



УДК 622.323

RELIABILITY ANALYSIS OF RELAY PROTECTION DEVICES OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF POWER PLANTS AND SUBSTATIONS

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ПРИСТРОЇВ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ І ПІДСТАНЦІЙ

Fedoriv M./ Федорів М.Й.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.***Kurliak P./ Курляк П.О.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.***Hlad I./ Гладь І.В.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.***Batsala.Y./Бацала Я.В.***c.t.s., prof. / т.н., проф***Viznovich V./Візнович В.В.**

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15 Karpatska Str, Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019

Анотація. В статті проведений аналіз надійності роботи пристроїв релейного захисту електричних станцій і підстанцій в електроенергетичних системах. Показано, що необхідність обліку РЗ при оцінці надійності систем електроенергетики схем обумовлена тим фактом, що значна частина часу простою електроустаткування викликана відмовами пристроїв РЗ

Ключові слова: Релейний захист, відмова, показники надійності електричної системи, енергоефективність.

Вступ.

За останні роки з'явилася значна кількість електроприймачів, які досить відчутно впливають на режим роботи інших споживачів, і в більшості випадків погіршують. Вирішення задач надійності потребує аналізу суттєвих обсягів даних. Основним джерелом інформації про надійність в енергосистемі є статистика відмов електроустаткування. Статистична інформація може застосовуватися за умови достатності обсягу та відповідності якості вибірки бажаним результатам.

Основний текст.

Аналіз статистики відмов пристроїв РЗ

В якості показника роботи пристроїв релейного захисту на станціях та підстанціях (СПС) використовується вираз коефіцієнт корисної дії (1), однак він має суттєвий недолік, а саме недостатня точність, оскільки корисний ефект



захисту окрім кількості правильного спрацьовування, повинен враховувати величини $n_{з.с.}$ та $n_{х.с.}$, що можуть здійснювати негативний вплив.

$$\eta = \frac{n_{п.с.} \cdot 100}{n_{п.с.} + n_{н.с.}} = \frac{n_{п.с.} \cdot 100}{n_{п.с.} + n_{в.с.} + n_{з.с.} + n_{х.с.}} \quad (1)$$

де $n_{п.с.}$ – число правильних спрацьовувань, $n_{н.с.}$ – число неправильних спрацьовувань, до яких відносяться: відмови спрацьовувань $n_{в.с.}$, зайві спрацьовування $n_{з.с.}$ та хибні спрацьовування $n_{х.с.}$,

Обліку та оцінці, згідно із згаданим вище документом, підлягають пристрої РЗ, що встановлені на обладнання і лініях напругою 6 кВ та вище, у тому числі виконані з реле прямої дії.

Емпіричне визначення показників надійності неможливе, проте, застосовуючи властивість індукції, виходячи з надійності окремих частин системи можна обчислити її результуючу надійність. В рамках досліджень проведено збір статистичної інформації щодо відмов пристроїв РЗ для подальшого аналізу. Як джерела інформації використовувався звіт підрозділів компанії та статистика, представлена в літературі різних років.[1]

Визначались: $N_{вст}$ – загальна кількість встановлених пристроїв РЗ, $N_{спрац}$ – число пристроїв, що спрацювали за рік, що розглядається, $N_{неправ}$ – кількість неправильних дій РЗ за рік, $n_{врз} \cdot 10^{-2}$ – відношення числа відмов до встановлених пристроїв, $n_{сррз} \cdot 10^{-2}$ – відношення числа неправильних спрацьовувань до спільного числа спрацьовувань на рік.

$$n_{врз} = \frac{N_{неправ}}{N_{вст}} \quad (2)$$

$$n_{сррз} = \frac{N_{неправ}}{N_{спрац}} \quad (3)$$

Абсолютне значення кількості відмов не застосовується для аналізу надійності, по цій причині введені показники $\omega_{врз}$ і $\omega_{сррз}$. Величина $\omega_{врз}$ визначається згідно з виразом (4), як середнє за аналізований період значення $n_{врз}$, її фізичним змістом є середній параметр потоку відмов $\omega_{врз}$. Величина $\omega_{сррз}$ визначається згідно з виразом (5), як середнє за аналізований період значення $n_{сррз}$, фізичним змістом величини $\omega_{сррз}$ є відтворення ймовірності знаходження пристрою у непрацездатному стані на інтенсивність потоку ініціюючих подій –



поток КЗ.

$$\omega_{\text{вРЗ}} = n_{\text{вРЗ}} = 0,11 \quad (4)$$

$$\omega_{\text{срРЗ}} = n_{\text{срРЗ}} = 1,32 \quad (5)$$

Отримані величини характеризують надійність, проте їх застосування має обґрунтовуватись бажаними результатами. Для характеристики готовності, доцільно використання показника $\omega_{\text{вРЗ}}$, що застосовується для виявлення непрацездатного пристрою, незалежно від зовнішніх факторів. Для характеристики безвідмовності доцільно використовувати показник $\omega_{\text{срРЗ}}$, що оцінює надійність роботи захисту за наявності вимоги до спрацьовування.

Достовірність одержаних значень показників $\omega_{\text{вРЗ}}$ і $\omega_{\text{срРЗ}}$ підтверджується тривалістю тимчасової вибірки, проте отримані значення не можуть вважатися універсальними через локалізацію вибірки в одному регіоні.

Динаміка кількості відмов РЗ за аналізований період представлена графічно на рисунку 4.1. ». У ньому наведено дані про відмови пристроїв РЗ, встановлених на об'єктах 6-110 кВ 2004 по 2022 рр.

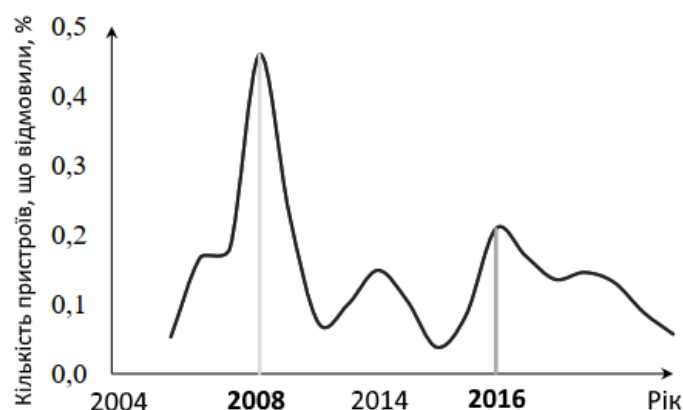


Рисунок 1 – Щорічний відсоток пристроїв, що відмовили

Побудована залежність підпорядковується горизонтальному тренду, в якому явно виражені два піки відмов. Перший пік кількості відмов РЗ припадає на 2008 рік – період економічного спаду і, відповідно, зниження фінансування програм обслуговування, ремонтів та відновлення. Недостатній досвід персоналу у питаннях експлуатації нового типу обладнання – МП РЗ значною



мірою зумовив пік аварійності, що припадає на 2016 рік. Динаміка встановлення МП пристроїв, відображена на рисунку 2 показує, що активне використання МП пристроїв в межах обслуговування «Прикарпаттяобленерго» почалося в проміжку між 2014 і 2018 роками, що підтверджує припущення про природу піку відмов.

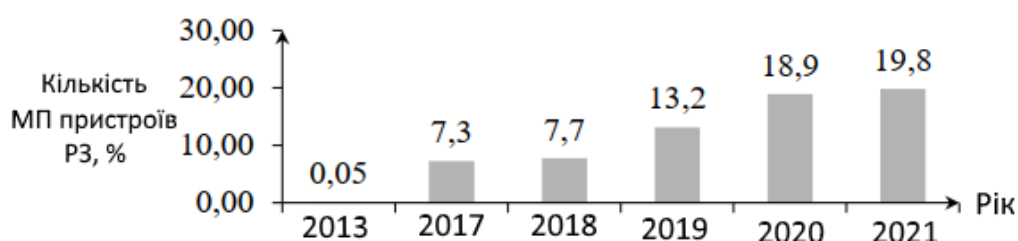


Рисунок 2 – Динаміка частки МП пристроїв

Статистичні показники надійності РЗ

Далі проведено порівняльний аналіз пропонованих у літературі показників надійності РЗ та силових вимикачів, як найбільш близько пов'язаного з РЗ пристроєм первинної мережі.

Значення інтенсивностей відмов обладнання кінця ХХ характеризують надійність електромеханічних пристроїв РЗ та олійного силового обладнання. Сучасному етапу розвитку техніки властиво домінуюче становище елегазового первинного обладнання та мікропроцесорні пристроїв РЗ. Показники надійності елегазових вимикачів наведено у даних експлуатації, а усереднені дані з МП РЗ у статтях про надійність РЗ і фундаментальних статтях зарубіжних дослідників [2]. Варто відзначити, що остання стаття вийшла досить давно, проте процес встановлення МП захистів на заході почався раніше, ніж в Україні, що дозволяє також враховувати ці дані. Для зіставлення показників із необхідним рівнем надійності наведено значення мінімально допустимим напрацюванням МП терміналів на відмову. Його величина складає 90-130 тис. год, що відповідає: $\omega_0 = [7; 8,7] \cdot 10^{-2} 1/\text{год}$ [56], $q_0 = [7; 8,7] \cdot 10^{-2}$ відмов/рік.

$$k = \frac{\omega_{0\text{МП}}}{\omega_{0\text{МП}} + \omega_{0\text{ЕВ}}} \cdot \frac{\omega_{0\text{ЕМ}} + \omega_{0\text{МП}}}{\omega_{0\text{ЕМ}}} = 1,14 \quad (6)$$



Отримане значення k показує, що внесок РЗ в загальну ненадійність комірки обладнання, порівняно з обладнанням попереднього покоління, збільшився на 14%. Крім того, підвищення надійності РЗ, про що свідчить значення k_c менше одиниці, що компенсується значним збільшенням кількості пристроїв. З вищесказаного можна дійти висновку про необхідність обліку та оцінки надійності як первинного, і вторинного устаткування.

Розроблена модель дозволяє враховувати вплив РЗ на комутаційні апарати, що захищаються. Її функціонування підпорядковується наступній логіці: отримане за законом нормального розподілу випадкове число, порівнюється із заданим для кожного пристрою значенням, що характеризує порогову ймовірність відмови елемента. Якщо отримане число більше C – відмова і сигнал на виході елемента приймає значення 0, якщо менше – блок справний функціонує в нормальному режимі.

З точки зору процесів, що протікають в енергосистемі, розроблена модель показує наявність або відсутність (у зв'язку з відмовою) перетікання потужності по лінії. У моделі для спрощення використовується не аналогова величина потужності лінії, а дискретна. У нормальному режимі, у разі включеного положення вимикача дискретна величина приймає значення, що дорівнює 1. Відмова будь-якого елемента веде до відмикання вимикача, а значить стає рівним 0.

Результати моделювання підтверджують суттєвість вкладу РЗ у ненадійність системи, властиву статистичними даними. Однак якісна відповідність результату реальним даним не говорить про його чисельну адекватність. Застосування розробленої моделі для чисельних розрахунків недоцільне через її оцінний характер. Відмови РЗ розглядаються моделлю, як події, що не корелюються з ушкодженнями первинного обладнання, при цьому не враховуються різниці між видами пристроїв і такі властивості як селективність, обмеженість зони дії та резервування. Як параметр надійності РЗ використовується чисельне значення, отримане з довідкової літератури, що не враховує стан та вік конкретного обладнання.[3]



Верифікація вимірювань РЗ

Правильність вимірювання аналогових величин значно впливає на коректність функціонування пристроїв ПС, в том числі РЗ. Існують методи контролю цілісності окремих ділянок вторинних ланцюгів, з допомогою терміналу РЗ. Альтернативним способом контролю є верифікація аналогових вимірювань у вигляді порівняння результатів вимірювання однієї величини суміжними пристроями. У цьому підрозділі розглянуто можливість реалізації системи верифікації вимірів. Зважаючи на те, що про промислову експлуатацію таких систем на сьогоднішній день відомо вкрай мало, ключовим питанням є оцінка перспектив їх використання та визначення мети застосування.

Некоректне значення, отримане пристроєм РЗ, може призвести до його помилкового спрацьовування або неспрацьовування, що веде до недовідпуску електроенергії і впливає на фінансові показники електромережових компаній. Тим самим підтверджується значущість верифікації аналогових вимірювань, як засобу потенційно здатного запобігти недовідпуску електроенергії. Наслідком некоректної роботи вимірювальних органів в лічильниках електроенергії є недооблік відпущеної електроенергії. Виявлення несправностей вимірювальних органів до їхнього прояву природним шляхом є метою створення системи верифікації. Окремого розгляду вимагають види несправностей, виявлення яких принципово можливо за допомогою систем аналізованого типу, і навіть напрями й обсяги реалізованих впливів.

Причини відхилення значень виміряних величин

На сучасних енергооб'єктах велика кількість МП пристроїв, що виконують для тієї чи іншої мети вимірювання електричних параметрів. На одному приєднанні можуть бути встановлені, наприклад: захист лінії, що складається з декількох пристроїв, захист шин, пристрої вимірювання та АСУ ТП, лічильники електричної енергії, протиаварійна автоматика, реєстратор аварійних подій та інші пристрої.

Зважаючи на те, що всі перелічені пристрої вимірюють одну й ту саму величину, незалежно від підключення до одного або різних трансформаторів



струму на послідовній ділянці електричного кола, їх показання повинні бути однаковими. Існуючі похибки не дозволяють говорити про сувору рівність вимірів, через існування ряду похибок. До їх числа можуть бути віднесені: похибка вимірювальних органів безпосередньо пристроїв, падіння напруги в контрольних кабелях і найважливіше – різні характеристики трансформаторів струму. Пристрої вимірювання підключаються на обмотки ТС класу точності 0.5, що забезпечують максимальну точність у нормальному режимі, в той час як пристрої РЗ – на обмотки 10Р, що точно вимірюють струми КЗ.

Незалежність джерел вимірювань робить можливим реалізацію їхньої верифікації шляхом безпосереднього порівняння. Збір аналізованої інформації має здійснюватися за допомогою спеціального пристрою, що зветься модулем верифікації.

Сучасні МП пристрої здатні передавати оцифровані значення струму чи напруги, каналами зв'язку, що не вимагає ускладнення струмових ланцюгів. Важливо відзначити, що величина струму, відправлена засобами зв'язку, є кінцевим значенням, задіяним у алгоритмах РЗ.

Застосування систем самодіагностики для запобігання повільно діючим ступеням важливе через те, що в нормальних режимах (відсутність КЗ, перевантаження або несиметрії), обриви ланцюгів та контрольних кабелів ведуть саме до роботи повільно діючих щаблів.

Застосування таких систем здатне знизити негативний вплив відмов РЗ будь-якого виду, неправильних дій персоналу та недовідпуску електроенергії на енергосистему. Через нереалізованість таких систем в даний момент, в подальшій роботі їх вплив на надійність РЗ не враховується.

Висновки

1. В роботі наведено аналіз можливостей реалізації систем верифікації вимірювань пристроїв на СПС. У результаті зроблено такий висновок: поточний рівень технології достатній для реалізації верифікації вимірювальних органів пристроїв вимірювання, обліку, а також повільно діючих ступенів РЗ. Зроблено висновки про допустимі межі, в яких має бути швидкодія таких систем для



реального економічного ефекту. Застосування таких систем здатне знизити негативний вплив відмов РЗ будь-якого виду, неправильних дій персоналу та недовідпуск електроенергії в енергосистему. Через нереалізованість таких систем в даний момент, в подальшій роботі їх вплив на надійність РЗ не враховується.

2. Внаслідок статистичного аналізу показано, що необхідність обліку РЗ при оцінці надійності електричних схем обумовлена тим фактом, що значна частина часу простою електроустаткування викликана відмовами пристроїв РЗ. Тенденція до постійного ускладнення вторинних ланцюгів, як наслідок – збільшення впливу РЗ на надійність системи, підтверджує цю необхідність.

3. Аналіз активних методів контролю надійності пристроїв РЗ дозволив дійти висновку про ефективність системи верифікації вимірювань для виявлення несправностей до моменту виникнення через них технологічних порушень та про можливості її реалізації. Оцінка тимчасових витрат на роботу зазначених алгоритмів, дозволила зробити висновки про можливість їх застосування для запобігання відмовам ступенів РЗ, що діють із витримкою часу.

Література

1. Журахівський А.В. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А.В. Журахівський, С.В. Казанський, Ю.П. Матеєнко, О.Р. Пастух. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 456 с.

2. Літвінов В.В. Порівняльний аналіз надійності схем релейного захисту з електромеханічними та мікропроцесорними реле / В.В. Літвінов, Я.С. Саченко // Гідроенергетика України. - 2015. - №1-2. - С. 10–17.

3. Федорів М.Й., Михайлів М.І. Надійність електропостачання. Навчальний посібник. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2020.-183с.(Електронний варіант).

Abstract. The article analyzes the reliability of relay protection devices of power plants and substations in power systems. It is shown that the need to take into account relay protection when assessing the reliability of power systems is due to the fact that a significant part of the downtime of electrical equipment is caused by failures of relay protection devices.

Keywords: Relay protection, failure, electrical system reliability indicators, energy efficiency