

юстування положення трап-детектора щодо вхідного в нього (вимірюваного) оптичного променя. При попаданні вхідного оптичного променя в середину вхідної діафрагми трап-детектора, та суворій фіксації положення відбитого після проходження трап-детектора променя, можна домогтися істотного зменшення похибки вимірювань. Запропонована конструкція трап-детектора із змінним коефіцієнтом поглинання має два режими роботи - режим попереднього юстування (чотири внутрішніх відбиття вхідного променя) і режим вимірювань (сім внутрішніх відбиттів вхідного променя). Це дозволяє істотно підвищити точність вимірювань за рахунок зменшення похибок, спричинених неточним розміщенням трап-детектора відносно вимірюваного світлового променя. При цьому вхідна апертура трап-детектора в порівнянні з відомими конструкціями збільшується по площі більш ніж на 80%. Відбитий сигнал у режимі попереднього юстування не надсилається в лазерне джерело, що підвищує точність установки трап-детектора для проведення вимірювань. Така конструкція буде корисною при розробці високоточних засобів для прецизійних вимірювань фотометричних, радіометричних характеристик джерел і приймачів випромінювань.

#### Список використаних джерел

1. Palmer J.M. Alternative Configurations for Trap Detectors // Metrologia. - 1993. - №30. - P. 327-333.
2. Еталонний трап-детектор / Л. А. Назаренко, А. С. Литвиненко, Д. П. Зубков та ін. // Світлотехніка та електроенергетика. – Харків : ХНАМГ, 2011. – № 2. – С. 34–38.

УДК 681.785.57

### ЗАСТОСУВАННЯ СВІТЛОДІОДІВ ДЛЯ РЕФЛЕКТОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОЇ ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ

**Лукін Костянтин Олександрович,**  
доктор фізико-математичних наук, професор,

**Татьянко Дмитро Миколайович,**  
кандидат фізико-математичних наук,

**Земляний Олег Васильович,**  
кандидат фізико-математичних наук

Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України

*E-mail: tatyanko@ukr.net*

Вступ.

Оптична рефлектометрія є невід'ємним метрологічним інструментом для обслуговування волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ).

Сучасні оптичні рефлектометри – це прилади, які дозволяють вимірювати основні параметри ВОЛЗ, визначати довжину оптичних ліній, відстань до неоднорідностей оптичного волокна (зварювань, точок з'єднань і т.і.), зворотні втрати, а також візуалізувати ушкодження оптоволоконна тощо [1, 2].

Принцип роботи оптичних рефлектометрів заснований на аналізі затримки часу зворотного розсіювання оптичних імпульсів, що випромінюються імпульсним лазером рефлектометра в оптичне волокно та відбиваються від його неоднорідностей (з'єднань, точок зварювання тощо).

Недоліком таких рефлектометрів є наявність так званої «мертвої зони» – ділянки оптичного волокна, на якій рефлектометр не може вимірювати тому, що потужність зондуючого імпульсу перевищує потужність сигналу, що вимірюється. Величина мертвої зони пропорційна довжині зондуючого імпульсу.

В якості альтернативи методу імпульсного зондування, що реалізовано в імпульсних рефлектометрах, пропонується рефлектометрія, що основана на методі спектральної інтерферометрії.

Метод спектральної інтерферометрії полягає у формуванні канавчастого спектру випромінювання за умови, що різниця плечей інтерферометра перевищує довжину когерентності джерела випромінювання. При цьому період повторення максимумів та мінімумів в результуючому спектрі обернено пропорційний відстані, що вимірюється.

Завдяки тому, що для реалізації методу спектральної інтерферометрії застосовується безперервне випромінювання, у приладів на базі цього методу відсутні «мертві зони».

Зазвичай в приладах на основі цього методу застосовують суперлюмінесцентні діоди, які є доволі коштовними пристроями. В якості широкосмугового джерела світла нами запропоновано застосувати над'яскраві світлодіоди (LED) [3].

Як правило, низько-когерентна техніка використовується для вимірювань із субміліметровою роздільною здатністю з дуже високою чутливістю, але тільки в межах обмеженого діапазону відстаней [4]. Для вимірювання великих відстаней, пропонується здійснювати модуляцію випромінювання напівпровідникових джерел світла, таких, як світлодіоди, шумовим сигналом.

Експериментальні дослідження.

Для реалізації методу спектральної інтерферометрії було досліджено різні типи широкосмугових джерел випромінювання. Зокрема проведено дослідження таких світлодіодів, як TLRH190P фірми Toshiba, OSHR5111P фірми OptoSupply та інфрачервоних світлодіодів EDEI-1LS3 фірми Edison Opto Corporation [3].

