

ЗАХИСТ КАБЕЛЬНИХ МЕРЕЖ ВІД ПЕРЕНАПРУГ

Шевченко С. Ю., Довгальок О. М., Піротті О. Є., Єрмоленко Б. Ф.

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Проведено аналіз особливостей функціонування та виконання захисту кабельних ліній від грозових і внутрішніх перенапруг в електричних мережах 6-35 кВ для забезпечення їх надійної роботи. Розглянуто умови вибору та розташування обмежувачів перенапруги в кабельних мережах.

Постановка проблеми. Сучасні розподільчі електричні мережі являють собою складні інженерні споруди, які розташовані на великій території, включають до свого складу значну кількість елементів та стають все більш вимогливими до надійності роботи. В Україні значна кількість розподільчих електричних мереж 0,4-35 кВ виконуються кабельними лініями (КЛ) електропередачі. Силові кабелі, що застосовуються для таких мереж, характеризуються досить складною конструкцією та великою вартістю. Протягом терміну експлуатації вони неодноразово наражаються на дію різних за природою перенапруг, які за характером можна розділити на атмосферні, що виникають при дії на мережу атмосферної електрики, та внутрішні, до яких відносяться комутаційні, стаціонарні й квазістаціонарні перенапруги. Це викликає необхідність захисту кабельних мереж від подібних негативних впливів. Захист КЛ від перенапруг є однією з важливих задач, оскільки їх пошкодження призводить до значних матеріальних збитків, достатньо складного й дорогого ремонту.

Таким чином, аналіз особливостей функціонування та захисту кабельних мереж від перенапруг є дуже важливим завданням, що має практичний інтерес для енергетики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням захисту від перенапруг в електричних мережах присвячено ряд публікацій [1-4], проте в них розглядаються питання захисту КЛ від перенапруг лише як складова частина або опосередковані засоби вирішення інших задач, пов'язаних із захистом обладнання. Зокрема можна виділити роботи, в яких захисту КЛ присвячено увагу лише в рамках вирішення задачі захисту обладнання підстанції засобами кабельних вводів [1,2,5], обґрунтовується необхідність застосування захисних апаратів в місцях приєднання КЛ до повітряної лінії (ПЛ), а також в місцях транспозиції [4,5].

Розгляду питання захисту виключно кабельних мереж не приділялось належної уваги, в той час як експлуатаційна практика показує, що КЛ схильні до значної кількості пошкоджень внаслідок впливу на них саме перенапруг різного характеру.

Розроблено значну кількість методик та нормативних документів щодо вибору та експлуатації захисних апаратів для електричних мереж 6-35 кВ [6,7]. Їх аналіз свідчить про те, що сучасні нормативні документи містять лише окремі рекомендації щодо захисту КЛ від перенапруг, проте чітко сформульовані правила вибору та експлуатації захисних апаратів в кабельних мережах на цей час відсутні та не знаходять достатнього відображення в нормативних документах.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є аналіз особливостей функціонування та виконання захисту КЛ від грозових і внутрішніх перенапруг в електричних

мережах 6-35 кВ для забезпечення надійної роботи.

Основні матеріали дослідження. На сьогоднішній день в Україні та в країнах Європи основним видом захисних апаратів, що застосовуються для захисту від перенапруг кабельних мереж 6-35 кВ, є обмежувачі перенапруги (ОПН). Це пов'язано з тим, що на даний час практично припинено виготовлення вентильних розрядників, а нормативні документи рекомендують застосовувати для захисту КЛ виключно ОПН [6,7].

Для надійного захисту мережі необхідно здійснити коректний вибір ОПН, для чого слід враховувати технічні характеристики самого ОПН, параметри мережі та захищуваного обладнання. Це забезпечується виконанням таких умов:

- ОПН має обмежувати комутаційні та грозові перенапруги до значень, за яких буде забезпечено надійну роботу ізоляції КЛ протягом всього терміну служби ОПН;
- ОПН має надійно працювати без руйнування та зниження параметрів під час неперервного впливу тривалих робочих напруг, тимчасових підвищень напруг в робочих режимах, а також квазістаціонарних (усталених) перенапруг в умовах робочих і аварійних комутацій;
- ОПН повинен бути вибухобезпечний при протіканні струмів короткого замикання (КЗ) в результаті внутрішніх пошкоджень;
- ОПН повинен відповідати механічним та кліматичним умовам експлуатації.

Для вирішення цих завдань необхідно виконати: вибір найбільшої робочої напруги ОПН ($U_{нро}$); уточнення вибору $U_{нро}$, якщо в мережі можливі тривалі підвищення напруги понад нормоване значення найбільшої робочої напруги мережі; вибір номінального розрядного струму (I_n); вибір питомої енергоємності ($W_{нум}$) і струму пропускної здатності ОПН (I_{2000}); вибір залишкових напруг ОПН для захисту від комутаційних та грозових перенапруг; вибір ОПН за умовами забезпечення вибухобезпечності; вибір ОПН залежно від умов експлуатації; вибір місця встановлення ОПН.

Електричні мережі України 6-35 кВ працюють з ізолюваною нейтраллю та мають в своєму складі велику кількість як КЛ, так і ПЛ електропередачі. Основними небезпечними впливами в таких мережах є грозові перенапруги, які обумовлюють величину необхідної ізоляції мережі. Величини амплітуд комутаційних та квазістаціонарних перенапруг істотно не впливають на цей параметр мережі.

Істотною відмінністю між електричними параметрами ПЛ і кабелів є їх хвильовий опір, значення якого для ПЛ складають приблизно від 300 до 450 Ом, а для кабелів – в діапазоні від 20 до 60 Ом. Перш за все, це розходження служить причиною зменшення величини пікових значень грозових перенапруг, як тільки його хвиля досягає КЛ. Значною відмінністю КЛ є те, що

пікове значення перенапруги в кабелі зростає поступово. Це відбувається за рахунок заломлення і віддзеркалення хвилі в точці з'єднання КЛ і ПЛ. Величина заломленої хвилі визначається коефіцієнтом заломлення, який дорівнює відношенню хвильових опорів КЛ і ПЛ:

$$\alpha = \frac{2z_{кл}}{(z_{пл} + z_{кл})},$$

де $z_{кл}$ – хвильовий опір КЛ;

$z_{пл}$ – хвильовий опір ПЛ.

Зменшена хвиля напруги рухається до кінця кабелю і відбивається, так що напруга в кінці кабелю майже подвоюється. Потім хвиля повертається до введення кабелю, де відбивається ще раз, і т.д. Таким чином, перенапруга в кабелі створюється поступово. Хоча крутизна перенапруги в кабелі фактично нижче, максимальне значення наближається до значення грозової перенапруги на лінії. При цьому спрацьовують захисні апарати на підстанції, до якої приєднано кабель, і струм через них може мати значення достатні для їх руйнування.

Таким чином, наявність КЛ на вході підстанції не забезпечує достатньої грозоупорності підстанції, тому необхідно встановлювати ОПН у місці переходу ПЛ в КЛ. Обмежувачі повинні розташовуватися безпосередньо біля кінцевої муфти кабелю. З'єднувальні провідники повинні бути якомога коротші. Необхідно відзначити, що заземлення обмежувача має бути приєднано до оболонки кабелю. На підстанцію в цьому випадку буде потрапляти напруга між жилою і оболонкою кабелю. Ця напруга складається з падіння напруги на ОПН і падіння напруги на індуктивності петлі провідника, який з'єднує оболонку кабелю із заземленням ОПН. Зменшення індуктивності з'єднувального провідника призводить до зниження перенапруг на обладнанні підстанцій.

Існує поширена думка, що короткі КЛ можна захищати ОПН тільки в місці їх приєднання до ПЛ, однак різні джерела дають різні величини довжин коротких КЛ (від 30 до 100 м), що не дає можливості виробити єдиний підхід щодо захисту коротких КЛ. На нашу думку КЛ необхідно захищати з двох сторін в будь-якому випадку і пов'язано це з тим, що в певних режимах роботи КЛ існує ймовірність пошкодження кінцевої муфти кабелю. Таким режимом може стати режим, коли відключений вимикач з боку підстанції. У цьому випадку при приході падаючої хвилі напруга на розімкнутому кінці КЛ подвоюється, що може привести до пробою ізоляції кінцевої муфти КЛ.

Всі рекомендації щодо захисту КЛ від перенапруг розглядають тільки випадок, коли КЛ приєднана до ПЛ або шин, до яких приєднана ПЛ, і зовсім не аналізуються випадки захисту суто кабельної мережі. Проведені кафедрою передачі електричної енергії Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" дослідження показали, що установка ОПН в кабельних мережах може істотно знизити ймовірність групового виходу з ладу КЛ. Відбувається це в силу того, що хоча ОПН і не призначені для поглинання квазістаціонарних перенапруг, вони можуть з ними справлятися при правильному виборі їх параметрів і місць установки.

Є декілька способів вибору ОПН для його успішної роботи при квазістаціонарних перенапругах. Перший з

них, і найпростіший, це збільшення найбільшої робочої напруги ОПН. Існують енергокомпанії, які вимагають установки в своїх мережах ОПН з підвищеним значенням найбільшої робочої напруги (наприклад, в мережі 6 кВ передбачають установку ОПН з напругою 8 кВ). Звичайно в результаті встановлення подібних ОПН вони не будуть виходити з ладу при тривалих підвищеннях напруги, тобто в режимах однофазного замикання на землю (ОЗЗ), але при цьому не можна забувати про основну функцію ОПН - захист обладнання. При збільшенні найбільшої робочої напруги автоматично збільшиться залишкова напруга ОПН, що призведе до збільшення напруги на об'єкті, і при виникненні будь-яких перенапруг він буде знаходитися під більшою напругою. Як відомо, це призведе до прискореного старіння ізоляції і скорочення терміну служби КЛ.

