

УДК 681.586.5

Волоконно-оптичні датчики амплітудної модуляції

Семенюк А.О., к.т.н., доц. Шмирьова Л.М.

Вступ

Удосконалення систем автоматичного контролю і управління різними об'єктами, процесами, виробництвами багато в чому визначається досягненнями в області вимірювальних перетворювачів (датчиків). Багато датчиків, що виробляються, не завжди задовольняють споживача по таким показникам, як розміри, точність, допустимі умови експлуатації. Останнім часом сформувалося направлення, що використовує оптичне випромінювання і унікальні властивості оптичних середовищ для реєстрації різних фізичних впливів. Цьому сприяли також успіхи в технології волоконних світловодів, які призвели до широкого їх використання для передачі інформаційних сигналів. Елементи, які використовуються в волоконно-оптичних датчиках, є абсолютно пасивними по відношенню до електрики, що дозволяє застосовувати їх в різних галузях. Вони виявляються конкурентоспроможними в тих випадках, коли необхідно забезпечити роботу в умовах сильних електромагнітних полів, в агресивних і вибухонебезпечних середовищах спільно з волоконно-оптичними лініями зв'язку. Волоконно-оптичний

датчик використовує оптичне волокно або як чутливий елемент, що здатен відчувати зміну різних заданих величин і використовує, в основному, одномодове волокно («внутрішні датчики»), або як засіб ретрансляції сигналів від віддаленого датчика до електронного блоку, який обробляє сигнали і використовує багатомодове волокно («зовнішні датчики»). В даний час це вже визнаний напрямок розвитку вимірювальних перетворювачів, в рамках якого створені датчики тиску, зусилля, переміщення, швидкості, акустичних навантажень, напруженості електричного і магнітного полів і т. д.

Принцип роботи

Чутливим елементом волоконно-оптичних датчиків є волоконні брегівськими решітки. Волоконна брегівська решітка представляє з себе селектує дзеркало. Це означає, що якщо завести в оптоволокно випромінювання від ширококутового джерела, то назад відіб'ється світло з дуже вузькою спектральної смугою з центром на довжині хвилі Бреґга.

Світло, що залишилося продовжить йти в оптоволокні без будь-яких втрат. Довжина хвилі Бреґга визначається періодом решітки і показником заломлення серцевини.

Технологія волоконних брегівських решіток дозволяє розміщувати безліч датчиків в одній оптоволоконній лінії і виробляти абсолютні вимірювання без калібрування. Ці унікальні особливості роблять цю технологію найбільш підходящим і надійним рішенням для тривалого моніторингу.

Розглянемо функціонування оптичного волокна. Сучасне оптичне волокно складається з серцевини, по якій поширюється світло, і оболонки. Зовні вона закрита полімерною

плівкою. Серцевиною є нитка з пластика або скла з певними добавками (як правило, германій) для підвищення коефіцієнта заломлення. Коефіцієнт заломлення серцевини n_1 приблизно на 0,01 ... 0,02 перевищує коефіцієнт заломлення оболонки n_2 . Завдяки цьому промінь світла, спрямований в серцевину, поширюється по ній, багаторазово відбиваючись від кордону розділу «серцевина-оболонка».



Рис. 1. Поширення світла у волоконному світловоді

Найважливішою характеристикою оптоволоконна є числова апертура NA - максимально можливий кут, з яким світло, введений в волокно, може поширюватися в ньому. Числова апертура визначається коефіцієнтами заломлення сердечника і оболонки і виражається як:

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta},$$

$$\text{де } \Delta = \left(\frac{n_1}{n_2} \right) - 1.$$

Якщо кут введення променя світла в сердечник менше NA , то він зазнає повне внутрішнє віддзеркалення і поширюється тільки в ньому (промінь 1 на Рис. 1). При порушенні цієї умови частина вводитися випромінювання заломлюється і йде в оболонку, а частина - відбивається всередину сердечника (промінь 2).

З числовою апертурою пов'язана нормована частота. Вона визначає, скільки мод (спрощено - оптичних

променів під різними кутами) може поширюватися в даному волокні. Нормована частота F обчислюється за такою формулою:

$$F = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \cdot a \cdot NA$$

де a - діаметр сердечника; λ - довжина світлової хвилі. Для оптичних волокон існує граничне значення F_c . Для розглянутого оптичного волокна із ступінчастим зміною показника заломлення $F_c = 2,045$. Якщо розраховане значення F перевищує цю величину, то поширюється безліч мод і волокно називається багатомодовим. В іншому випадку поширюється одна мода і волокно є одномодовим. Багатомодові оптичні волокна технологічні, легко з'єднуються з джерелами і детекторами випромінювання, а також з іншими волокнами. Недолік такого волокна - порушення когерентності джерела, тому воно може бути використано для передачі інформації тільки про інтенсивність оптичного сигналу.