Методом спектральної інтерферометрії отримані канавчасті структури спектрів оптичних джерел, що розглядаються, на виході інтерферометрів (Майкельсона та Фабрі-Перо). При цьому різниця плечей інтерферометрів перевищувала довжину когерентності джерел випромінювання. Приклад канавчастого спектру світлодіода Toshiba TLRH190P, що утворився в результаті інтерференції в спектральній області наведено на рис. 1б. На рисунку 1а наведено початковий спектр світлодіода.

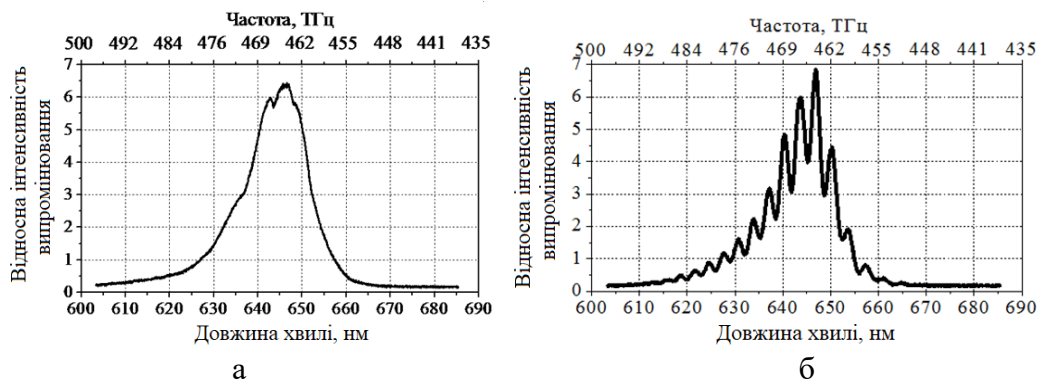


Рисунок 1 – а) спектр випромінювання світлодіода Toshiba TLRH190P; б) спектр випромінювання на виході інтерферометра Майкельсона з різницею плечей, що перевищує довжину когерентності джерела випромінювання

Такий підхід дозволив вимірювати мікрометричні відстані з похибкою в сотні нанометрів. Для вимірювання великих відстаней пропонується модулювати випромінювання широкосмугових джерел оптичного випромінювання, таких як світлодіоди, шумовим сигналом радіо діапазону і далі отримувати рефлекторами методом спектральної інтерферометрії, або оцінюванням крос-кореляційної функції.

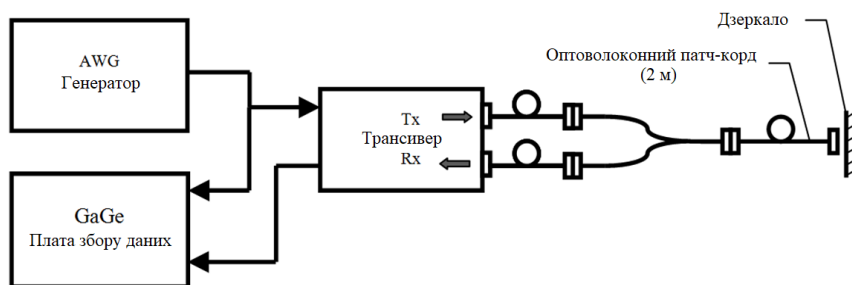
Для оцінки можливості таких вимірювань в роботі було застосовано метод оцінювання крос-кореляції для визначення довжини оптичного волокна. Експериментально реалізовано кореляційний оптичний рефлектометр, що складається з генератора сигналів довільної форми AWG, плати АЦП GaGe Acquisition, оптичного трансивера HFBR-5911LZ/ALF (рис. 2).

З генератора AWG модулюючий шумовий сигнал надсилається до трансивера та до одного каналу плати збору та обробки даних GaGe в якості опорного. Далі цей сигнал надсилається на вхід джерела трансивера та модулює випромінювання на його виході. Модульований оптичний сигнал далі надсилається у волоконно-оптичний розгалужувач. Потім сигнал частково відбивається від з'єднань оптичної системи та кінця волокна назад до розгалужувача і поширюється вздовж другого плеча розгалужувача до фотодетектора трансивера. З виходу фотодетектора трансивера сигнал надсилається на другий канал плати збору та обробки даних GaGe, і далі отримується кореляційна функція вхідних сигналів.

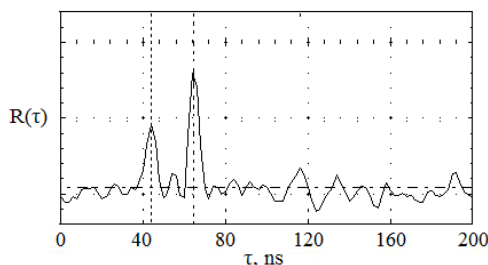
На рис. 2а наведено схему експериментальної установки з вимірювання довжини оптичного волокна, в якій до розгалужувача приєднали 2-метровий оптоволоконний патч-корд.