Другий спосіб дозволить вирішити проблему захисту від ОЗЗ застосуванням ОПН з нормальними параметрами. Він полягає у проведенні серії розрахунків режимів роботи мережі та визначенні кількості та місць встановлення ОПН на підставі отриманих даних. На жаль експлуатуючі організації не використовують цю можливість.

Третій спосіб найбільш витратний, але не вимагає ніяких розрахунків. Він полягає в установці ОПН на всіх приєднаннях підстанції. У цьому випадку ОПН не виходять з ладу при ОЗЗ і захищають обладнання, проте цей спосіб призводить до значних економічних витрат та необхідності обслуговування великої кількості ОПН.

Особливої уваги заслуговує захист кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену [8]. Технологія створення кабельної ізоляції із зшитого поліетилену (ЗПЕ-ізоляція) з'явилася в 70-х роках ХХ століття, і до теперішнього часу йшов безперервний процес поліпшення як характеристик самої ізоляції, так і технології зшивання. Високі електроізоляційні показники дозволили кабелям із ЗПЕ-ізоляцією прийти на зміну традиційним кабелям з паперово-масляною ізоляцією (ПМІ) і зайняти при цьому перше місце в області кабельної продукції. За запевненням зарубіжних і вітчизняних підприємств-виробників потік відмов кабелів з пластмасовою ізоляцією (КПІ) на один-два порядки менше в порівнянні з кабелями з ПМІ. Саме тому кабелі нового покоління є настільки привабливими для організації, які експлуатують розподільчі кабельні мережі.

Високочастотні впливи на ізоляцію кабелів із ЗПЕ-ізоляцією можуть призводити до прискорення розвитку водних трієнгів. Для розробки достовірних критеріїв оцінки параметрів високочастотних впливів, критичних для ЗПЕ-ізоляції кабелю, доцільно проведення імпульсних випробувань зразків кабелю, вилученого з експлуатації, з подальшим аналізом інтенсивності росту трієнгів.

Впровадження в електричні мережі середньої напруги кабелів із ЗПЕ-ізоляцією повинно проводитися з урахуванням властивостей і характеристик поліетиленової ізоляції. Для підвищення терміну служби кабелів із ЗПЕ-ізоляцією доцільно створити більш "м'які" умови експлуатації мережі, тобто максимально знизити, а за можливості виключити високочастотні впливи на ізоляцію при виникненні електромагнітних перехідних процесів, які супроводжують однофазні дугові замикання (ОДЗ) і комутації вакуумними вимикачами. До того ж розвитку трієнгів в ЗПЕ-ізоляції сприяє проникнення вологи через пошкодження зовнішньої оболонки кабелю, які виникають в результаті пору-

шень вимог до прокладання та монтажу КЛ. На жаль, такі випадки нерідко зустрічаються на практиці.

До найбільш ефективних засобів боротьби з високочастотними впливами на сучасну ЗПЕ-ізоляцію можна віднести зміну режиму експлуатації нейтральної точки мережі (резистивне або комбіноване заземлення нейтралі), встановлення RC-ланцюгів, безіндуктивних конденсаторів, фільтрів вищих гармонійних складових. Однак внаслідок індивідуальності кожного енергооб'єкту вибір цих засобів та їх параметрів повинен бути підкріплений відповідними комп'ютерними розрахунками з використанням математичних моделей досліджуваних процесів. Слід зазначити, що в мережах з навантаженням, що сприяє генерації широкого спектру гармонійних складових напруги, які впливають на ізоляцію силових кабелів, нерідко стандартна установка фільтрів гармонійних складових не забезпечує обмеження коливань з частотою порядку одиниць кілогерц, які можуть довго впливати на ЗПЕ-ізоляцію кабелів. У цьому випадку оцінку ефективності експлуатації вже встановлених фільтрів і необхідності в додаткових фільтрах можна виконувати шляхом проведення експериментальних вимірювань.

Досить спрощені оцінки показали, що для захисту від грозових і комутаційних перенапруг ізоляції екранів кабелів із ЗПЕ-ізоляцією ОПН бажано встановлювати як в незаземлених кінцях екрану (з боку набігаючих хвиль), так і в усіх місцях транспозиції.

Порівнюємо імпульсні перенапруги на ізоляції екранів однофазних кабелів в мережах 6-35 кВ і в мережах 110-500 кВ. При хвильових процесах в кабелі співвідношення u_2/u_1 слабо залежить від класу номінальної напруги кабелю. Оскільки із зростанням класу напруги зростають максимально можливі значення перенапруг на ізоляції жили кабелю u_1 , то слід чекати і зростання перенапруг на ізоляції екрану u_2 . Отже, перенапруги на ізоляції екранів кабелів 110-500 кВ будуть пропорційно вище в порівнянні з такими ж для ізоляції екранів кабелів 6-35 кВ. Товщина ізоляції екрану практично не змінюється зі збільшенням номінальної напруги кабелю. Випробування ізоляції екрану кабелів так само проводяться однією і тією ж постійною напругою 10 кВ незалежно від класу напруги 6-500 кВ. Враховуючи це, навіть не маючи даних про імпульсну міцність ізоляції екрану, можна зробити висновок про те, що міцність екранів майже однакова для кабелів незалежно від класу їх номінальної напруги 6-500 кВ. Отже, перенапруга u_2 на ізоляції екранів буде тим більше у порівнянні з імпульсною міцністю екранів, чим вище клас номінальної напруги кабелю. Іншими словами, якщо в мережах 6-10 кВ необхідність застосування ОПН для захисту ізоляції екранів може викликати сумніви, то в мережах 35-500 кВ є необхідною умовою нормальної роботи КЛ.

Висновки. Таким чином, проведений аналіз особливостей функціонування та виконання захисту КЛ від перенапруг дозволив зробити наступні висновки:

1. КЛ, приєднані до повітряної мережі, вимагають захисту від перенапруг з обох кінців;
2. застосування ОПН в суто кабельних мережах дозволяє істотно зменшити кількість групових аварій кабелів мережі;
3. при прокладанні кабелів із ЗПЕ-ізоляцією необхідно враховувати можливість існування в мережі високочастотних коливань і вживати заходи щодо їх обмеження;
4. необхідно рекомендувати виробникам кабелів із ЗПЕ-ізоляцією вказувати імпульсну міцність ізоляції екра-

ну такого кабелю для коректного вибору ОПН; 5. перенапруги на ізоляції екрану кабелю будуть тим вище, чим вище клас номінальної напруги кабелю.

Список використаних джерел

1. Халилов Ф. Х. Защита сетей 6-35 кВ от перенапряжений / Ф. Х. Халилов, Г. А. Едокунин, В. С. Поляков, Г. В. Подпоркин, А. И. Таджикибаев. – СПб.: Энергоатомиздат, 2002. – 260 с.
2. Дмитриев М. В. Применение ОПН в электрических сетях 6-750 кВ / М. В. Дмитриев. – СПб.: "Нива", 2007. – 57 с.
3. Иманов Г. М. Методика выбора нелинейных ограничителей, необходимых для защиты изоляции низкого, среднего, высокого и сверхвысокого напряжения трехфазного переменного тока / Г. М. Иманов, Ф. Х. Халилов, А. И. Таджикибаев. – СПб: изд. Петербургского энергетического института повышения квалификации руководящих работников и специалистов Минэнерго РФ, 2004. – 32 с.
4. Техніка і електрофізика високих напруг: навч. посібник / за ред. В. О. Бржезицького, В. М. Михайлова. – Харків: НТУ "ХП": Торнадо, 2005. - 930 с.
5. Правила устройства электроустановок. 3-е изд., перераб. и доп. – Х.: Изд-во "Форт", 2010. – 736 с.
6. СОУ-Н МЕН 40.1 Обмежувачі перенапруг нелінійні напругою 6-35 кВ. Настанова щодо вибору та застосування у розподільчих установках.
7. Обмежувачі перенапруг нелінійні напругою 6-35 кВ. Настанова щодо вибору та застосування у розподільчих установках. – Київ: Об'єднання енергетичних підприємств "Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики". – 2012. – 50 с.
8. Екимуків С. С. Особенности эксплуатации кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена / С. С. Екимуків, И. Ю. Цивилев // Наука и техника. – 2011. - № 2 (327). – С. 22-27.

Анотація

ЗАЩИТА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Шевченко С. Ю., Довгалюк О. Н., Пиротти А. Е., Ермоленко Б. Ф.

Проведен анализ особенностей функционирования и выполнения защиты кабельных линий от грозовых и внутренних перенапряжений в электрических сетях 6-35 кВ для обеспечения их надежной работы. Рассмотрены условия выбора и размещения ограничителей перенапряжения в кабельных сетях.

Abstract

SECURITY CABLE LINES OVERVOLTAGE

S. Shevchenko, O. Dovgalyuk, A. Pirotti, B. Ermolenko

The analysis of the functioning and protection of the cable lines from lightning and internal overvoltage in electrical networks 6-35 kV to ensure their safe operation. The conditions for the choice and placement of surge arresters in cable networks.