

УДК 623.004.67

Д.А. Ровненко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ІНФОРМАЦІЙНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ НА БАЗІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ДАТЧИКІВ

В статті проаналізовані волоконно-оптичні датчики (ВОД), що використовуються в інформаційних вимірювальних системах (ІВС), які забезпечують більш ефективну передачу інформації про стан об'єкта в порівнянні з традиційними системами збору і перетворення інформації в умовах впливу сильних електромагнітних завад і підвищеної вибухонебезпеки. Принцип дії волоконно-оптичних датчиків розглянуто на прикладі ВОД на основі інтерференції та мініатюрних ВОД температури.

Ключові слова: волокно; оптика; датчик.

Вступ

Постановка задачі. Широке поширення мають інформаційні системи, що забезпечує повністю з'єднання між крайовими пристроями для підтримки широкого спектру інформаційних послуг, що значно підвищило ефективність вимірювально-інформаційних систем різноманітних галузей промисловості народного господарства України. Питання, які присвячені застосуванню інформаційних вимірювальних систем актуальним для народного господарства України.

Аналіз літератури В літературі [1 – 4] визначаються перспективи розвитку приладобудування [1], принцип дії інформаційних вимірювальних систем на основі різноманітних ВОД [2, 3] та аналіз мініатюрних ВОД температури [4], але в цій літературі не визначається питання, пов'язані з дослідженням створення інформаційних систем.

Метою статті є розгляд застосування волоконно-оптичних ІВС при рішенні задач вимірювання і контролю в різноманітних системах і на різноманітних об'єктах.

Основний матеріал

В світі ведуться інтенсивні розробки в області створення ВОІВС, забезпечуючи більш ефективну передачу інформації про стан об'єкта в порівнянні з традиційними системами збору і перетворення інформації в умовах впливу сильних електромагнітних завад і підвищеної вибухонебезпеки.

Волоконно-оптичні ІВС відрізняються використанням в якості фізичного середовища волоконно-оптичних кабелів (ВОК), чим досягаються: відсутність впливу на результат вимірювання електромагнітних полів; відсутність побічних електромагнітних випромінювань; відсутність перехресних завад каналів; відсутність проблем, зв'язаних з контурами заземлення і з напругами зміщення в місцях з'єднання різнорідних провідників; значно менша електрична небезпека і відсутність проблеми дуго-

утворення і іскрення; висока стійкість к шкідливому впливу середовища; більш тонкий, більш легкий (в 2 рази) і більш щільний, ніж електричний, багатожильний кабель; простота мультиплексації сигналів; висока швидкість передачі даних. Перелічені переваги ВОІВС особливо важливі в випадку їх використання при моніторингу будівельних конструкцій різноманітного призначення.

Створення і введення на вітчизняних об'єктах ВОІВС розуміють як розробку визначеної компонентної бази і, в першу чергу, волоконно-оптичні датчики (ВОД) різноманітних фізичних величин. Для систем будівельного моніторингу необхідні ВОД деформації, сили, тиску, переміщення, температури і ін.

Волоконно-оптичні датчики можуть використовуватися в вибухонебезпечному середовищі в'язку з їх високою вибухонебезпекою; мають високу механічну щільність, малі габарити, просту конструкцію, високу надійність; хімічно інертні; виготовлюються із діелектричних матеріалів, чим забезпечується відсутність шляхів проходження через них електричного струму; мають високу стійкість до високих температур, механічним ударам, вібраціям і другим впливам навколишнього середовища; дозволяють проводити безконтактні і дистанційні вимірювання.[1]

Найпоширеніших ВОД температури в цей час є датчики амплітудного типу, у яких модуляція прохідного (або відбитого) світла при зміні температури здійснюється за рахунок залежності поглинання або відбиття середовища (кристали, спеціальні волокна й т.д.) від температури. При створенні таких ВОД найчастіше використовується ефект зрушення краю зони власного поглинання в напівпровідниках від температури.

Зрушення краю зони власного поглинання в напівпровідниках обумовлений температурною залежністю ширини забороненої зони матеріалу від температури. Існує цілий ряд напівпровідникових матеріалів, наприклад, арсенід галію (GaAs), фосфід індію (InP), кремнію (Si) і т.д., край зони власного

поглинання яких перебуває в спектральній області прозорості кварцових волоконних світловодів у діапазоні довжин хвиль $\lambda=(0,6-1,6)\mu\text{м}$. Температурні зміни ширини забороненої зони ε_g характеризуються коефіцієнтом $\chi=d\varepsilon_g/dT$, де T – температура в градусах Цельсія; ε_g – ширина забороненої зони напівпровідника. Довжина хвилі λ_g пов'язана із шириною забороненої зони співвідношенням $\lambda_g = hc/\varepsilon_g$, где $h=6,63\cdot 10^{-34}$ Дж \cdot с – постійна Планка; $c=3\cdot 10^8$ м/с швидкість світла у вакуумі.

Для перерахованих вище напівпровідників значення χ лежать у межах від $(-2,4$ до $-5)10^{-4}$ $\text{эВ}^0/\text{К}$. Тоді коефіцієнт температурного зрушення краю зони власного поглинання складає:

$$k = \frac{d\lambda_g}{dT} = -\frac{hc}{\varepsilon_g^2} \cdot \frac{d\varepsilon_g}{dT} \cong 0,1 \div 0,4 \text{ нм}/^\circ\text{N}.$$

Сучасними методами спектрального аналізу досить легко одержати дозвіл $\delta\lambda \cong 0,01$ нм і навіть більше цього. У цьому випадку гранична чутливість ВОД по температурі складе величину:

$$\delta T_m \cong \frac{\delta\lambda_p}{k} \cong 0,1^\circ\text{C}.$$

Перші ВОД температури такого типу були створені на основі напівпровідникових з'єднань GaAs й CdTe. Чутливий елемент датчика представляє із себе пластину напівпровідника, затиснуту між двома світловодами: входним, по якому надходить світло від джерела випромінювання, і вихідним, з'єднаним іншим кінцем з фотоприймачем. Датчик працює на довжині хвилі $\lambda=0,88\pm 0,15\mu\text{м}$. Діапазон робочих температур датчика становив від -100°C до $+3000^\circ\text{C}$, погрішність вимірів не більше $\pm 0,50^\circ\text{C}$ и швидкодія не гірше 2 сек.

ВОД даного типу знайшли застосування в енергетику (контроль температури масла в трансформаторах, контроль температури в лініях електропередач), а також у ряді інших галузей промисловості. Головними достоїнствами датчика були: пасивність, нечутливість до електромагнітних полів, дистанційність і перешкодозахищеність каналу передачі, простота виготовлення, мала вага й габарити. Як показали дослідження, область застосування таких датчиків у багато разів розширяється, якщо погрішність вимірів складе не більше $\pm 0,20^\circ\text{C}$ у діапазоні температур від -100 до $+3500^\circ\text{C}$. Чутливий елемент являє собою відрізок світловоду з напівпровідникового матеріалу, виконаний у вигляді призми, розташованої на кремнієвій підкладці. Оптичне узгодження чутливого елемента зі світловодами здійснюється за допомогою канавок, виготовлених на цій же підкладці, у якому укладаються й закріплюються світловоди. Принцип роботи датчика заснований на температурному зсуві інтерференційних смуг в інтерфе-

рометрі Фабри-Перо, утвореним гранями призми. Перевагами таких ВОД є висока чутливість і стабільність характеристик. Однак він має обмежений динамічний діапазон, вимагає застосування досить складних пристроїв обробки інформації й має більші розміри й інерційність у порівнянні з попередніми конструкціями [2].

Розглянемо датчики на основі інтерференції. Явище інтерференції світла лежить в основі багатьох високоточних вимірювальних систем і датчиків переміщення. Використання оптичних волокон дозволяє зробити такі пристрої надзвичайно компактними й економічними. Відомі дві основні схеми волоконно-оптичних інтерферометрів: Маха-Цендера й Фабри-Перо. У волоконно-оптичному інтерферометрі Фабри-Перо інтерференція відбувається на частково, що відбиває відколі, волокна й зовнішньому відбивачі. Розмір чутливого елемента датчика переміщення, заснованого на цьому принципі, зрівноважено з діаметром волоконного світлопроводу, тобто близько 0,1 мм, а його чутливість може досягати часток ангстрема. При цьому сам чутливий елемент завадостійкий до зовнішніх електромагнітних наведень [4].

Розглянемо принцип дії торцевого волоконно-оптичного інтерферометра Фабри-Перо (рис. 1).

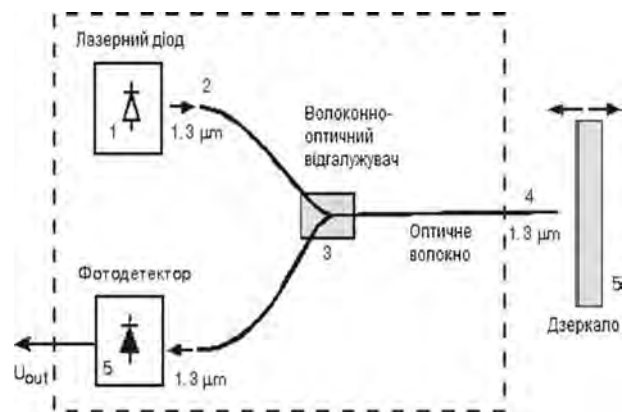


Рис. 1. Принцип дії торцевого волоконно-оптичного інтерферометра Фабри-Перо

Випромінювання лазерного діода 1 уводиться у волоконний світлопровід 2 і через відгалужувач 3 передається на волокно 4. При цьому частина випромінювання відбивається від торця волоконного світлопроводу 4, а інша його частина висвічується в повітря, відбивається від дзеркала 5 і повертається назад у волоконний світлопровід 4. Промінь, відбитий від торця волоконного світлопроводу, інтерферує із променем, відбитим від дзеркала, і на фотоприймачі 5 реєструється інтенсивність вивчення, що змінюється періодично залежно від відстані x_0 між торцем світлопроводу й дзеркалом:

$$I = 2I_0 \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} x_0 + \phi_0 \right) \right).$$