На рис. 2б представлена кореляційна функція сигналів у розглянутій схемі, яка є рефлектограмою волоконно-оптичної лінії. На кореляційній функції видно два піки, що відповідають відбиттю від з'єднань оптичного волокна. Знаючи показник заломлення оптичного волокна, що застосовується, можна визначити його довжину.

Таким чином, ми маємо експериментально отриману рефлектограму волоконно-оптичної лінії, на якій видно ділянку оптичного волокна довжиною 2 м.



а)



б)

Рисунок 2 – Блок-схема оптичного рефлектометра з кореляційною обробкою з 2-метровим патч-кордом (оптоволоконно) (а) та кореляційна функція, яка отримана за його допомогою (б)

### Висновки.

В роботі описано результати досліджень в області вимірювання відстані методом спектральної інтерферометрії та перенесення спектру з оптичного діапазону в радіодіапазон. Було представлено модель нового шумового рефлектометра, заснованого на застосуванні над'яскравих світлодіодів.

Експериментальні дані показують можливість отримання рефлектограм оптичного волокна методами, що були застосовані. Роздільна здатність рефлектограм визначається роздільною здатністю вимірювального обладнання. Запропонований рефлектометр також дозволяє уникати «мертвих зон», оскільки він не використовує імпульси для вимірювання.

Таким чином були отримані рефлектограми на основі крос-кореляції та напрацьовані механізми для отримання рефлектограм оптичних волокон методом спектральної інтерферометрії.

### Список використаних джерел

1. Listvin A.V. Reflectometry of optical fibers / A.V. Listvin, V.N. Listvin. – М .: LESARart, 2005. – 208 p.
2. Мачехин Ю.П. Оптичні вимірювання у волоконно-оптичних системах передачі інформації. Принципи та завдання розробки. / Ю. П. Мачехин, Е. П. Тимофєєв, А. І. Расчектаєва, Д. Н. Татьянко // Світлотехніка та електроенергетика. - 2008. - № 2. - С. 45-52.
3. К.А. Lukin. Nano-distance measurements using spectral interferometry based on light-emitting diodes. / К.А. Lukin, М.В. Danailow, Yu.Р. Machehkin, and D.N. Tatyanko // Applied radio electronics. – 2013. – V. 12, № 1. – P. 166-171.
4. К. А. Лукін, Д. Н. Татьянко, А. Б. Пих, О. В. Земляний. Вимірювання товщини оптично прозорих шаруватих структур методом спектральної інтерферометрії // Радіофізика та електроніка. – 2017, Т 8(22), № 1. – СС. 77-85.
5. К. А. Lukin, D. N. Tatyanko, O. V. Zemlyaniy, A. B. Pikh. Noise waveform reflectometer based on LED and spectral interferometry technique // Proc. of the Signal Processing Symposium (SPSymposium), Jachranka Village, Poland, Sept. 12-14, 2017, pp. 254-259.

UDC 628.98

### DESIGN OF LIGHTING INSTALLATION IN CONDITIONS OF CIRCULAR ECONOMY

**Liashenko Olena Mykolayivna,**

candidate of technical sciences, associate professor

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

*Email: olenalyashenko@kname.edu.ua*

According to integrating processes to Europe Union and necessary of meeting its requirements and standards the crucial role plays taking into account of contemporary demands of circular economy while developing new lighting installations or its elements. The conception of circular economy is being provided in EU legislation consists of such basic phases as refuse, reform, reduce, reuse and final destination with minimum waste. When learning the phases in details it should be considered the processes: recycling end-of-life treatment, design, production and re-transformation, transportation and distribution, consumption, use, reuse and repair and collection.

The Europe Union strategy of waste operating provides the hierarchy with such phases: waste prevention, preparation for reuse, recycling, other recovery operations (including recovery with energy generation), disposal.

Among main legislative documents for regulation of the implementation of the circular economy action plan can be selected:

- Ecodesign Directive - for the waste of electric and electronic equipment;
- EU Strategy for sustainable textiles;
- EU Strategy for plastic and prohibition of disposable plastic products;
- Revision of the packaging directive (packaging has to be recyclable, reusable and recoverable).

At the same time, solid-state lighting technologies are the most efficient and applicable in the development of smart lighting systems for buildings and streets or urban area.

The one of main contemporary ecological problems that can be paid attention when developing some lighting device or system is utilization of destroyed or outdated equipment. LED luminaires contains a plastic diffuser that could be harmful if it has low quality material. Another valuable problems concerned wasting of destroyed lighting devices should meet requirements of utilizing electric and electronic equipment and sustainable textiles, for instance, textile lighting panels.