

ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА В МЕДИЦИНІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація Проведено огляд сучасного стану розвитку волоконно-оптичних сенсорів, які домінують серед інших волоконно-оптичних пристроїв, завдяки високій чутливості й можливості прецизійного вимірювання. Особливу увагу приділено сенсорам для здійснення інвазивного і малоінвазивного дослідження біотканин. Розглянуті переваги використання оптичного волокна саме у біомедичних сенсорах.

Ключові слова: оптичне волокно, датчик, передача інформації, ендоскоп, діагностика

Abstract In this paper, reviewed a large amount of literature on the current state of development of optical fiber sensors which dominate among the other fiber optic devices. Due to its high sensitivity and possibility of the precision measurement. A special attention is paid to the sensors for invasive and minimally invasive study of biological tissues. Discussed of the advantages of using optical fibers is in biomedical sensors.

Keywords: optical fiber sensor, information transfer, endoscope, diagnostics

Вступ

Оптичне волокно на сьогоднішній день вважається найдосконалішим фізичним середовищем для передачі інформації, особливо великих її потоків на значні відстані. У сучасних телекомунікаційних системах інформація передається у вигляді послідовностей двійкових послань, або бітів [1].

Вважається, що ВОЛЗ, в силу особливостей поширення електромагнітної енергії в оптичному волокні (ОВ), мають підвищену перехованість. Це пояснюється тим, що оптичне випромінювання, що є носієм інформації, поширюється в ОВ згідно закону повного внутрішнього відображення, а в ОВ електромагнітне випромінювання експоненціально спадає. Ділянки, де можливий витік електромагнітного випромінювання і вилучення інформації внаслідок несанкціонованого доступу (НД), відносно нечисленні, «класичними» радіотехнічними методами (приймально-передавальна апаратура, регенераційні пункти) вони можуть бути визначені і локалізовані. Тому ці ділянки порівняно легко можна контролювати. Конфідентність переданої по ВОЛЗ інформації може бути забезпечена застосуванням спеціальних методів і засобів захисту лінійного тракту від НД. До основних переваг застосування захищених ВОЛЗ відносяться: незалежність від структури цифрових сигналів, що передаються; незалежність від швидкості передачі цифрових сигналів; універсальність застосування в локальних, абонентських або зонових мережах зв'язку. Але втрата фотонів на мікрозгинах й макрозгинах можуть бути використані з метою НД.

Інформаційно-вимірювальні системи на основі ВОЛЗ

Інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) є невід'ємною частиною сучасної науки і техніки. На сьогодні, у зв'язку з комплексним ускладненням існуючих і розробкою якісно нових технологічних процесів в промисловості, посилюються вимоги, що пред'являються до експлуатаційно-технічних характеристик датчиків. Одним з найбільш перспективних і ефективних способів вирішення питання задоволення зростаючих вимог є перехід від класичних електронних вимірювальних технологій до волоконно-оптичних датчиків й ІВС на їх основі. Найважливішим з елементів вимірювальних систем є чутливі елементи, тобто датчики вимірюваних величин. Інформаційно-вимірювальні системи повинні органічно поєднувати канали передачі інформації з чутливими елементами, тому переважно отримувати в чутливих елементах сигнали тієї ж природи, що використовуються в каналі передачі. Для волоконно-оптичних систем, таким чином, бажано мати чутливі елементи оптичного типу. Тому появу волоконно-оптичних датчиків (ВОД) можна вважати закономірним кроком в розвитку сучасної науки і техніки [2].

Оптичне волокно широко використовується в медичній сфері діагностики та лікування. Оскільки ОВ можуть бути дуже тонкими і можуть бути звиті в гнучкі нитки, вони можуть бути використані для досліджень кровоносних судин, легенів та інших ділянок тіла людини. Оптичні волокна дозволяють медикам проводити візуальний аналіз і лікування різних захворювань через крихітні надрізи за допомогою інструменту під назвою ендоскоп (де один пучок оптичних волокон використовується для проектування світла на ділянки тканини, а другий передає відбите світло від тканин, й дозволяє тим самим отримати чітке зображення на екрані монітору.

Слід зауважити, що діагностичні та лікувальні можливості в різних сферах медицини значно розширилися при впровадженні в клінічну практику ендоскопічних методів дослідження [3, 4]. Ендоскопи – це універсальні прилади, призначені для візуальної діагностики важкодоступних зон та областей [5] (вони знайшли широке використання не лише в медицині). Кожен з них використовуються для вивчення конкретної області людського тіла [6]. Ще один метод досліджень, при якому використовуються оптичні волокна, що одержав широке поширення для лікування різних захворювань, є артроскопія. При цьому методі використовується прилад під назвою артроскоп. Цей інструмент являє собою прямий циліндр з серією лінз і оптичних призм, які вводять в розріз шириною від двох до п'яти міліметрів, безпосередньо в суглоб. Артроскоп використовується для діагностики стану суглобових з'єднань організму, де ОВ можуть бути використані для вимірювання температури та інших біологічних параметрів, а також при виконанні хірургічних операцій. Крім того, ОВ широко й успішно використовуються для дослідження і лікування серцево-судинної системи, а також для прямого інтенсивного лазерного опромінювання рани [7] для зупинки кровотечі або спалення аномальних тканин.

