

УДК 621.316

## ВСТАНОВЛЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАХИСТУ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ ТОПКИМИ ЗАПОБІЖНИКАМИ

О.М. Гречко

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
a.m.grechko@gmail.com*

**Вступ.** В електричних мережах України класу напруги 6–35 кВ переважно застосовується режим роботи з ізольованою нейтраллю. Такий підхід історично сформувався з міркувань підвищення безперервності та надійності електропостачання споживачів [1].

Найхарактернішим видом пошкоджень у подібних мережах є однофазні замикання на землю. У разі використання ізольованої нейтралі такі замикання, як правило, не розглядаються як аварійні стани і не потребують негайного відключення навантаження. Водночас, поряд із зазначеними перевагами, мережі цього типу мають і певні недоліки. Одним із найбільш суттєвих є ризик появи небезпечних перенапруг, а також розвитку ферорезонансних явищ [2].

Наслідком таких процесів може стати пошкодження електротехнічного обладнання, встановленого на підстанціях. Найчастіше відмовляють вимірювальні трансформатори напруги середнього класу (ТН, рис. 1) з литою ізоляцією [3–5]. Це відбувається навіть за наявності передбачених засобів захисту, зокрема плавких запобіжників [6].



Рис. 1. Приклади пошкоджених ТН з литою ізоляцією

Наявні на сьогодні вітчизняні підприємства, що виготовляють плавкі запобіжники, не гарантують достатнього рівня захисту трансформаторів напруги, особливо у зоні малих струмів перевантаження [6, 7]. У цьому діапазоні струмів ефективність захисних апаратів виявляється недостатньою, що не дозволяє повною мірою запобігти пошкодженням обладнання.

Протягом останніх років вдалося частково знизити кількість відмов ТН, спричинених перенапругами та ферорезонансними явищами, завдяки розробці так званих антирезонансних трансформаторів напруги. У таких конструкціях застосовують магнітопроводи з пониженим рівнем робочої

індукції, що зменшує ймовірність розвитку небажаних резонансних процесів. Проте результати досліджень [1, 2] свідчать, що навіть впровадження подібних рішень не забезпечило повного усунення проблеми.

Крім того, використання в їхній конструкції трансформаторного масла як ізоляційного середовища обмежує подальші перспективи застосування таких пристроїв. Це пов'язано із сучасною тенденцією в електротехнічній галузі, спрямованою на поступову відмову від потенційно небезпечних і екологічно ризикованих речовин.

**Метою** даного дослідження є встановлення факторів, що призводять до виходу з ладу вимірювальних трансформаторів напруги класу 6–35 кВ за умови їх захисту типовими плавкими запобіжниками. Окрім цього, робота спрямована на обґрунтування та визначення необхідних технічних характеристик модернізованих плавких запобіжників, які здатні забезпечити надійний та результативний захист вимірювальних трансформаторів у зазначеному діапазоні напруг.

**Основна частина.** Проаналізовані раніше підходи [1–7], спрямовані на обмеження струму в первинних обмотках трансформаторів напруги та зменшення кількості їх пошкоджень, характеризуються наявністю певних недоліків. У зв'язку з цим питання забезпечення надійного й дієвого захисту ТН залишається остаточно не розв'язаним і потребує подальшого наукового опрацювання.

Одним із додаткових варіантів підвищення рівня захисту є встановлення плавких запобіжників у колах первинних обмоток ТН [5, 6, 7]. У разі виникнення аварійних режимів такі захисні елементи здатні оперативно відключати трансформатор напруги від мережі, запобігаючи його пошкодженню, а також мінімізуючи ризик руйнування суміжного обладнання розподільчого пристрою.

Згідно з діючим національним стандартом встановлюються 3 класи струмообмежувальних запобіжників, залежно від діапазону струмів, які вони здатні відключити:

1) *Резервні запобіжники (back-up fuses) або запобіжники обмеженої дії.* Вони здатні за обумовлених умов відключати всі струми від номінативного найбільшого струму відмикання (rated maximum breaking current  $I_1$ ) до номінативного найменшого струму відмикання (rated minimum breaking current  $I_3$ ). Зазвичай значення струму  $I_3$  становлять приблизно  $(3–10) \cdot I_n$ . Такі запобіжники мають встановлюватись у колі, в якому не може виникнути струм короткого замикання із значенням нижчим за  $I_3$  (наприклад, через параметри самої схеми або ж встановлення інших захисних пристроїв). При струмах, менших за струм  $I_3$ , топкий елемент запобіжника умовно «перегоряє», але при цьому при певних умовах запобіжник може не перервати струм і електрична дуга може не згаснути (надалі для спрощення опису процесів будемо називати такий режим як «умовне» спрацювання запобіжника).

Авторам відомі випадки, коли в подібних ситуаціях при тривалому протіканні такого процесу відбувався вибух запобіжника із доволі серйозними наслідками у розподільному пристрої. Резервні запобіжники є найбільш поширеними і зазвичай застосовується для захисту силових трансформаторів та двигунів від коротких замикань. При значеннях струму в діапазоні між  $I_n$  і  $I_3$  такі запобіжниками мають використовуватись разом із послідовно встановленим додатковим вимикачем (switch – за міжнародною термінологією) для захисту від відносно невеликих струмів перевантаження. При цьому запобіжники деяких виробників додатково оснащуються спеціальним блоком контролю температури (temperature control unit – TCU) із ударником (striker), який при певному значенні струму перевантаження вивільняється і механічно впливає на розчеплювач вимикача, знеструмлюючи коло.

2) *Запобіжники загального призначення (general-purpose fuses)*. Ці запобіжники здатні за обумовлених умов відключати всі струми від номінативного найбільшого струму відмикання (rated maximum breaking current  $I_1$ ) до низького значення, який дорівнює струму, що викликає розтоплення топкого елемента запобіжника протягом 1 години (зазвичай позначається як  $I_{1h}$ ). Струм  $I_{1h}$  є меншим за струм  $I_3$ . Такі запобіжники вже здатні відключати як струми коротких замикань, так і деякі струми перевантаження.

3) *Запобіжники повного діапазону (full-range fuses)*. Дані запобіжники здатні за обумовлених умов відключати всі струми, які викликають розтоплення топкого елемента запобіжника (minimum melting current  $I_{mmc}$ ), аж до його номінативного найбільшого струму відмикання (rated maximum breaking current  $I_1$ ).

Отже, використання плавких запобіжників характеризується низкою специфічних вимог і особливостей. Ігнорування цих аспектів або недостатній рівень підготовки обслуговуючого персоналу призводять до ситуацій, коли в мережах середньої напруги захист обладнання, зокрема трансформаторів напруги, реалізується запобіжниками невідповідного класу чи без урахування їх здатності коректно відключати малі струми перевантаження. Про встановлення додаткового вимикача послідовно із запобіжником взагалі майже не йдеться – у практичній діяльності подібні рішення авторам не траплялися. Водночас у вітчизняних розподільчих електромережах середнього класу напруги мали місце інші, цілком реальні випадки, аналіз яких дає змогу глибше усвідомити природу проблеми та окреслити можливі напрями її технічного вирішення.

Особливістю роботи ТН є те, що вони працюють в режимі близькому до холостого ходу з малим значенням струму в первинній обмотці, що в номінальному режимі становить приблизно 10–20 мА. При цьому, як було підкреслено на початку статті, низька ефективність захисту ТН обумовлена поширеною практикою застосування запобіжників із номінативним струмом,

який перевищує струм термічної стійкості ТН як для масляної, так і для литої ізоляції. В той же час, як відзначалось, при струмах, менших за струм  $I_3$ , топкий елемент запобіжника спрацьовує лише «умовно».

Критерій визначення параметрів удосконалених топких запобіжників для захисту ТН можна сформулювати так: в аварійному режимі роботи при протіканні струмів перевантаження або короткого замикання у випадку досягнення усередненою (тут і надалі мається на увазі за перетином) температурою первинної обмотки ТН значення, яке є гранично допустимим для даного класу ізоляції, усереднена температура топкої вставки запобіжника має бути не меншою від температури її топлення.

Попередньо можна зазначити, що, зважаючи на гранично допустимий струм більшості ТН із литою ізоляцією, що складає  $\approx 0,15$  А, доцільним є розробка запобіжника із номінативним струмом топкої вставки  $I_n \approx 0,08-0,1$  А, що забезпечуватиме спрацьовування протягом 1 години при  $I_{1h} \approx 0,15$  А.

**Висновки.** Встановлено, що в електричних мережах середнього класу напруги 6–35 кВ з ізолюваною нейтраллю наявна актуальна проблема, пов'язана із забезпеченням надійного захисту вимірювальних трансформаторів напруги. Існуючі технічні рішення, спрямовані на зменшення кількості відмов ТН, викликаних перенапругами та зростанням струму в первинних обмотках, мають певні обмеження та не гарантують повного усунення зазначених недоліків.

Доведено, що зниження рівня пошкоджуваності ТН можливе за рахунок встановлення плавких запобіжників у колах живлення їх первинних обмоток. Аналіз експлуатаційних режимів роботи трансформаторів напруги та специфіки застосування запобіжників для їх захисту дозволив виявити явище так званого «умовного» спрацьовування. Наявні конструкції вітчизняних запобіжників у разі невеликих струмів перевантаження забезпечують перегорання плавкої вставки, однак при цьому не відбувається повного розриву кола живлення ТН і знеструмлення його первинної обмотки. Якщо до вторинної обмотки підключено лічильник електроенергії, це спричиняє похибки в обліку спожитої електричної енергії.

Попередні експериментальні дослідження підтвердили наявність «умовного» характеру спрацювання запобіжників. Виявлено, що після перегорання плавкої вставки на затискачах вторинної обмотки ТН зберігається напруга в межах 42–50 В, що стає причиною недообліку електроенергії. Сформульовано попередні критерії вибору параметрів плавких запобіжників з метою підвищення ефективності захисту трансформаторів напруги.

## Література

1. Журахівський А.В., Кенс Ю.А., Яцейко А.Я., Масляк Р.Я. Захист електричних мереж 6-35 кВ від ферорезонансних процесів. *Технічна*

електродинаміка, 2013, №. 5, С. 70-76. Режим доступу: [http://previous.techned.org.ua/2013\\_5/st11.pdf](http://previous.techned.org.ua/2013_5/st11.pdf).

2. Журахівський А.В., Кенс Ю.А., Яцейко А.Я., Масляк Р.Я. Ферорезонансні процеси в електромережах 10 кВ з різнотипними трансформаторами напруги. *Технічна електродинаміка*, 2010, № 2, С. 73-78. Режим доступу: <http://previous.techned.org.ua/article/10-2/st9.pdf>.

3. Ганус О.І., Старков К.О. Дослідження характеру перенапруг в електричній мережі, що виникають при роботі трансформаторів напруги. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика, надійність та енергоефективність*, 2021, № 1 (2), С. 28-36. doi: <https://doi.org/10.20998/2224-0349.2021.01.05>.

4. Маліновський А.А., Гуцин Є.Ю. Вплив аварійних режимів мережі на роботу трансформаторів напруги НОМ-10. *Науковий вісник НГУ*, 2015, № 1, С. 89-93. Режим доступу: <https://nvnngu.in.ua/index.php/en/component/jdownloads/finish/52-01/1613-2015-1-malinovskiy/0>.

5. Wang K., Liu H., Yang Q., Yin L., Huang J. Impact Transient Characteristics and Selection Method of Voltage Transformer Fuse. *Energies*, 2019, vol. 12, no. 4, art. no. 737. doi: <https://doi.org/10.3390/en12040737>.

6. Bajda Y., Grechko O., Buhaichuk V., Knápek R. To the Problem of Protection of Medium Voltage Instrument Transformers with Fuses: Analytical Research. *Lighting Engineering & Power Engineering*, 2021, vol. 60, no. 3, pp. 92-102. doi: <https://doi.org/10.33042/2079-424X.2021.60.3.02>.

7. Байда Є.І., Гречко О.М. Мультифізичний розрахунок топких запобіжників вимірювальних трансформаторів середньої напруги. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика*, 2023, № 1 (9), С. 3-10. doi: <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2023.1.01>

УДК 629.3

## КОНЦЕПЦІЯ ІНТЕРНЕТУ АКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Н.Г. Мовчан

Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
*nikitamovchan22@gmail.com*

Концепція Інтернету акумуляторів ІоВ (від англ. Internet-of-batteries (IoB)) для електромобілів нещодавно з'явилася та пропонує великий потенціал для моніторингу, контролю та оптимізації використання акумуляторних батарей в електромобілях [1-4]. Ця концепція, яка поєднує аспекти Інтернету речей ІоТ (від англ. Internet of Things (IoV)), Інтернету транспортних засобів ІоВ (від англ. Internet of Vehicles (IoV)) з найновішими