При цьому зсув дзеркала на половину довжини хвилі світла змінює різницю фаз, що інтерферують променів на 2π , що відповідає одному періоду варіації інтенсивності випромінювання на фотоприймачі.

З іншої сторони ніяке реальне джерело оптичного випромінювання не є ідеально монохроматичним, а отже він має обмежену довжину когерентності. На малюнку наведений типовий спектр напівпровідникового лазерного діода, використовуваного у волоконно-оптичному інтерферометрі. Зі спектрограми видно, що у випромінюванні лазерного діода присутні чотири моди, а сумарна ширина спектральної лінії дорівнює приблизно 3 нм. Довжина когерентності l_c пов'язана із шириною спектра Δl у такий спосіб:

$$l_c = l^2 / \Delta l.$$

З урахуванням цієї формули одержуємо, що довжина когерентності джерела зі спектром, наведеним вище, становить приблизно 570 мкм.

Із шириною спектра випромінювання (і довжиною когерентності l_c) пов'язана контрастність інтерференційної картини. [3]

Висновок

Проведений аналіз сучасних інформаційних вимірювальних систем на основі волоконно-оптичних датчиків. Розроблений алгоритм для отримання щонайвищих якісних показників приладу дозволяє:

- ширококутова (передбачається до декількох десятків терагерц);
- малі втрати (мінімальні 0,154 дБ/км);
- малий (близько 125 мкм) діаметр;
- мала (приблизно 30 г/км) маса;
- еластичність (мінімальний радіус вигину 2 ММ);

- механічна міцність (витримує навантаження на розрив приблизно 7 кг);

- відсутність взаємної інтерференції (перехресних перешкод типу відомих в телефонії "перехідних розмов");

- безіндукційність (практично відсутній вплив електромагнітної індукції, а отже, і негативні явища, пов'язані з грозовими розрядами, близькістю до лінії електропередачі, імпульсами струму в силовій мережі);

- вибухобезпечність (гарантується абсолютною нездатністю волокна бути причиною іскри);

- висока електроізоляційна міцність (наприклад, волокно завдовжки 20 см витримує напругу до 10000 В);

- висока корозійна стійкість, особливо до хімічних розчинників, масел, води.

Список літератури

1. Kashyap R. *Fiber Bragg Gratings*.—Academic Press, 1999.

2. Мурашкіна Т. И., Волчихин В. И. Амплитудные волоконно-оптические датчики автономных систем управления: моногр. / Т.И. Мурашкіна, В.И. Волчихин. – Пенза: ПГУ, 1999. – 188 с.

3. Волоконно-оптические датчики: пер. с японского / Т. Окоси, К. Окомато, М. Оцу и др. –Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 254 с.

4. Теоретические основы проектирования амплитудных волоконно-оптических датчиков давления с открытым оптическим каналом: моногр. / Е.А. Бадеева, А.В. Горши, А.Н. Котов и др. – М.: МГУЛ, 2004. – 246 с.

Надійшла до редколегії 20.05.2010

Рецензент: канд. техн. наук, доц. В.В. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Д.А. Ровненко

В статье проанализированные волоконно-оптические датчики (ВОД), которые используются у информационных измерительных систем (ИВС), которые обеспечивают более эффективную передачу информации о состоянии объекта по сравнению с традиционными системами сбора и преобразования информации в условиях влияния сильных электромагнитных помех и повышенной взрывоопасности. Принцип действия волоконно-оптических датчиков рассмотрен на примере ВОД на основе интерференции и миниатюрных ВОД температуры.

Ключевые слова: волокно; оптика; датчик.

INFORMATIVE MEASURING SYSTEMS ARE ON BASE OF FIBER-OPTIC SENSORS

D.A. Rovenko

In the articles analysed fiber-optic sensors (FOS), which are used at the informative measuring systems (IMS) which provide more effective state information transfer object as compared to the traditional systems of collection and transformation of information in the conditions of influence of strong electronic magnetic hindrances and increased explosion-hazard. Principle of action of fiber-optic sensors is considered on the example of FOS on the basis of interference and miniature FOS of temperature.

Keywords: a fibre; optics; the gage.