У волоконно-оптичних датчиках оптичне волокно може бути застосоване просто як канал передачі інформації, а може відігравати роль чутливого елемента датчика. В останньому випадку використовуються чутливість волокна до електричного поля (ефект Керра), магнітного поля (ефект Фарадея), до вібрації, температури, тиску, деформації (наприклад, до вигину) [1]. Багато з цих ефектів в оптичних системах зв'язку оцінюються як недоліки, але у датчиках їх наявність є скоріше перевагою, яку варто використовувати. Оптичне волокно застосовується в системах колориметрії, зокрема в датчиках кольору [8].

В той же час, останні досягнення в мінімально інвазивній хірургії потребують менших розмірів катетерів й одноразових зондів. Ендоскопічні прилади добре відомі, але внутрішні фізичні характеристики оптичних волокон, надають їм неймовірну привабливість для біомедичного зондування. Некаліброване волокно (зазвичай діаметр менше 250 мкм) може бути вбудоване безпосередньо до підшкірних голок й катетерів, так що їх використання може бути як мінімально інвазивним, так і сильно локалізованим. Волокно-оптичні датчики, виконані таким чином, можуть виконувати багатоточкове й багатопараметричне дистанційне зондування. Оптичні волокна нейтральні до електромагнітних перешкод, хімічно інертні, нетоксичні і вибухобезпечні. Їх використання не буде створювати перешкоди в роботі електронних приладів, які знаходяться у медичних установах. Й найголовніше, інертність волокон до електромагнітних й радіохвильових сигналів робить їх ідеальними для використання в режимі реального часу під час діагностичної візуалізації з МРТ, КТ та ін. А також при тепловому апеляційному лікуванні з участю радіохвиль чи НВЧ–випромінювання.

Волокно-оптичні біомедичні датчики

Волоконно-оптичні датчики містять джерело світла, оптичне волокно, зовнішній датчик, і фотодетектор. Їхня чутливість пов'язана з виявленням модуляції одного або кількох характеристик світла, які визначаються інтенсивністю випромінювання всередині волокна, наприклад, довжини хвилі або поляризації. Модуляція виникає прямим і відтвореним чином від зовнішнього збудження, викликаного фізичним параметром, величина якого повинна вимірюватись. Величина вимірюваного параметра вираховується з виявлених змін у світлових параметрах.

Існують два основних типи волоконно-оптичних датчиків. Зовнішні ВОД працюють завдяки передачі випромінюванню і прийманню світла.

У внутрішньому датчику світло не покидає волокна, а вимірюваний фізичний параметр впливає на властивості світла, що поширюється вздовж волоконної лінії, діючи безпосередньо на саме волокно. В зовнішньому датчику збудження діє на перетворювач, і оптичне волокно просто пропускає світло з місця перехоплення.

Багато різних принципів волоконно-оптичних датчиків були продемонстровані вже промисловими зразками, зокрема для біомедичного застосування, серед яких волоконні брегівські решітки (ВБР), порожнини Фабрі-Перо або торцеві волоконно-оптичні інтерферометри Фабрі-Перо, інтерферометр Саньяка, інтерферометр Маха-Цандера та інші. До цих пір найбільш поширені ті, що основані на інтерферометрі Фабрі-Перо і брегівських решітках. Також поширені спектроскопічні датчики, які базуються на поглинанні світла і флуоресценції. Біомедичні ВОД можна розділити на чотири основні типи: фізичні, хімічні, біологічні та візуалізаційного призначення (табл. 1).

Таблиця 1. Класифікація біомедичних сенсорів за вимірюваними біомедичними параметрами

Тип сенсора	Фізичні	Хімічні	Біологічні	Візуалізаційні
Параметри	Температура тіла	pH	Антигени	Ендоскопія
	Кров'яний тиск	pO ₂	Антитіла	Оптично-когерентна томографія
	Кровотік	pCO ₂	Електроліти	Фотодинамічна терапія
	Частота серцевих скорочень	Оксиметрія (SaO ₂ , SvO)	Ензими	
	Сила	Глюкоза	Інгібітори	
	Позиція	Жовч	Метаболіти	
	Дихання	Ліпіди	Протеїни	

Фізичні датчики вимірюють різні фізіологічні параметри, такі як температура тіла, кров'яний тиск і механічні переміщення м'язів. Датчики, призначені для візуалізації знаходять застосування як в ендоскопічних приладах для внутрішнього спостереження та обробки зображень, так і в більш просунутих методиках, таких як оптична когерентна томографія і фотоакустична візуалізація, де внутрішні сканування і візуалізація можуть бути зроблені неінтрузивно (тобто з мінімально можливим ступенем проникнення).

Хімічні сенсорні базуються на явищі флуоресценції, спектроскопічних методах і індикаторах для виявлення та визначення наявності певних хімічних сполук і метаболічних змінних (таких як водневий показник pH, концентрація кисню в крові або рівень глюкози). Вони виявляють специфічні хімічні домішки для діагностичних цілей, а також контролюють хімічні реакції організму і активність ферментів.

Біологічні сенсорні мають тенденцію бути більш складним і базуються на біологічних реакціях, таких як розпізнання ферменту-субстрату, антиген-антитіло або ліганд-рецептор для ідентифікації і кількісної оцінки конкретних біохімічних молекул, що представляють інтерес.

З точки зору напрацювань, базові візуалізаційні датчики є найбільш розвиненими. Другі за рівнем розвитку і поширенням – волоконно-оптичні датчики для вимірювання фізичних параметрів. І найменш розвинена область в плані успішності сенсорних продуктів – це датчики для біохімічного зондування.

Висновок

Біомедичне зондування за допомогою ВОД – це незаповнений, прибутковий і повний зростаючих можливостей ринок, особливо для великих обсягів наявних зондів. Попит на обширний моніторинг пацієнтів в поєднанні з тенденцією до мінімально інвазивної хірургії, яка сама по собі вимагає різноманітних мінімально інвазивних медичних пристроїв, а також приладів одноразового використання. Одноразові датчики невеликого розміру можуть бути включені в катетери та ендоскопи, а тому для цього ідеально підходять волоконно-оптичні датчики. Існує також незаперечна можливість для ВОД як датчиків для моніторингу життєво важливих функцій під час використання МРТ, а також радіочастотних процедур з електромагнітними перешкодами. Слід окремо відзначити, що розглянуті види датчиків широко використовуються не тільки в медичній практиці, але й в лабораторних дослідженнях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Павлов С. В. Використання волоконно-оптичних сенсорів у біомедичних дослідженнях / С. В. Павлов, Р. В. Просоловський, Т. І. Козловська // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2008. — № 2 (15). — С. — 159.
2. Шандаров В. М. Волоконно-оптические устройства технологического назначения / В. М. Шандаров — Томск. — 2012. — 199 с.
3. Трёмбовецкая Р. В. Выбор оптической системы для медицинских эндоскопов / Р. В. Трёмбовецкая // Вісник ЧДТУ. — 2013. — № 4. — С. 49—53.
4. Дудковская М. А. Преломление света, законы преломления. Рефрактометрия. Волоконная оптика. Эндоскопия. Лапароскопия / М. А. Дудковская, Н. П. Лобко. — Минск : БГМУ, 2002. — 23 с.
5. Проектування волоконно-оптичних сенсорів в контексті побудови оптико-електронних приладів дослідження периферійного кровотоку / С. В. Павлов, О. Д. Азаров, В. Б. Василенко, Р. В. Просоловський // Біомедичні оптико-електронні системи та прилади. — 2010. — № 1(19). — С. 124—133.

6. Кожем'яко В. П. Комп'ютерні моделі оптико-електронних систем та приладів для ендовазальної лазерної коагуляції / В. П. Кожем'яко, В. В. Мороз // Біомедичні оптико-електронні системи та прилади. — 2010. — С. 173—177.

7. Влияние оптического излучения синего диапазона на реологические свойства крови у больных бронхиальной астмой / Н. П. Александрова, Е. И. Островский, В. И. Карандашов и др. // Физиотерапия. Бальнеология. Реабилитация. — 2014. — № 4. — С. 15—18.

8. Colorimeter based on color sensor / D. V. Snizhko, O. A. Sushko, E. A. Reshetnyak et al. // Przegląd Elektrotechniczny. — 2017. — Vol. 93, Issue 5. — P. 96—101.

Альона Володимирівна Наконечна – студентка групи БМА-17мн, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: ram13b.nakonechna@gmail.com.

Науковий керівник: **Штофель Дмитро Хуанович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри біомедичної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Alyona V. Nakonechnaya - student of the group BMA-17mn, Department of Infocommunications, Radio Electronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ram13b.nakonechna@gmail.com.

Supervisor: **Dmytro Kh. Shtofel** – Cand. Sc. (Eng.), Docent, Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.