

РОЗВИТОК ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ З ЗАСТОСУВАННЯМ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ

¹Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Обґрунтовано доцільність застосування волоконно-оптичних кабелів при розвитку повітряних ліній електропередачі, що дозволить розширити функціональні можливості об'єкта за рахунок створення систем моніторингу параметрів ліній та автоматизованих систем диспетчерського керування.

Ключові слова: волоконно-оптичний кабель, волоконно-оптична лінія зв'язку, повітряна лінія, грозозахисний трос, фазне проведення.

Вступ

Практика експлуатації електричних мереж показала, що напрямки передачі електричної енергії, особливо на магістральних ділянках, збігаються з напрямками передачі інформації. Це зумовлює доцільність об'єднання повітряних ліній електропередачі (ПЛ) з лініями зв'язку (ЛЗ) у волоконно-оптичні лінії зв'язку на повітряних лініях електропередач (ВОЛЗ-ПЛ).

Виникнення технології створення ВОЛЗ-ПЛ почалося 90-х роках минулого сторіччя. Волоконно-оптичні кабелі (ВОК) і їхнє застосування у ВОЛЗ-ПЛ за останні роки розглянуто у багатьох наукових працях [1]—[6]. Різноманітні типи ВОК для ПЛ різної конструкції розроблені і випускаються багатьма закордонними і вітчизняними виробниками. Номенклатура і основні техніко-експлуатаційні характеристики ВОК відповідають прийнятим міжнародним стандартам [2].

Однак, не дивлячись на переваги ВОЛЗ-ПЛ, технічні вимоги щодо застосування ВОК усе ще не в повному обсязі використовуються під час проектування ліній електропередачі через складність, як процесу проектування так і будівництва.

Мета статті — обґрунтувати доцільність застосування волоконно-оптичних кабелів для розвитку повітряних ліній електропередачі, що дозволить розширити функціональні можливості об'єкта за рахунок створення систем моніторингу параметрів ліній та автоматизованих систем диспетчерського керування.

Результати дослідження

На сьогодні ВОК та діелектричний оптичний самонесучий кабель (ОКСН) є найпоширенішими у грозозахисному тросі (ОКГТ) і фазному проводі (ОКФП). Крім цього, в останні роки активно впроваджуються оптичні кабелі, що прикріплюються, та навивні кабелі (ОКП і ОКН) [3], [7]—[9].

Найбільше на сьогоднішній день застосовуються кабелі ОКСН, ОКГТ і ОКФП. ОКГТ або ОКФП переважно застосовуються під час проектування нових ПЛ, а ОКСН — в реконструкції існуючих ПЛ до 330 кВ. Така градація пояснюється специфікою монтажу й експлуатації ВОК, для реалізації якої в проектуванні необхідно виконувати додаткові дослідницькі роботи.

Так використання ОКСН є простішим способом розширення функціональних можливостей ПЛ, оскільки він не є її невід'ємною частиною й підвішується нижче фазних проводів без відключення напруги на лінії, та дозволяє операторам послуг зв'язку мати окремих від енергосистеми кабелів [2], [7].

Основні типові конструкції ОКСН можна розділити на три групи. Перша група — підвісні неметалічні оптичні кабелі зв'язку, силовими елементами яких є склопластикові стрижні. Друга група — підвісні неметалічні оптичні кабелі, силовими елементами яких є арамідні нитки. Третя група — підвісні неметалічні оптичні кабелі, силовими елементами яких є арамідні нитки й склопластик. Вони можуть бути як стрижнем, так і виконаним у вигляді центрального профільованого елемента.

Захист оптичного сердечника кабелю й армувальних елементів від вологи є актуальним завданням використання ОКСН тому, що під впливом електричного поля й вологи відбувається деградація поліетиленової оболонки кабелю. Тому, з огляду на це, ОКСН і рекомендовані для підвіски на

ПЛ до 330 кВ. За оцінками фахівців, з урахуванням вартості проектно-дослідницьких робіт, бюджет реконструкції ПЛ з підвіскою ОКСН більш ніж у два рази менший ніж із застосуванням ОКГТ або ОКФП [2]—[4], [6].

Таким чином, під час реконструкції ПЛ до 330 кВ тільки для розширення її функціональних можливостей доцільно застосовувати ОКСН, що дозволить створити автоматизовану систему диспетчерського керування, а також вирішувати завдання телефонізації сільських районів; регіонального телемовлення; інтернетизації промислових і сільських об'єктів, шкіл і населення та телемедицини й дистанційного навчання.

Ефективність експлуатації нових споруджуваних ПЛ або таких, що планово реконструюються, із застосуванням ОКГТ визначається сполученням в ОКГТ функцій, які дозволяють забезпечувати захист ПЛ від ударів блискавки; виконувати завдання звичайного грозозахисного троса, тобто відводити струми короткого замикання, що виникають через перенапруги на ПЛ; захищати оптичні волокна від зовнішніх впливів металевими повивами.

