

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ ПЕРЕДАЧІ НА ОПТИЧНІ СИГНАЛИ У ВОЛЗ В СКЛАДІ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОВІДНИКІВ ЛЕП

Вінницький національний технічний університет

Анотація.

Розглянуто основні фактори і механізми впливу на оптичні сигнали у волоконно-оптичних каналах, які працюють в складі інформаційно-енергетичних провідників (бінарних провідників) в лініях електропередачі (ЛЕП). Описаний механізм впливу електричного поля на фази і фронти інформаційних сигналів у ВОЛЗ, які розповсюджують в складі ЛЕП високої напруги. Проаналізовані і описані інші фактори, такі як температурний вплив у оптичних лініях ВОЛЗ в складі ЛЕП.

Ключові слова: ВОЛЗ, ЛЕП, оптичний сигнал, волоконно-оптична лінія, інформаційно-енергетичні канали, мережі, мультиплексування, хвильове ущільнення (WDM), оптична потужність.

Abstract.

The main factors and mechanisms of influence on optical signals in fiber-optic channels that operate as part of information and energy lines conductors (binary conductors) in power transmission lines are considered. The mechanism of influence of the electric field and temperature on the phases and fronts of information signals in FOLS that propagate as part of high-voltage power lines is described. Other main factors, such as the temperature effect in optical lines of FOLS as part of power lines, are analyzed and described.

Keywords: FOLS, power lines, optical signal, fiber-optic line, information and energy channels, networks, multiplexing, wavelength division multiplexing (WDM), optical power.

Вступ

В наш час для задач комунікацій широко використовуються волоконно-оптичні лінії зв'язку, які працюють в складі ЛЕП (ліній електропередачі) [1, 2]. Такі лінії також відомі як бінарний провідник [3 - 6] або спеціальний кабель ЛЕП [2, 3], який являє собою волоконно-оптичні канали (ВОК), які зовнішньо обшиті металевим повивом струмонесучих провідників, як правило для високовольтної передачі електричної потужності) [1-5]. Також такі провідники можуть бути об'єднані та/або сумісно розміщені поблизу із ВОЛЗ, які закріплюється безпосередньо поряд і завдяки своїм діелектричним властивостям не впливає і не заважає розповсюдженню електроенергії у каналі ЛЕП. Такі спеціальні ВОЛЗ (інформаційно-енергетичні провідники) або ВОЛЗ-кабелі ЛЕП [3,4,5] широко використовуються для магістрального зв'язку та організації високошвидкісних каналів передачі інформації (10-200GE, Гбіт/сек) по провідникам регіональних і магістральних ЛЕП. Також, часто вони використовуються оптичні волоконні канали для захищеної передачі даних та іншої сервісної інформації в різних системах. Подібні технології були описані в багатьох наукових і практичних роботах, в т.ч. в наукових роботах видатного, але вже покійного вченого ВНТУ проф. Кожемяки В.П. [3-6] під назвою "бінарні провідники" для побудови геоінформаційно-енергетичних мереж і їх каналів.

Проблема полягає в тому, що завдяки гальванічної нейтральності середовища і відомим принципам розповсюдження і нейтральності світлового випромінювання до впливу різного роду полів (магнітних, електричних і т.п.) вважається, що здебільшого впливу на світлові сигнали у ВОЛЗ відсутній. Але через нелінійні ефекти і вторинний (не безпосередній) вплив через взаємодію на саме матеріальне оптичне середовище (на його показник заломлення n_0), цей вплив може проявлятися і в певній мірі змінювати самі світлові сигнали і їх властивості у ВОЛЗ. Це може впливати на якість і на основні параметри ВОЛЗ каналу: символну швидкість, якість та завади.

Метою роботи є дослідження та врахування впливу електричного поля та температури на оптичний сигнал в складі інформаційно-енергетичних каналів в ЛЕП, що дозволяє врахувати цей вплив і поліпшити основні параметрів каналу шляхом компенсації впливу.

