

ПРИСТРОЇ ЗАХИСТУ ТРАНСФОРМАТОРІВ НАПРУГИ ВІД ФЕРОРЕЗОНАНСНИХ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

*Журахівський А.В., Кенс Ю.А., Горбатський А.А., Романишин В.В., Кобрій Б.В.
Державний університет "Львівська політехніка", ВАТ "Львівобленерго"
rostmed@polynet.lviv.ua*

Models for voltage transformer protection devices on damages under overcurrent and ferroresonant processes arising in electric networks with ungrounded neutral point is presented.

Згідно зі статистичними даними, що наводяться в технічній літературі, 6÷10 % трансформаторів напруги (ТН), які працюють в електричних мережах з ізолюваною нейтраллю щорічно пошкоджуються ферорезонансними процесами (ФРП). Як відомо, в електричних мережах з компенсованою нейтраллю, ФРП, як правило не виникає. Однак через вимкнення фідерів живлення 6÷35 кВ приходиться вимикати і дугогасні котушки, чим провокується утворення резонансних контурів з параметрами, за яких виникають незатухаючі субгармонічні коливання, що призводять до пошкодження ТН [1].

Ферорезонансні перенапруги можуть виникнути за наступних умов [2]:

- 1) зовнішнє коло разом з нелінійним шунтом намагнічування повинно створювати коливний контур, в якому виконані умови резонансу для даної гармонічної складової. Для цього, вхідний опір схеми відносно точки під'єднання нелінійного шунта повинен мати на відповідній частоті ємнісний характер та бути співмірним з деяким середнім значенням індуктивного опору нелінійного елемента на цій частоті;
- 2) для автопараметричного резонансу степінь насичення сталі магнітопроводу в області великих струмів повинна забезпечувати достатню глибину модуляції індуктивності намагнічування, тільки за цієї умови значна частина енергії основної частоти перетворюється в енергію резонансної частоти. При цьому, чим більш нелінійний зв'язок між потоком та струмом, тим вищий номер гармоніки, що може збудитися;
- 3) втрати на корону та в активних опорах елементів електропередачі повинні бути менші енергії основної частоти, що перетворюється в енергію резонансної частоти.

Найнебезпечнішим є ФРП, що виникає на частоті 25 Гц - субгармонічний резонанс. Це паралельний ферорезонанс, що виникає між нелінійною індуктивністю обмотки вищої напруги трансформатора напруги та ємністю мережі відносно землі. Як показує досвід експлуатації, за невеликих струмів замикання на землю в електричних мережах 6÷35 кВ з ізолюваною нейтраллю, такі комутаційні режими як нестабільне перекриття фазної ізоляції, спрацювання розрядників, вимкнення однофазного замикання на землю, тощо можуть призвести до виникнення субгармонічного резонансу (рис. 1).

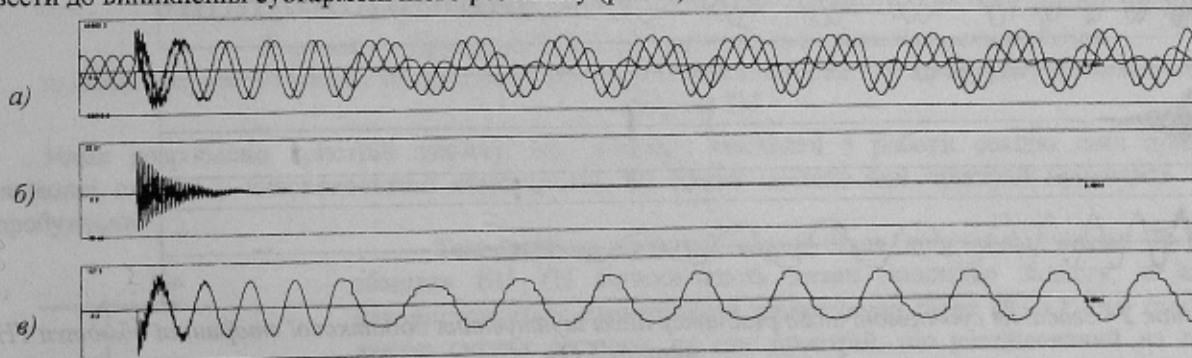


Рисунок 1 - Виникнення субгармонічного резонансу після ліквідації однофазного замикання
а) фазні напруги на шинях; б) струм у місці однофазного замикання; в) напруга у додатковій вторинній обмотці ТН