У зв'язку з цим, під час проектування ПЛ з ОКГТ варто вирішувати завдання забезпечення заданих оптичних параметрів в умовах підвищених температур, що виникають у кабелі у разі його нагрівання струмами короткого замикання під час ударів грозових розрядів і в умовах впливу навантажень від вітру, ожеледі або їхніх комбінацій, які визначаються кліматичним районом проходження траси ПЛ. Крім того, необхідно забезпечити високу механічну міцність ОКГТ.

ОКГТ розширює ті ж функціональні можливості ПЛ що й ОКСН, але найбільше він застосовується в енергосистемах. Так, близько 80 % нових споруджуваних і понад 40 % ліній, що реконструюються, мають у своїй конструкції ОКГТ [4].

Але, найперспективнішим для енергетики є застосування ОКФП, одне оптичне волокно якого використовується як розподілений сенсор системи моніторингу параметрів ПЛ у реальному часі. Вимоги на вибір ОКФП пов'язані зі специфікою будівництва й експлуатації об'єкта, а також строком його служби [6].

Розташування ВОК усередині одного з повивів фазних проводів ПЛ дозволяє проводити безперервний температурний моніторинг і контроль габаритів лінії в реальному часі. Оптичне волокно розподіленого сенсора ОКФП приєднується до вимірювального блока. Результати вимірювання фіксуються й обробляються спеціалізованим програмним забезпеченням, що контролює рівні потужності оптичних сигналів, автоматично підстроюючи їх під поточні умови вимірювань, і оптимізує, ґрунтуючись на необхідних характеристиках, заданих користувачем. Графічний інтерфейс системи дозволяє розбивати трасу на секції, кожна з яких відповідає певним характеристикам [6].

На відміну від ОКСН і ОКГТ ОКФП є не тільки каналом зв'язку, а й формує інтелектуальну електропередачу за рахунок додаткової передачі інформації про поточні параметри ПЛ, що дозволить запобігати перегріву проводів під час плавки ожеледі; регулювати й вчасно знижувати навантаження по ПЛ; оптимізувати надструми потужності; ефективніше керувати режимами роботи енергосистеми в реальному часі.

У період проектування ВОЛЗ-ПЛ необхідно враховувати, що незалежно від технічного рішення ОКСН, ОКГТ або ОКФП під час проходження сигналу по ВОК відбувається зниження рівня потужності сигналу, крім того, внаслідок дисперсії сигнал виходить спотвореним на прийомному кінці. Тому сигнал необхідно підсилювати або регенерувати в процесі передачі. За заданих параметрів регенераторів і кінцевих пристроїв максимальна довжина регенераційної ділянки визначається загасанням і дисперсією. Загасання обмежує відстань по втратах у лінійному тракті, а дисперсія, що призводить до розширення імпульсів, спричиняє виникнення кодових помилок на прийомі й зниженню якості переданої інформації.

Для визначення довжини регенераційної ділянки виконується два розрахунки [7], [9]:

1. Розрахунок довжини регенераційної ділянки за дисперсією

$$L \leq F_m \cdot \tau_{\text{рез}}, \quad (1)$$

де F_m — тактова частота системи передачі ($F_m = 8,448$ МГц); $\tau_{\text{рез}}$ — розширення імпульсів на відстані 1 км у результаті дисперсії.

2. Розрахунок довжини регенераційної ділянки за загасанням

$$L = \left(\Pi - 2a_{p.c.} - a_{n.c.} \right) / \left(\alpha + a_{n.c.} / L_{\text{б.д.}} \right), \quad (2)$$

де P — енергетичний потенціал системи передачі, дБ ($P = 40$ дБ); $a_{p.c.}$ — сумарні втрати, внесені рознімним оптичним з'єднувачем ($a_{p.c.} = 1,0$ дБ); $a_{н.с.}$ — втрати, внесені нерознімним оптичним з'єднувачем у місці з'єднання оптичних волокон у разі зрощування будівельних довжин лінійного кабелю ($a_{н.с.} = 0,3$ дБ); α — розраховане значення коефіцієнта загасання оптичного кабелю; $L_{б.д.}$ — будівельна довжина ВОК.

Довжина регенераційної ділянки вибирається за найменшим розрахунковим значенням, що відповідає довжині прольоту ПЛ. Такий розрахунок необхідний для проектування ВОЛЗ-ПЛ, оскільки підсилювачі сигналу монтуються на опорах ПЛ.

Для оцінки експлуатаційних характеристик ОКСН, ОКГТ і ОКФП у разі формування ВОЛЗ-ПЛ вимірюються такі параметри ВОК: максимальна й середня потужність немодульованого імпульсного лазерного випромінювання в певному перетині оптичного волокна; розширення імпульсу — зміна форми сигналу, викликана матеріальною дисперсією; коефіцієнт відбиття — відношення потужності відбитого сигналу, що поширюється в передавальній лінії у зворотному напрямку (від прийомного кінця до передавального), до потужності сигналу, що поширюється в прямому напрямку; втрати оптичної потужності — відношення потужностей переданого й прийнятого сигналів, зумовлене коефіцієнтом загасання оптичного волокна; відношення сигнал-шум — відношення потужностей корисного сигналу до сумарної потужності всіх шумів у каналі.