Механізми впливу на оптичний сигнал при передачі у спеціалізованих ВОЛЗ

Оскільки оптоволоконні кабелі є діелектричними провідниками, на них фактично не впливає висока напружене електричне поле силової частини ЛЕП (із напругою 10-750кВ та із напруженістю $> 1000\text{В/см}^2$). Структуру каналів на основі бінарного провідника показано на рис.1.

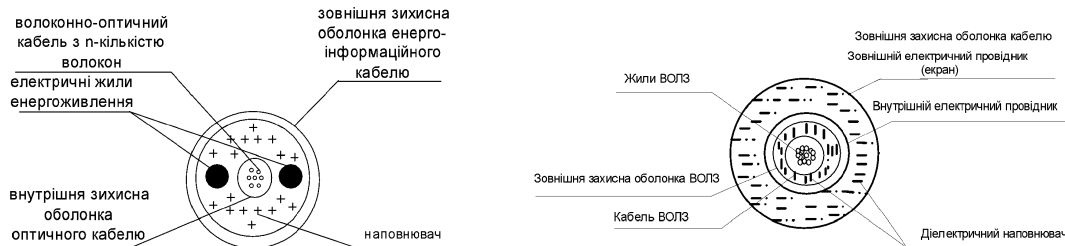


Рисунок 1 - Конструкції інформаційно-енергетичного бінарного провідника на базі ВОЛЗ

Канали на основі бінарних провідників (інформаційно-енергетичні канали) являють собою кабельну структуру (рис.1), до складу якої входять об'єднані під захисною оболонкою оптичні волокна. Не зважаючи на "інертність" і "гальванічну нейтральність" світлових потоків, все ж таки залишається відкритим і не до кінця дослідженим вплив електричного і магнітного полів на оптичний сигнал в інформаційних каналах ВОЛЗ.

Загальновідомі знання із теорії ВОЛЗ стверджують [3-5, 7, 9-10], що класичний вплив на оптичні показники світлового поля із боку інших електромагнітних взаємодій відсутні. Але відомо [6, 7, 10], що електричне поле зокрема може створювати вплив на оптичне середовище, що проявляється у нелінійній зміні його оптичних характеристик: зокрема показника заломлення n [7, 10]. В роботі показано, що як правило вплив нелінійності пов'язаний із Керівською нелінійністю [7, 10], що проявляється у зміні показника заломлення по узагальненому закону:

$$dn = n_0 + n_0 * f(I(E, t), n_{ef}, n_0, k_{n2}),$$

$$n_{core}(I) = n_{0core} + dn_{0core} = n_{0core} + n_2 n_{core}(I^2) = n_{0core} + n_2 n_{core} \left(\left[\frac{P_m(t)}{S_{ef}} \right]^2 \right), \quad (1)$$

де, dn - величина зміни показника заломлення; n_0 - початковий показник заломлення; $f(I(E, t), n_{ef}, n_0)$ - функція впливу на показник заломлення, що має природу Керівської нелінійності (по ефекту нелінійного впливу Кера) [7, 10]; $I(E, t)$ - показники інтенсивності електричного поля $E(t)$ в часовому прояві t ; n_{ef} - ефективний показник заломлення; k_{n2} - коефіцієнт Керівської нелін. [7, 10]; де n_2 - нелінійний показник заломлення (для ОВ на основі кварцу $n_2 = 2,2 - 3,6 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2/\text{Вт}$).

Окрім того спостерігається ще й зменшення ефективного діаметру зони світлового поля в поперечному перерізі серцевини ОВ, що займає світловий потік (область хвилі), враховуючи залежність деяких величин інтенсивності від напруженості ел.поля по закону Кера $E^2 = f(I)$:

$$n_{core}(I) = n_{0core} + dn_{0core} = n_{0core} + n_2 n_{core}(k_i E^2), \quad (2)$$

де, E - напруженість ел. поля; k_i - коефіцієнт узгодженості, який має кварритичний характер.