Основними ознаками субгармонічного резонансу є:

- частота напруги нульової послідовності $3U_0$, що виділяється на додатковій вторинній обмотці ТН, зібраній у "розімкнений трикутник", менша в 2÷3 рази частоти напруги мережі живлення;
- фазна напруга на шинях підстанції зростає у 1.7÷2.2 рази;
- результуюча крива фазної напруги є сумою двох складових - з частотами мережі $f_{мер}$ і коливного контуру $f_{вл}$, що утворюється між нелінійною індуктивністю обмотки ВН ТН та ємністю мережі, причому $f_{вл} \approx f_{мер} / (2 \div 3)$;
- 10÷15 кратне збільшення струму первинної обмотки ТН відносно допустимого значення.

Отже субгармонічні коливання викликають у первинних обмотках ТН протікання надструмів, що на порядок і більше перевищують допустимі, чим і зумовлюється перегорання їх за 3÷5 хв.

У зв'язку з цим стає необхідним застосування пристроїв для гасіння чи недопущення ФРП. Розглянемо декілька з них.

1. Постійне ввімкнення активного опору $R=25 \text{ Ом}$ у "розімкнений трикутник" ТН (рекомендовано в ПУЕ). Це не допускає виникнення ФРП на основній та вищих гармонічних складових, але практично не впливає на субгармонічний резонанс.

2. Постійне ввімкнення у "розімкнений трикутник" ТН дроселя з немагнітними проміжками. Таке під'єднання дроселя має на меті не допустити виникнення ФРП. Ця схема була змодельована за допомогою комплексу RE [3]. При цьому підбирались різні співвідношення значень активного та індуктивного опорів та кривої намагнічення дроселя. Але це не дало бажаного ефекту, ФРП виникав.

3. Введення активного опору в первинну обмотку ТН для зриву ФРП також недоцільно, тому що впливає на точність вимірювань напруги. Це дещо знижує рівень струмів у обмотці ВН ТН під час ФРП, але не призводить до його згасання.

4. Також було запропоновано введення активного опору в нейтраль первинної обмотки ТН при виникненні ФРП [4]. Це призводить до загасання ФРП, але конструктивно таке під'єднання можливо виконати тільки для ТН, високовольтні обмотки яких з'єднані у зірку зі спільною нульовою точкою. В мережах 35 кВ, для яких проводились дослідження, переважно використовуються ТН типу ЗНОМ-35, де кожна фаза розташована окремо. Тому введення активного опору між обмоткою 35 кВ і землею конструктивно складно.

5. Відомий захист, принцип роботи якого полягає у шунтуванні обмотки "розімкнений трикутник" короткочасно активним опором при виникненні ФРП. При певній величині активного опору це призводить до загасання ФРП. Однак у цьому пристрої давачем, що виявляє ФРП, є нелінійний дросель, який має суттєві недоліки - важко налагоджувати (узгоджувати за рівнем струму спрацювання з реагуючим органом). Також цей пристрій може спрацьовувати багаторазово, при самозагасаючих перехідних процесах, що небажано [5].

На кафедрі ЕМС ДУ"ЛПТ" проводиться ґрунтовне дослідження у даному напрямку. Експериментально було визначено оптимальну величину активного опору, який необхідно під'єднати в обмотку "розімкнений трикутник" для гашення ФРП.

Нами запропоновано достатньо простий та ефективний пристрій захисту ТН від пошкодження ферорезонансними процесами. Пристрій вмикається до обмотки розімкненого трикутника ТН, він реагує на наступні сигнали:

$$\text{частота } f_{\text{сигналу}} = \frac{f_{\text{мережі}}}{n}, \text{ де } n=2,3; \text{ тобто } f_{\text{сигналу}} \cong 25 \text{ або } 16,6 \text{ Гц}; \quad (1)$$

напруга сигналу $\geq 30 \text{ В}$.

Пристрій спрацьовує з затримкою в часі, щоб відвестись від випадкових збурень чи самозатухаючих ФРП. Під час спрацювання пристрій вмикає до виводів додаткової вторинної обмотки на час до 1 с резистор, величиною 5÷10 Ом, чим "зривається" ФРП. Пристрій може виготовлятися на базі електромеханічних реле або сучасній елементній базі.