На сьогодні такі компанії як: Fujikura (Японія), Siemens (Німеччина), AT&T (США), Pirelli (Італія), Furukawa Electric CO LTD (Японія), — є лідерами у виробництві марок ВОК для ОКСН, ОКГТ і ОКФП і пропонують різні конструктивні й технологічні рішення для забезпечення зазначених параметрів.

Висновки

Застосування ВОК для розвитку ПЛ дозволить розширити функціональні можливості об'єкта за рахунок створення автоматизованих систем диспетчерського керування й систем моніторингу параметрів ліній. Але процедуру вибору ВОК для будівництва ВОЛЗ-ПЛ неможливо стандартизувати, тому проектним організаціям необхідно виконувати додаткові дослідницькі роботи, що враховують весь спектр технічної й економічної інформації з будівництва й експлуатації ПЛ з розширеними функціональними можливостями.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] W. Carter, «Mathematical model of dry-band arcing on self-supporting, all-dielectric, optical cable strung on overhead power lines», *IEEE Proceedings s-c*, vol. 139, no. 3, pp. 185-196, May. 1992.
- [2] *Конструкции, прокладка, соединение и защита оптических кабелей связи*. Женева: МСЭ, Т. Сектор стандартизации МСЭ, 1994, 161 с.
- [3] А. Б. Иванов, *Волоконная оптика. Компоненты, системы передачи*. Москва: комп. Syrus Systems, 1999, 672 с.
- [4] С. А. Дмитриев, и Н. Н. Слепов, *Сборник статей*. М., Россия: изд. Connect, 2000, 376 с.
- [5] А. А., Астраханцев, и Ю. В. Онищенко, «Оценка параметров качества передачи информации в волоконно-оптических системах передачи», *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, № 4/9 (46), с. 74-77, 2010.
- [6] П. Д. Лежнюк, Н. М. Черемисин, и В. В. Черкашина, «Волоконно-оптические технологии в мониторинге воздушных линий электропередачи», *Опτικο-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 2(30), с. 106-110, 2015.
- [7] И. И. Гроднев, А. Г. Мурадян, Р. М. Шарафутдинов и др., *Волоконно-оптические системы передачи и кабели: Справочник*. М., Россия: Радио и связь, 1993, 264 с.
- [8] О. И. Богданова, «Конструкция оптических кабелей», *Электрические станции*, № 2, с. 36-43, 1997.
- [9] В. Ю. Кузнев, и О. В. Креховая, *Кабели, провода и материалы для кабельной индустрии: Технический справочник*. М., Россия: Нефть и газ, 1999, 304 с.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 12.01.2018

Черкашина Вероніка Вікторівна — канд. техн. наук, доцент кафедри передачі електричної енергії, e-mail: cherk34@rambler.ru .

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

V. V. Cherkashyna¹**Development of Overhead Power Lines with the Use of Fiber-optic Cable**¹National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

The use of fiber optic cables in the development of air lines will expand the functionality of the object through the creation of automated dispatch control systems and systems monitoring parameters of the lines. But it follows that the procedure for choosing a fiber-optic cable for the construction of fiber-optic communication lines on the power lines cannot be standardized; therefore, the design organizations need to carry out additional research, taking into account the entire spectrum of technical and economic information on the construction and operation of air with expanded functionality.

The exploitation of electric networks has shown that the direction of transmission of electric energy, especially in main sections, coincides with the directions of information transmission. These circumstances contribute to the feasibility of combining power transmission lines with communication lines in fiber optic communication lines over power lines. It has shown that the direction of transmission of electric energy, especially in main sections, coincides with the directions of information transmission. These circumstances contribute to the feasibility of combining power transmission lines with communication lines in fiber optic communication lines over power lines.

During the design of fiber-optic communication lines over power lines it is necessary to take into account that, regardless of the technical solution of the dielectric optical self-supporting cable during the passage of the signal over the fiber optic cable, there is a decrease in the signal strength level, in addition, due to the dispersion the signal goes distorted at the receiving end.

The expediency of using fiber-optic cables in the development of overhead power transmission lines is substantiated in the article, which will allow expanding the functionality of the facility due to the creation of dispatch control systems and monitoring of line parameters.

Keywords: fiber-optic cable, fiber-optic communication lines, air line, lightning protection cable, phase conduct.

Cherkashyna Veronika V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Transmission of Electric Energy, e-mail: cherk34@rambler.ru

В. В. Черкашина¹**Развитие воздушных линий электропередачи с применением волоконно-оптических кабелей**¹Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Обоснована целесообразность применения волоконно-оптических кабелей для развития воздушных линий электропередачи, что позволит расширить функциональные возможности объекта за счет создания автоматизированных систем диспетчерского управления и систем мониторинга параметров линий.

Ключевые слова: волоконно-оптический кабель, волоконно-оптические линии связи, воздушная линия, грозозащитный трос, фазное проведение.

Черкашина Вероника Викторовна — канд. техн. наук, доцент кафедры передачи электрической энергии, e-mail: cherk34@rambler.ru