В одномодових волокнах може використовуватися поляризація і фаза когерентного джерела, наприклад, напівпровідникового лазера, і на його основі можлива побудова датчиків з волокном як чутливий елемент. Основний недолік одномодового волокна - висока чутливість до зовнішніх механічних впливів і відносна складність сполучення з

іншими оптичними компонентами. Зовнішній діаметр багатомодових і одномодових волокон однаковий і рівний 125 мкм. Діаметр сердечини у багатомодового волокна - 50 мкм при $\Delta \approx 1\%$, а у одномодового - 10 мкм при $\Delta \approx 0,3\%$.

Різновиди

Основні структури волоконно-оптичних датчиків засновані на використанні наступних властивостей:

1. Зміна характеристик оптичного волокна при механічному впливі. Робота таких датчиків заснована на таких фізичних явищах, як ефект Фарадея, ефект Керра. На цих принципах будують датчики, що реагують на зміну тиску, на вплив радіації. У них використовують люмінесцентне волокно.
2. Зміна параметрів випромінювання що проходить через оптичне волокно. Робота цього типу датчиків заснована на перетворенні «фізична величина - світло». Чутливим елементом в цього типу датчиках може бути як сам вимірюваний об'єкт, так і спеціальний елемент, що прикріплюється до нього.
3. Зміна параметрів чутливого елемента закріпленого на торці оптичного волокна.

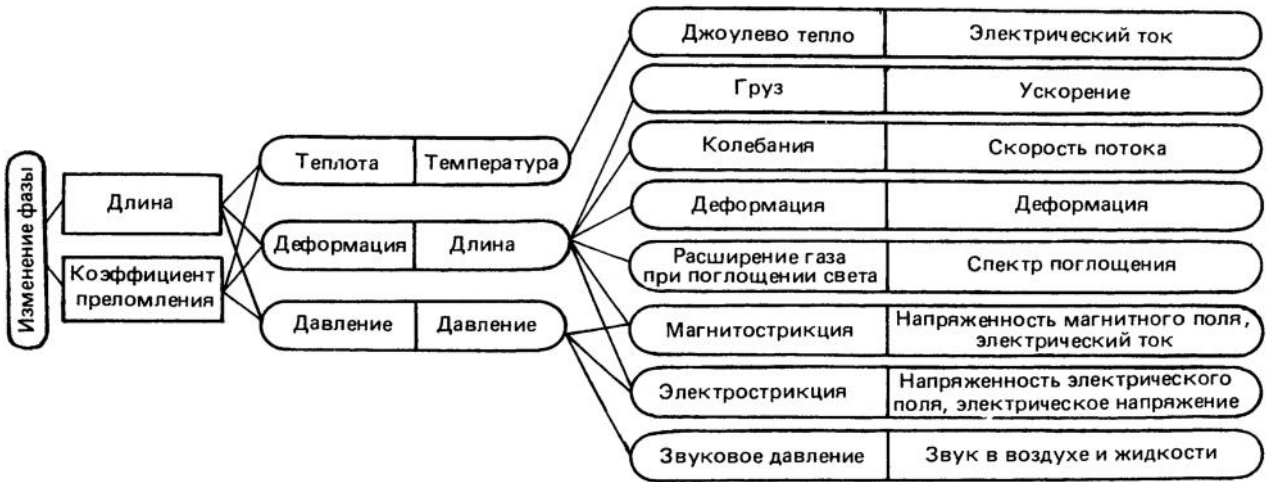


Рис. 2. Функціональні можливості волоконно-оптичного чутливого елемента, що працює на основі зміни фази світла

В якості зовнішніх чутливих елементів найбільш часто використовуються

мембрани і інші пружні елементи, на яких встановлюються шторки або решітки, що перекривають світлові потоки. В основі цих волоконно-

оптичних датчиків лежить механічний принцип зсуву того чи іншого оптичного елемента (решітки, шторки, дзеркала, торця волокна) в результаті зовнішніх впливів.

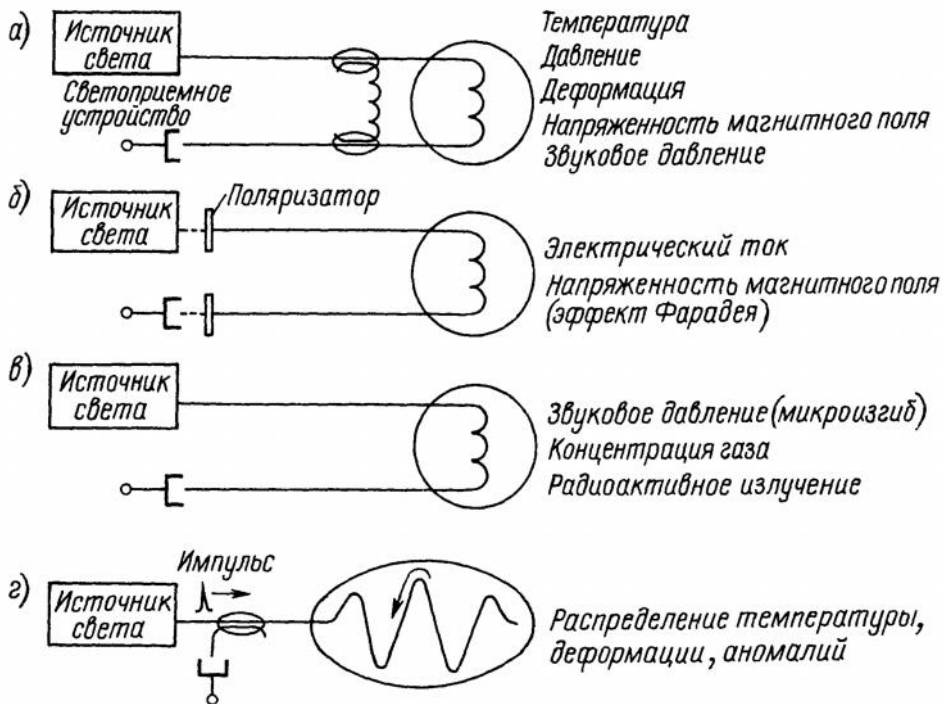


Рис. 3. Узагальнені схеми і об'єкти вимірювань датчиків з волоконно-оптичним чутливим елементом, що працює на основі зміни фази (а), обертання

площини поляризації (б), зміни втрат (в), розсіювання (г)

ВОД амплітудної модуляції

Амплітудна модуляція випромінювання (безпосередня модуляція по інтенсивності) найбільш зручна для подальшої обробки вихідного сигналу оптичного датчика. Більшість схем амплітудної модуляції не вимагає використання когерентного випромінювання, але слід зазначити, що деякі з них можуть бути реалізовані лише при роботі з поляризованим випромінюванням. Схеми амплітудної модуляції не пред'являють практично ніяких спеціальних вимог ні до джерела, ні до приймача випромінювання і не потребують додаткової схеми, що обробляє вихідний сигнал датчика, так як амплітудно-модульований сигнал безпосередньо реєструється за допомогою звичайного фотоприймача.

Амплітудна модуляція оптичного сигналу може бути здійснена за рахунок:

1. безпосереднього ослаблення світла в середовищі при зміні ванні коефіцієнта поглинання x ;
2. зміни поперечного перерізу оптичного каналу;
3. зміни відбивної (поглинальної) здатності при варіації показника заломлення n , в тому числі порушення повного внутрішнього відбиття (ПВВ);
4. керованого зв'язку хвилеводів при зміні n ;

5. отримання додаткового випромінювання при впливі вимірюваного фізичного фактора.

ВОД а.м. на основі модуляції випромінювання при проходженні через середовище зі змінним пропусканням

Відповідно до закону Бугера - Ламберта випромінювання, що пройшло шлях l в деякому середовищі з коефіцієнтом поглинання x , послаблюється в e^{-xl} раз. Тому управління випромінюванням в оптичному каналі, що пов'язує джерело і приймач випромінювання, може здійснюватися за рахунок безпосереднього впливу на коефіцієнт x поглинання речовини.

Реєстрація змін поглинальної здатності речовини використовується, наприклад, для аналізу складу газових потоків. Спеціальна кювета забезпечує велику довжину шляху оптичного випромінювання в газовому середовищі, що дозволяє виявити досить слабкі лінії поглинання і по ним ідентифікувати газову суміш. Для вимірювання коефіцієнта поглинання x може використовуватися лазер, випромінювання якого вводиться за допомогою волоконних світловодів в багатопрхідну кювету, розташовану у віддаленій точці вимірювання (Рис. 3.2). Абсорбційний метод заснований на строгій залежності довжини хвилі поглинання від складу газової суміші. Використовуючи лазер з перебудовується довжиною хвилі,

можна вимірювати спектральну залежність абсорбції газової суміші.

Висновки

Завдяки своїм особливостям ВОД здатні виконувати свої функції у таких умовах та середовищах, в яких сенсори з інших матеріалів та з іншими принципами роботи були б неконкурентноспроможними або взагалі б не працювали. Тому напрям є дуже перспективним. Також можливими застосуваннями є інтегрально-оптичні технології, які дозволять об'єднати електронні схеми обробки і мікрооптичні компоненти в одному кристалі або мікромодулі, що значно знизить собівартість волоконних датчиків і підвищить їх експлуатаційні характеристики. До того ж, ведуться роботи по використанню ВОД у мікроелектромеханічних (МЕМС) системах.

Література

1. Бусурин В. И., Носов Ю. Р. Б 92 Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения.— М.: Энергоатомиздат, 1990.—256 с: ил. — ISBN 5-283-01523-8
2. Э. Удд. Волоконно-оптические датчики / под ред.Э. Удда. — М.: Техносфера, 2008. — С. 17. — ISBN 978-5-94836-191-8.
3. Окуси Т. и др. 037 Волоконно-оптические датчики/Т. Окуси, К. Окамото, М. Оцу, Х. Нисихара, К. Кюма, К. Хататэ; Под ред. Т. Окуси: Пер. с япон.— Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990.—256 с: ил. ISBN 5-283-02466-0 (СССР); ISBN 4-274-03123-3 (Япония)