В роботі встановлено, що на оптичний інформаційний сигнал у спец. ВОЛЗ (зокрема в інформаційно-енергетичних каналах) можуть впливати декілька чинників, зокрема:

- напруженість електричного поля, викликаючи ефект Кера (КЕ) [7, 10] і ефект фазової крос-модуляції (ФКМ) [7, 10];

- температура середовища, тобто самого оптичного волокна (його серцевини), за рахунок впливу і нагрівання струмонесучих частин бінарних провідників ЛЕП;
- вплив звукових хвиль та вторинних явищ.

Останній чинник фактично є незначним і не потребує значного розгляду в силу малих значень впливів. Встановлено, що якщо оптичні волокна знаходяться в середині порожнини енергетичної комірки струмонесучої частини бінарного провідника, що є свого роду окремою формою клітки Фарадея із відсутніми електричними полями в її середині, то впливи із боку електричних полів - як правило відсутні. І такому випадку інформаційні канали ВОЛЗ будуть практично нейтральними до електричних впливів. Але є і бувають різні конструкції ВОЛЗ(наприклад, зіставні) із енергетичними провідниками, де наприклад, діелектрична ВОЛЗ розміщується не всередині металевої частини, а наприклад в прямому околі біля енергетичної струмонесучої частини. Також, ВОЛЗ/ВОК-канали самої волоконно-оптичної лінії можуть розміщуватися в діелектричні ізолювані оболонці поряд із (ане НЕ в середині) електричної струмонесучої частини. Тоді вплив із боку електричних каналів - можуть цілком проявлятися в ОВ.

Сама природа і характер впливу має характер Керовської нелінійності і має таку ж природу і принцип, які використовуються в оптичних (електро-оптичних) трансформаторах [11, 12], які часто використовуються як сенсори в електромережах на стороні ліній високої напруги [11].

Також встановлено, що вплив на оптичний сигнал у ВОЛЗ в складі ліній ЛЕП в складі бінарних провідників є - температурний вплив і група впливів, що пов'язана із ним. Для елементарної теплоти dP , що виникає у одному спеклі з інтенсивністю інтерференційного максимуму I_{max} виконується співвідношення :

$$dQ = \eta \cdot \tau_{i \rightarrow \text{opt}} \cdot I_{max} dP \quad (3)$$

При цьому теплота dQ , що утворюється буде пропорційна коефіцієнту поглинання матеріалу $\tau_{\text{погл}}$, елементарній тепловій (джоулевій) потужності dP , та η -коефіцієнту перетворення оптичного випромінювання в тепло. В повній роботі показано і досліджено термодинамічне рівняння, яке описує тепловий режим волокна в складі ВОЛЗ і дозволяє оцінити вплив температури T . При цьому буде відбуватись зміни показника заломлення, що пропорційні тепловому приросту: $dT/dt > k_i \cdot dn_{ef}/dt$, де k_i – коефіцієнт теплового розширення. Ці зміни зумовлюватимуть збільшення дисперсії волокна та оптичних втрат волокна згідно з загальною теорією волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Встановлено, що шляхами до стабілізації параметрів ОВ в складі ВОЛЗ бінарного провідника ЛЕП є :

- використання оптичного волокна із мінімальним відсотком оптичних втрат $\alpha \rightarrow \alpha_{\min}$ і більш стабільними параметрами ОВ - наприклад кварцового скла SiO_2 ;
- використання матеріалу серцевини ОВ з меншим коефіцієнтом теплопровідності C_{ncore} і заходи по рівномірному розподілу тепла і охолодженню оптичної частини ОВ;
- забезпечення імпульсного режиму роботи оптичних лазерних джерел в складі SFP-модулів активної апаратури ВОЛЗ із більш високими рівнями оптичної потужності (P_1);

Тому матеріал ОВ має вибиратись максимально чистим, з максимально можливою витривалістю по густині оптичної потужності (наприклад, кварцове скло SiO_2).