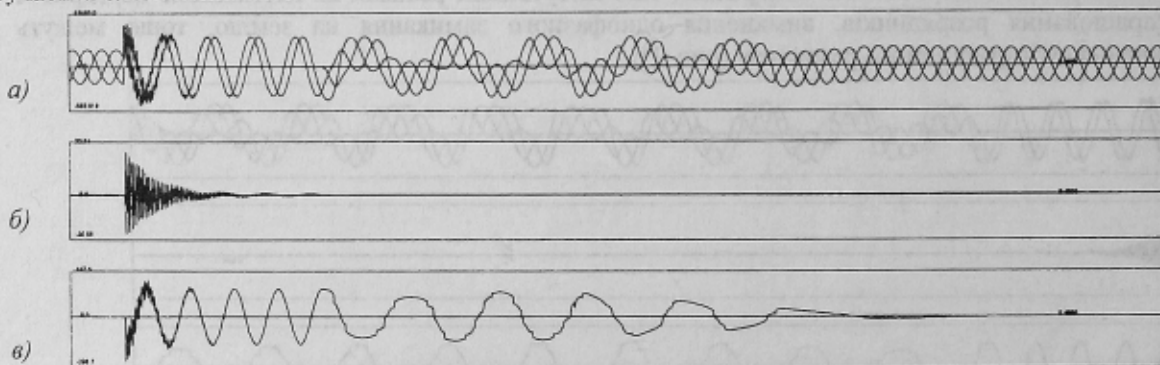


Рисунок 2 - Згасання субгармонічного резонансу після шунтування додаткової вторинної обмотки ТН опором 5 Ом

а) фазні напруги на шинях; б) струм у місці однофазного замикання; в) напруга у додатковій вторинній обмотці ТН

Принцип роботи захисту пояснюється за допомогою функціональної схеми, наведеної на рис. 3, де:

1-шини, 2-трансформатори напруги, 3- додаткова вторинна обмотка, 4-блок перетворення частота-напруга, 5-реагуючий блок з самоутримуванням, 6,8-формувачі уставок напруги, 7-блок формування одноразового імпульсу спрацювання, 9-сигнальний елемент, 10-блок підсилення сигналу, 11-виконавчий елемент, 12-шунтуючий резистор.

Принцип роботи захисту (рис.3.) полягає в шунтуванні обмотки 3, трансформатора напруги 2, з'єднаної у "розімкнений трикутник", активним опором 12 при появі на затискачах обмотки 3 ТН напруги частотою, меншою за промислову ($f \leq 45$ Гц), тобто 25 Гц.

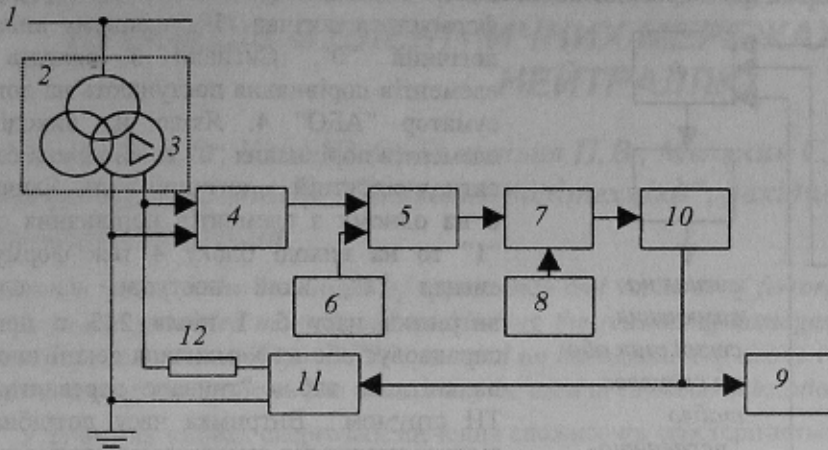


Рисунок 3 - Функціональна схема пристрою захисту трансформатора напруги від пошкоджень ферорезонансними процесами

В електричних мережах Західного регіону України впроваджено 9 таких пристроїв, вони знаходяться в експлуатації більше 3 років та неодноразово успішно виконували покладені на них функції. Схемні рішення пристрою захищені патентами України на винаходи [6].

Недоліком даного пристрою є те, що він не захищає ТН від пошкоджень при виникненні перекидної дуги (рис. 4). Якщо перекидна дуга зумовлена пошкодженням ізоляції, то зміна параметрів коливного контуру,

наприклад, шляхом уведення резистора в обмотку розімкненого трикутника ТН, не може призвести до загасання цього процесу. У випадку виникнення перекидних дуг в мережі, для недопущення пошкодження трансформаторів напруги необхідно вимикати фідер, на якому розвивається перекидна дуга або й вимикач вводу, якщо дуга існує на шинах секції. Зрозуміло, що на підстанції необхідно мати пристрій (систему), який може визначити цей фідер.

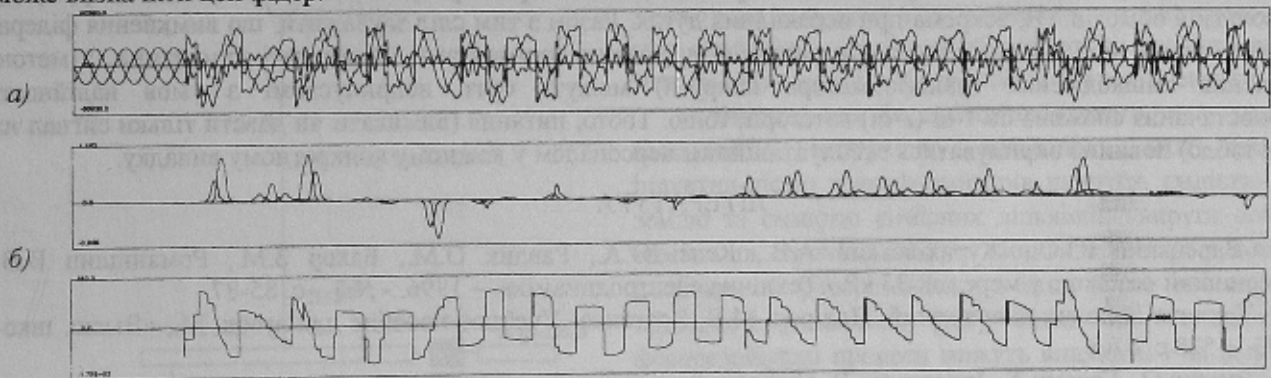


Рисунок 4 - Процес в ТН під час горіння симетричної перекидної дуги

а) фазні напруги на шинах; б) струми в обмотках високої напруги ТН; в) напруга у додатковій вторинній обмотці ТН

Нами розроблено пристрій захисту, що дозволяє виводити з роботи секцію шин при тривалому збільшенні струму у високовольтній обмотці ТН. На даний момент цей пристрій проходить лабораторні випробування.

Технологічно пристрій виконується наступним чином. В кожен фазу обмотки ВН ТН встановлюють датчик пристрою захисту, в якості якого використовується низькоомний резистивний шунт ($R \leq 0,1$ Ом) (рис. 5). Далі з датчика сигнал поступає на сам пристрій, що розташований на панелі щита підстанції.

$$U_{ш} = R_{ш} \cdot I_{TV} = K_I \cdot I_{TV} \quad (2)$$

де, K_I [В/А]=[Ом] – коефіцієнт пропорційності між струмом обмотки ВН ТН та спадком напруги на шунті.

Отже, таким чином визначаємо I_{TV} в нормальному режимі роботи, а це дає можливість відвестись від можливих режимів, що характеризуються значним зростанням струму в обмотці високої напруги.

Функціональна схема даного пристрою захисту наведена на рис. 6, де: 1 – перетворювач напруга – напруга, 2 – елемент порівняння напруг, 3 – елемент уставки напруги, 4 – логічний елемент "АБО", 5 – елемент витримки часу ($\approx 2-3$ с).

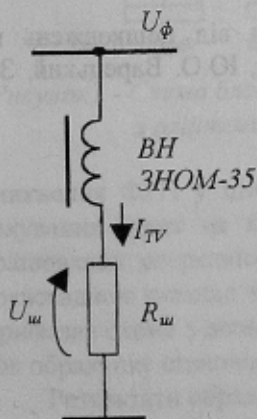


Рисунок 5 - Схема під'єднання датчика пристрою захисту

Принцип роботи захисту такий. Напруга з давача відповідної фази $U_{ш}$ подається на блок перетворення напруга – напруга 1. Далі сигнал поступає на елемент порівняння напруг 2, де порівнюється з величиною напруги заданою елементом уставки 3. При перевищенні сигналом величини уставки на виході блоку 2

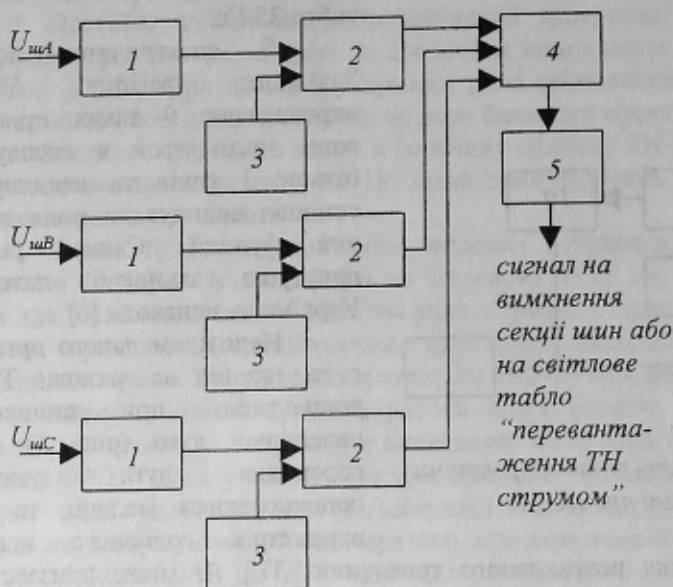


Рисунок 6 - Функціональна схема пристрою захисту ТН від тривалого перевантаження струмом

формується логічна "1", в іншому випадку - логічний "0". Сигнали з виходів усіх елементів порівняння поступають на логічний суматор "АБО" 4. Якщо на виході всіх елементів порівняння "0" то на виході блоку 4 сигнал відсутній – логічний нуль. Якщо хоча б на одному з елементів порівняння сигнал "1" то на виході блоку 4 теж формується сигнал "1", який поступає на елемент витримки часу 5. І після 2÷3 с пристрій спрацьовує або на вимкнення секції шин, або на світлове табло "тривале перевантаження ТН струмом". Витримка часу потрібна для відлагодження від самозагасаючих перехідних процесів або дає час на придушення субгармонічного резонансу відповідним пристроєм захисту (рис. 3).

Таким чином, поєднання пристроїв захисту, функціональні схеми яких наведені на рис. 3 та 6, дозволяють надійно захищати ТН від можливих пошкоджень при

субгармонічному резонансі та при інших процесах, що характеризуються підвищенням струму у високовольтній обмотці ТН, зокрема при перекидних дугах. Разом з тим слід зауважити, що вимкнення фідера, а тим паче секції шин повинно бути обґрунтоване вагомими аргументами. Адже такі вимкнення (з метою недопущення пошкодження трансформатора напруги) можуть бути неприпустимі з умов надійності електропостачання споживачів 1-ої (2-ої) категорії, тощо. Тобто, питання (вимикати чи давати тільки сигнал на світлове табло) повинно вирішуватись експлуатаційним персоналом у кожному конкретному випадку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Варецький Ю.О., Журахівський А.В., Кенс Ю.А., Равлик О.М., Бахор З.М., Романишин В.В. Субгармонічний резонанс у мережах 35 кВ// Технічна електродинаміка. – 1996. - №5. –с. 85-87.
2. Техніка високих напруг. Под ред. М.В. Костенко. Учебное пособие для вузов. М., «Высш. школа». 1973. – 528 с. с ил.
3. Равлик О., Гречин Т., Іваноньків В. Цифровий комплекс для аналізу роботи та проектування пристроїв релейного захисту й автоматики // Вісник ДУ "Львівська політехніка" – 1997. №340 –с. 96-101.
4. Нугер Б.К. Выбор величины резистора в нейтрали трансформатора напряжения // Збірник праць ІV Міжнародної наукової конференції "Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств". Маріуполь, 2000, с. 211-212.
5. А.С. СССР №1453510. Устройство для защиты трансформатора напряжения контроля изоляции от повреждения при феррорезонансных процессах в сети с изолированной нейтралью / А.В. Богдан, В.В. Калмыков, А.А. Сафарбаков. Бюл. №3, 23.01.89.
6. Патент №17170 України. Пристрій для захисту трансформатора напруги від пошкоджень при феррорезонансах у мережах з ізольованою нейтраллю// А.В. Журахівський, Ю.А. Кенс, Ю.О. Варецький, З.М. Бахор, О.Л. Сторчун, В.В. Романишин. Бюл. №5. 97р.