів;
- викликаних розривом скло-епоксидної тяги;
- викликаних дисбалансом пружин увімкнення та вимкнення.

Тоді параметр потоку відмов ЕВ (3)

$$w_2 = \frac{n_2}{m \cdot (t_{2014} - t_{2010})} = \frac{14}{4 \cdot m} = \frac{3{,}5}{m} \text{рік}^{-1}, \quad (3)$$

де n_2 – кількість пошкоджених вимикачів, дефекти яких неможливо виявити комбінованим методом.

Це дозолить зменшити параметр потоку відмов ЕВ на 17,6 % відповідно до (4):

$$d = \frac{w_1 - w_2}{w_1} = \frac{\frac{4{,}25}{m} - \frac{3.5}{m}}{\frac{4{,}25}{m}} \cdot 100\% = 17{,}6\%. \quad (4)$$

Запропонований метод, шляхом порівняння отриманих характеристик з попередніми, дає можливість накопичувати базу даних та прослідкувати динаміку зміни параметрів вимикача. В разі виявлення стійкого погіршення значень діагностичних параметрів на ранній стадії розвитку дефекту, використання мікропроцесорних систем, які реалізують запропонований метод діагностування, дає можливість завчасного планування та ефективного проведення відновлювальних робіт або заміни. Також запобігти аварійним пошкодженням ЕВ що підвищує надійність не лише ЕВ, а й ЕЕС в цілому.

Висновки

На основі проведеного аналізу причин відмов елегазових вимикачів показано структуру параметра їх потоку відмов.

Очікується, що запропонований комбінований метод діагностування елегазових високовольтних вимикачів застарілих конструкцій, в яких не передбачено контроль швидкісних характеристик під час експлуатації, шляхом виявлення пошкоджень на ранній стадії розвитку дозволить зменшити кількість відмов та підвищити показник надійності таких ЕВ на 17,6 %.

Література

1. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.– М.: Изд-во стандартов, 1989. – 34 с.

2. Абдурахманов, А.М. Об особенностях структуры параметра потока отказов выключателей / А. М. Абдурахманов, М. Ш. Мисриханов, Б. Н. Неклепаев, А. В. Шунтов // Электрические сети и системы. – 2005. –. Выпуск №5. – С. 54 – 57.

3. Михайлюк Р. І. «Досвід та перспективи експлуатації елегазових вимикачів у Південно-Західній енергетичній системі / Р. І. Михайлюк, С. В. Мисенко, В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко // Енергетика та електрифікація. − 2014. − №3. – С. 34 − 37. – ISSN 0424-9879.

4. Кутін, В.М. Визначення технічного стану елегазових високовольтних вимикачів в умовах експлуатації / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. – № 60 (1102). – С. 57 – 68.

5. Надежность электроснабжения: учеб. пособие /ред.. Ю.А. Секретарев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – 104 с. – ISBN 978-5-7782-1517-7.

References

1. HOST 27.002-89. Nadezhnost v tekhnyke. Osnovnue ponyatya. Termynu y opredelenyya. M.: Yzd-vo standartov, 1989, 34 s.

2. Abdurakhmanov, A.M. Ob osobennostyakh strukturu parametra potoka otkazov vuklyuchateley [Tekst] / A. M. Abdurakhmanov, M. Sh. Mysrykhanov, B. N. Neklepaev, A. V. Shuntov // Elektrycheskye sety y systemy – 2005. Vipusk #5. – S. 54 – 57.

3. Mykhaylyuk, R. I. Dosvid ta perspektyvy ekspluatatsiyi elehazovykh vymykachiv u Pivdenno-Zakhidniy enerhetychniy systemi [Tekst] / R. I. Mykhaylyuk, S. V. Mysenko, V. M. Kutin, O. Ye. Rubanenko // Enerhetyka ta elektryfikatsiya. − 2014. − #3. – S. 34 − 37. – ISSN 0424-9879.

4. Kutin, V.M. Vyznachennya tekhnichnoho stanu elehazovykh vysokovol'tnykh vymykachiv v umovakh ekspluatatsiyi [Tekst] / V. M. Kutin, O. Ye. Rubanenko, S. V. Mysenko // Visnyk NTU «KhPI». – 2014. – # 60 (1102). – S. 57 – 68.

5. Nadezhnost elektrosnabzhenyya: ucheb. Posobye / Yu.A. Sekretarev. – Novosybyrsk: Yzd-vo NHTU, 2010. – 104 s. – ISBN 978-5-7782-1517-7.

Рецензія/Peer review : 27.5.2015 р. Надрукована/Printed :15.5.2015 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією