

А. В. Журахівський¹
А. Я. Яцейко¹
Р. Я. Масляк¹

СТРУМОВИЙ ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРІВ НАПРУГИ ВІД ДІЇ ФЕРОРЕЗОНАНСНИХ ПРОЦЕСІВ

¹Національний університет «Львівська політехніка»

Розглянуто електричні мережі з ізольованою нейтраллю та досліджено проблему виникнення в них ферорезонансних процесів. Проаналізовано величини струмів, які протікають в нейтраллях трансформаторів напруги під час виникнення ферорезонансного процесу та запропоновано модернізацію пристроїв захисту від нього з використанням струмових захистів.

Ключові слова: ферорезонансні процеси, трансформатори напруги, ізольована нейтраль.

Вступ

В Україні та країнах СНД абсолютна більшість електромереж загального призначення напругою 3—35 кВ, мереж генераторної напруги й власних потреб електростанцій виконана з ізольованою нейтраллю. Такі мережі ще називають мережами з малими струмами замикання на землю [1]. Переваги та недоліки таких мереж висвітлені у низці відомих джерел [2—9] та ін. й стисло описані нижче.

До основних переваг мереж з малими струмами замикання на землю можна віднести: можливість довготривалої роботи мережі за однофазного замикання на землю без обмеження споживачів за потужністю; простота реалізації, можливість визначення, пошуку та усунення місця пошкодження без перерви електропостачання споживачів; значна ймовірність самозагасання дуги під час однофазних замикань на землю та самовідновлення нормального режиму роботи; незначні затрати на заземлювальні пристрої тощо.

Основні недоліки таких мереж: можливість виникнення перехідних дугових замикань, що супроводжуються значними перенапругами; погіршення умов безпечної експлуатації мереж для обслуговуючого персоналу, а також підвищена екологічна небезпека в місці замикання (ураження струмом людей, свійських та диких тварин тощо); складність забезпечення селективного захисту від однофазних замикань на землю; можливість виникнення ферорезонансних процесів (ФРП), що супроводжуються, як правило, пошкодженням, в першу чергу, трансформаторів напруги, обмежувачів перенапруг (ОПН), розрядників тощо [10].

Проблеми виникнення ФРП та боротьби з ними розглянуто у багатьох роботах. Найефективнішими методами боротьби з ФРП є пристрої, які працюють на принципі введення гасильного резистора в обмотку розімкненого трикутника. Однак усі відомі на сьогодні пристрої передбачають моніторинг напруги обмотки $3U_0$ і, в залежності від її рівня та частоти, підключення гасильного резистора. Оскільки наука і техніка просунулись вперед і з'явилися пристрої, які з достатньою точністю можуть забезпечити вимірювання електричних величин та передавання їх показів на значну відстань за допомогою безпроводних каналів зв'язку, то авторами проведено дослідження та запропоновано можливість вдосконалення існуючих пристроїв захисту з використанням таких пристроїв.

Результати досліджень

Як показано у попередніх дослідженнях [8—10], пошкодження електромагнітних ТН в мережах 6—35 кВ з малими струмами замикання на землю від дії ФРП, виникають за рахунок термічної дії надструмів в обмотках ВН ТН. При цьому такі надструми мають переважачу складову нульової послідовності, що протікає в заземленій нейтралі обмоток ВН ТН і становить струм I_n в нейтралі. Для прикладу, на рис. 1 показані типові розрахункові осцилограми струмів I_n в заземлених нейтраллях обмоток ВН ТН за небезпечних ФРП в мережах 6—35 кВ з малими струмами замикання на землю.

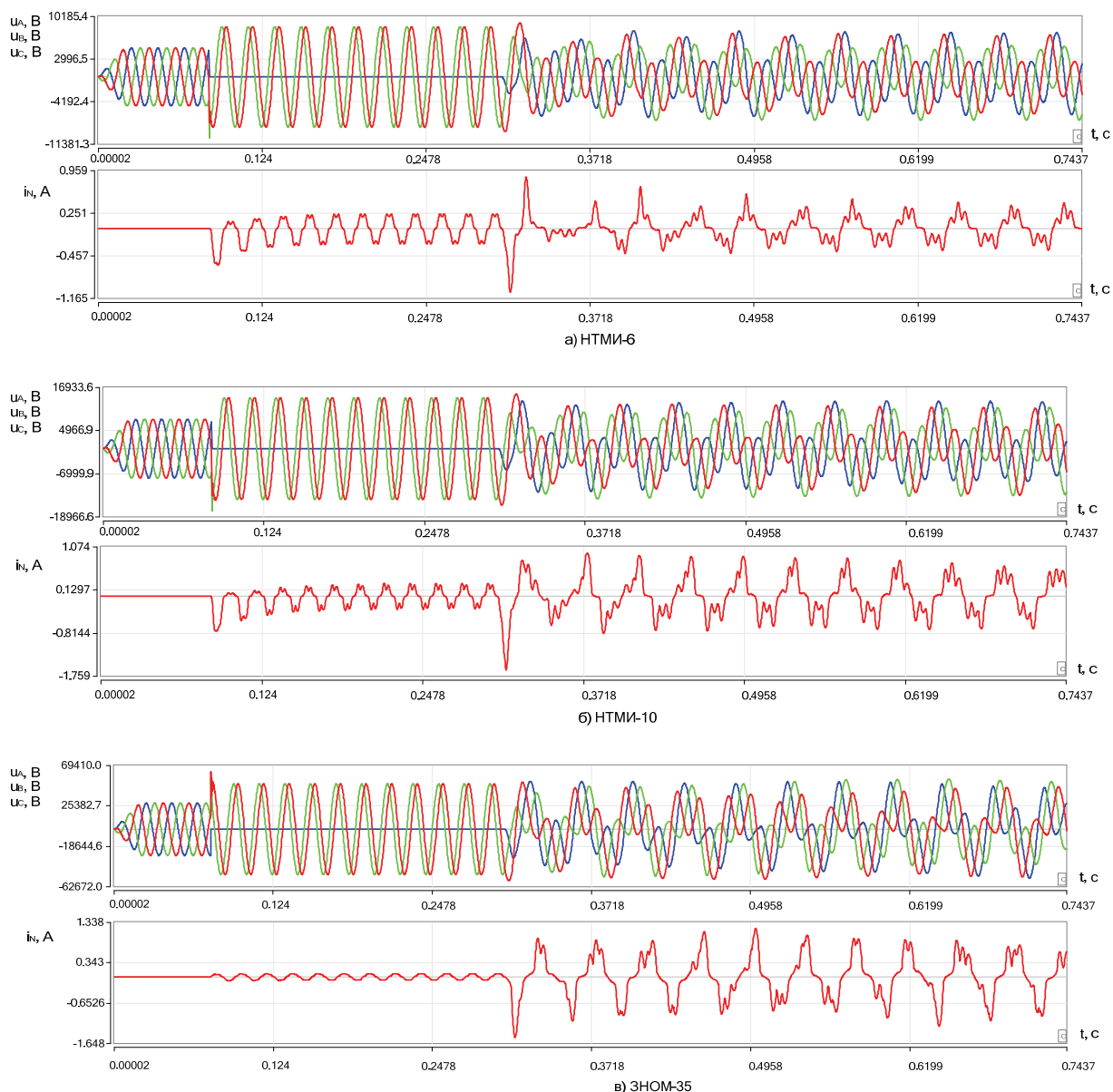


Рис. 1. Осцилограми напруг на шинах та струмів у нейтралі ТН за виникнення стійкого ФРП після обриву «землі»

На осцилограмах до $t = 0,1$ с нормальний режим роботи мережі. В час $t = 0,1$ с моделювалось металеве коротке замикання фази А на землю, яке тривало до моменту часу $t = 0,3$ с. Після цього замикання пропало і у мережі збурювався ФРП.

Тому доцільно для захисту ТН від дії ФРП та його зриву як реагуючий пристрій застосувати орган максимального струму, що підключений до вторинної обмотки трансформатора струму (ТС), первинну обмотку якого становить заземлювальний провід нейтралі обмотки ВН ТН. Структурна схема такого захисту показана на рис. 2. Застосування реагуючого пристрою максимального струму суттєво спрощує алгоритм цифрового захисту (відпадає необхідність у використанні цифрового режекторного фільтра тощо), в результаті чого суттєво зростає швидкодія, надійність та універсальність (робота захисту за небезпечних ФРП з промисловою частотою — 50 Гц тощо) захисту.

За алгоритмом спрацювання пристрій захисту б аналогічний пристрою ПЗФ-5 — за виникнення небезпечного ФРП, коли струм $I_n(2)$ є більший струму уставки (у пристрої ПЗФ-5 — коли напруга, сформована на виході режекторного фільтра, більша напруги уставки). Пристрій б сигналом m1 короткочасно вмикає комутувальний пристрій 7 гасильного резистора. В результаті такої комутації гасильний резистор 8 на заданий час підключається до затисків обмотки «розімкнений трикутник» ТН 3, що забезпечує зрив ФРП, чим не допускається ушкодження обмотки ВН ТН від дії надструмів ферорезонансного процесу.

Особливістю схеми захисту (див. рис. 2) є необхідність застосування дуже мало-потужного джерела сигналу — трансформатора струму 5. Струм I_n у первинній обмотці становитиме одиниці А, а струм $I_n(2)$ у вторинній — зазвичай на два порядки менший (щоби забезпечити відповідний рівень напруги на вході пристрою захисту 6). За таких умов необхідна спеціальна заводостійка конструкція трансформатора струму 5, зокрема його феритового осердя. До останнього часу подібні ТС серійно не виготовляли.

Лише відносно недавно закордонні фірми почали масово випускати подібні давачі струму, які разом з WiFi системою контролю забезпечують моніторинг (захист, сигналізація, запам'ятовування тощо) струмів відносно малопотужних об'єктів (наприклад двигунів, трансформаторів, що живляться від мережі промислової частоти 50 Гц тощо). За відповідної перепрошивки (для створення необхідного алгоритму) мікроконтролера WiFi системи контролю та намотування декількох витків заземлювального проводу нейтралі обмотки ВН ТН (для збільшення чутливості давача струму) на феритове осердя ТС, що входить у комплект системи (розміри вікна осердя це дозволяють) можна створити ефективну WiFi систему захисту ТН від дії ФРП і моніторингу його роботи за вищенаведеним принципом (рис. 2). Для цього, з наведеними вище доробками, можна, наприклад, використати систему WiFi моніторингу струмів малопотужних електродвигунів, описаних в [11, 12].

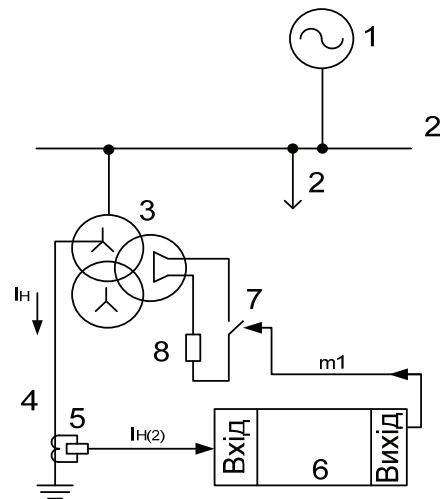


Рис. 2. Максимальний струмовий захист трифазного ТН від дії ФРП:

1 — джерело живлення мережі; 2 — шини підстанції; 3 — трифазний ТН; 4 — заземлювальний провід нейтралі обмотки ВН трифазного ТН; 5 — трансформатор струму; 6 — пристрій захисту від ФРП; 7 — комутувальний пристрій гасильного резистора; 8 — гасильний резистор; m_1 — сигнал управління комутувальним пристроєм; I_n — струм в нейтралі обмотки ВН трифазного ТН; $I_n(2)$ — струм вторинної обмотки трансформатора струму

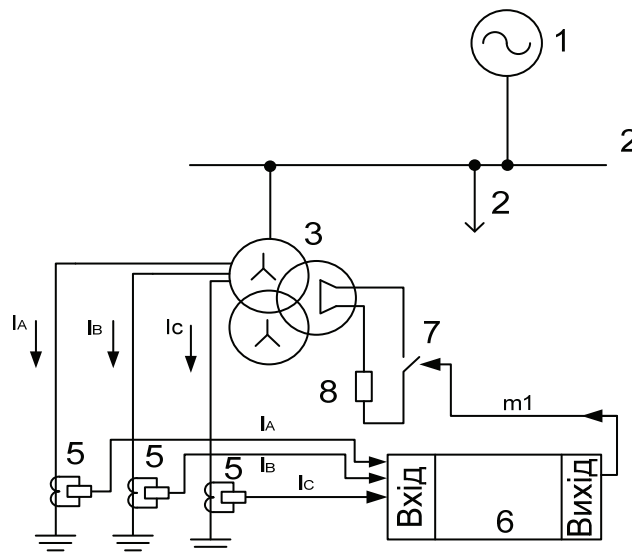


Рис. 3. Максимальний струмовий захист групи однофазних ТН від дії ФРП:

1 — джерело живлення; 2 — шини підстанції; 3 — група однофазних ТН; 4 — заземлювальні проводи обмоток ВН групи однофазних ТН; 5 — трансформатори струмів; 6 — пристрій захисту від ФРП; 7 — комутувальний пристрій гасильного резистора; 8 — гасильний резистор; m_1 — сигнал управління комутувальним пристроєм; I_A , I_B , I_C — струми в заземлювальних провадах обмоток ВН групи однофазних ТН; I_A , I_B , I_C — струми у вторинних обмотках трансформаторів струмів

Як видно з технічних характеристик цієї системи, для моніторингу струмів одного трифазного приєднання застосовують три трансформатори струму — для контролю струму кожної з трьох фаз.

Тому, застосовуючи цю систему для максимального струмового захисту групи з трьох однофазних ТН типів НОМ і ЗНОМ для мереж 6 кВ, 10 кВ і 35 кВ з малими струмами замикання на землю, доцільно контролювати струм кожного з ТН. Структурна схема такого захисту показана на рис. 3.

Максимальний струмовий захист групи однофазних ТН від дії ФРП (рис. 3) спрацьовує за умови, коли хоча б один зі струмів I_a , I_b , I_c більший за заданий струм уставки. Подальша робота цього захисту аналогічна роботі захисту трифазного ТН (див. рис. 2).

Висновки

Підсумовуючи результати досліджень можна стверджувати, що під час виникнення ферорезонансних процесів у заземлених нейтралях трансформаторів напруги протікають струми значно більші ніж у нормальному режимі роботи, але вони можуть бути визначені сучасними пристроями вимірювання. Тому доцільно як реагуючі органи у пристроях захисту від ферорезонансних процесів використовувати давачі струмів. Оскільки на сьогодні є можливість передавати інформацію про вимірний сигнал за допомогою безпроводних мереж, то пропонується використовувати такий спосіб передачі і в запропонованих авторами пристроях.

Єдиним недоліком цієї системи на сьогоднішній день є малий ступінь дослідження впливу електромагнітних полів на об'єктах енергетики на роботу безпроводного зв'язку, тому ця проблема має бути ґрунтовніше досліджена та зроблені відповідні висновки, оскільки такий принцип передачі сигналу може бути застосований для інших систем захисту та моніторингу в електричних мережах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила улаштування електроустановок / Мінпаливенерго України. — К., 2010. — 736 с.
2. Богдан А. В. Переходные процессы в электрической сети 10 кВ с трансформаторами напряжения НАМИ-10 / А. В. Богдан, В. В. Калмыков, А. А. Сафарбаков // Электрические станции. — 1993. — № 10. — С. 46—48.
3. Вплив комутаційних режимів на виникнення ферорезонансних процесів у мережах 10 кВ з ізольованою нейтраллю та електромагнітними трансформаторами напруги / А. В. Журахівський, Ю. А. Кенс, О. М. Равлик, Р. В. Мединський // Энергетика и электрификация. — 2001. — № 2. — С. 30—35.
4. Лисицын Н. В. Аварийные режимы в сетях с изолированной нейтралью и способ контроля изоляции / Н. В. Лисицын // Электрические станции. — 1990. — № 10 — С. 42—48.
5. Лихачев Ф. А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией на землю / Ф. А. Лихачев. — М. : Энергия, 1971. — 152 с.
6. О необходимости изменений режимов нейтрали в сетях 3–35кВ / [Б. С. Стогний, В. В. Масляник, В. В. Назаров и др.] // Энергетика и Электрификация. — 2001. — № 4. — С. 27—29.
7. Сирота И. М. Режимы нейтрали электрических сетей / И. М. Сирота, С. М. Кисленко, А. М. Михайлов. — К. : Наук. думка, 1985. — 264 с.
8. Субгармонічний резонанс у мережах 35 кВ / [Ю. О. Варецький, А. В. Журахівський, Ю. А. Кенс та ін.] // Технічна електродинаміка. — 1996. — № 5. — С. 54—58.
9. Феррорезонансные колебания в воздушных сетях 35 кВ и условия работы трансформаторов напряжения / [Д. А. Голдобин, А. П. Заболотников, А. А. Тихонов, Ю. В. Зисман] // Промышленная энергетика. — 1991. — № 10. — С. 24—27.
10. Журахівський А. В. Захист трансформаторів напруги від надструмів під час дугових замикань фази на землю в мережах 10 кВ з ізольованою нейтраллю / А. В. Журахівський, Ю. А. Кенс, Р. В. Мединський // Энергетика и Электрификация. — 2001. — С. 21—25.
11. Ubiquiti mPort [Електронний ресурс] // Магазин із продажу електротехнічного обладнання ASP 24. — Режим доступу : <http://asp24.com.ua/ubiquiti-mfi/ubiquiti-mport/>.
12. Ubiquiti mFi-CS [Електронний ресурс] // Магазин із продажу електротехнічного обладнання ASP 24. — Режим доступу : <http://asp24.com.ua/ubiquiti-mfi/ubiquiti-mfi-cs/>.

Рекомендована кафедрою електричних станцій і систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 11.01.2016

Журахівський Анатолій Валентинович — д-р техн. наук, професор кафедри електричних систем та мереж;
Яцейко Андрій Ярославович — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних систем та мереж;
Масляк Роман Ярославович — канд. техн. наук, асистент кафедри електричних систем та мереж, e-mail: masliakroman@ukr.net.

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

A. V. Zhurakhivskiy¹
A. Ya. Yatseiko¹
R. Ya. Masliak¹

Current Protection of Voltage Transformers from the Ferroresonance Processes

¹National University «Lviv Polytechnic»

The electrical networks with isolated neutral have been reviewed and the problem of occurrence of the ferroresonance processes in them has been investigated. There have been analyzed sizes of currents which run in the neutral voltage transformers at the time of the appearance of the ferroresonance processes. There have been proposed to modernize protection devices from the ferroresonance process using the current protection.

Keywords: ferroresonance process, voltage transformers, isolated neutral.

Zhurakhivskiy Anatolii V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor the Chair of Electrical Systems and Networks;
Yatseiko Andrii Ya. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Electrical Systems and Networks;
Masliak Roman Ya. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant of the Chair of Electrical Systems and Networks, e-mail: masliakroman@ukr.net

A. В. Жураховский¹
А. Я. Яцейко¹
Р. Я. Масляк¹

Токовая защита трансформаторов напряжения от действия феррорезонансных процессов

¹Национальный университет «Львовская политехника»

Рассмотрены электрические сети с изолированной нейтралью и исследована проблема возникновения в них феррорезонансных процессов. Проанализированы величины токов, протекающих в нейтральных трансформаторов напряжения во время возникновения феррорезонансного процесса и предложено модернизировать устройства защиты от него с использованием токовых защит.

Ключевые слова: феррорезонансные процессы, трансформаторы напряжения, изолированная нейтраль.

Жураховский Анатолий Валентинович — д-р техн. наук, профессор кафедры электрических систем и сетей;
Яцейко Андрей Ярославович — канд. техн. наук, доцент кафедры электрических систем и сетей;
Масляк Роман Ярославович — канд. техн. наук, ассистент кафедры электрических систем и сетей,
e-mail: masliakroman@ukr.net