Висновки

В роботі розглянуто основні фактори фактори і механізми впливу на оптичні сигнали у волоконно-оптичних каналах, які працюють в складі інформаційно-енергетичних провідників (бінарних провідників) в лініях електропередачі(ЛЕП). В матеріалах досліджень наводяться впливи на основні інформаційні параметри у ВОЛЗ в складі ЛЕП, такі як: швидкість, фаза та рівні завад і проводилась робота над моделями впливу. Описаний механізм впливу електричного поля на фази і фронти інформаційних сигналів у ВОЛЗ, які розповсюджують в складі ЛЕП високої напруги.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стандарт СОУ НЕК 33.180.1-27:2023 Волоконно-оптичні лінії зв'язку по повітряних лініях електропередавання. Проектування та будівництво : [Електронний ресурс] / Протокол від 04.01.2023 № 01/2023. СОУ НЕК 33.180.1-27:2023//Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго» (ДП «НЕК «Укренерго») . - Режим доступу URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=103376
2. Оптичний зв'язок по лініях електропередач : [Електронний ресурс] / Матеріали електронної енциклопедії Wikipedia . - Режим доступу URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B7%D0%B2%27%D1%8F%D0%B7%D0%BE%D0%BA_%D0%BF%D0%BE_%D0%BB%D1%96%D0%BD%D1%96%D1%8F%D1%85_%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D1%87
3. Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система, як глобальний засіб гармонійного вирішення проблем розвитку цивілізації / В. П. Кожем'яко, С. С. Білан, О. В. Кожем'яко, А. В. Кожем'яко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2004. – № 2 (8). – С. 5-10.
4. Методи моделювання геоінформаційно-енергетичної системи тотального тестування і оптимального управління науково-освітніми і бібліотечними ресурсами / В. П. Кожем'яко, С. В. Дусанюк, Л. О. Волонтир // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2007. – № 1 (13). – С. 169-174.
5. Аналіз сучасного стану розвитку геоінформаційно-енергетичних технологій / В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2008. – № 1. – С. 86-99.
6. Аналітичний огляд та класифікаційний аналіз технологій сучасних об'єднаних інформаційних мереж на основі ліній передавання електроенергії / В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський, М. Г. Тарновський, Я. І. Ярославський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології . - Том 25. - № 1. - 2013. - с. 100–116.
7. Маліновський В.І. Волоконно-оптичні канали для об'єднаного передавання інформації та енергетичного живлення/ В.І. Маліновський, В.П. Кожем'яко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2010 – № 2(20). - с. 244–255.
8. Осадчук В.С. Волоконно-оптичні системи передачі : [Навчальний посібник] / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук. — Вінниця: ВНТУ, 2005. — 225 с.
9. Педяш В. Математичне моделювання волоконно-оптичної системи передавання ОТН з модуляцією по інтенсивності / Володимир ПЕДЯШ // Вісник Хмельницького національного університету. - Том 317. - № 1. - 2023. - С.162-166.
10. Agrawal G.P. Nonlinear Fiber Optics / New York: Academic Press. - 2013. - 631 p
11. Лобода О. І. Оптична система виміру струму в умовах лінії електропередач високої напруги : [Електронний ресурс] / О. І. Лобода // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. - Том 8 . - № 2. -2018. - С.2-11. - Режим доступу URL: <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/34>
12. Лещенко Д.А. Оптичні трансформатори струму : [Електронний ресурс] / Матеріали Презентації Лещенко Д.А. . Кузовкіної Т.А. - Режим доступу URL : <https://ru.scribd.com/presentation/665193515/%D0%9E%D0%9F%D0%A2%D0%98%D0%A7%D0%9D%D0%86-%D0%A2%D0%A0%D0%90%D0%9D%D0%A1%D0%A4%D0%9E%D0%A0%D0%9C%D0%90%D0%A2%D0%9E%D0%A0%D0%98-%D0%A1%D0%A2%D0%A0%D0%A3%D0%9C%D0%A3>

Маліновський Вадим Ігоревич — канд. техн. наук, доцент кафедри захисту інформації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

Malinovskyi Vadym Igorevich — PhD, associate professor, Department of Information Protection, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine.