

УДК 537.533.3

ЗАСТОСУВАННЯ РЕФРАКТОМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛИХ МАЛОПРОЗОРИХ СЕРЕДОВИЩ

Ю.О. СКРИПНИК, В.В. ГОРКУН

Київський національний університет технологій та дизайну

Рефрактометричні методи зазвичай використовують для аналізу слобопоглинаючих середовищ. Проте в деяких випадках виникає необхідність визначення показника заломлення середовищ із значним коефіцієнтом поглинання. Авторами розроблен метод, який дозволяє значно підвищити точність визначення оптичних сталих малопрозорих середовищ

Рефрактометричні методи використовуються для визначення показника заломлення рідинних, твердих та газових середовищ. Показник заломлення залежить від довжини світлової хвилі, тиску, температури та щільності середовища. Залежність показника заломлення від щільності середовища дозволяє визначити його концентрацію в розчинах. Рефрактометричні вимірювання концентрації є порівняно простими та точними і у поєднанні з визначенням інших фізичних властивостей дозволяють аналізувати не тільки бінарні середовища, а і складні хімічні сполуки.

Об'єкти та методи дослідження

Можливість вимірювання фази в оптичному діапазоні засобами інтерференційної техніки розширює область вимірювання оптичних сталих (показника заломлення і коефіцієнта поглинання) малопрозорих середовищ. Щоб одержати інформацію про фазу монохроматичного когерентного випромінювання, одночасно з зондуючим формують опорне випромінювання, розділяючи початкове випромінювання на рівні частини [1]. Після того, як зондуючий промінь пройде через досліджуване, а опорний промінь – через еталонне середовище, їх суміщають в одній площині, створюючи інтерференційну картину. За зміщенням інтерференційних смуг судять про показник заломлення середовища і зміну складу контрольованого середовища відносно еталонного. Проте цей метод має невисоку точність, якщо контролювати малопрозорі середовища, через залежність інтенсивності випромінювання яке пройшло досліджуване середовище, від коефіцієнта поглинання цього середовища. В результаті змінюється інтенсивність смуг інтерференції, що приймається фотоприймачем як зміщення смуг. Недоліком є також невисока точність виміру показника заломлення протяжних середовищ, наприклад, кювет з досліджуваною речовиною, через неоднозначність інтерференційної картини, якщо різниця фаз зондуючого і опорного випромінювань перевищує π радіан (180°).

Постановка завдання

Для виключення еталонного середовища в описаних методах [2] вводять зміну частоти випромінювання до одержання первісної різниці фаз. Однак при виборі довжини шляху в еталонному середовищі виникають принципові труднощі в частині забезпечення необхідної товщини і показника заломлення. Для виключення неоднозначності фазових вимірів зміна різниці фаз $\Delta\varphi_0$ при виключенні еталонного середовища повинна бути значно менше одного фазового напівциклу в π радіан ($\Delta\varphi_0 \ll \pi$). В цьому випадку еталонне середовище необхідно виконувати з товщиною порядку сотих часток мкм, що технологічно дуже складно, а використання лазера з регульованою частотою випромінювання не дозволяє забезпечити малу різницю частот з високою точністю. Все це ускладнює процес визначення показника заломлення досліджуваного середовища і не забезпечує високу точність вимірювання.

Для її підвищення, зондування досліджуваного середовища здійснюють під різними кутами [3] і далі обчислюють показники заломлення і поглинання за допомогою мікро-ЕОМ. Недоліком цього методу також є невисока точність вимірювання, тому що треба плавно змінювати кут падіння променів при вимірюванні показника заломлення контрольованого середовища і відстані між двома променями з врахуванням коефіцієнта поглинання середовища, що призводить до виникнення додаткових похибок.

Замість змін кута падіння зондуючого променя надмірність вимірювання можна забезпечити змінами частоти монохроматичних коливань. Для цього вимірюють різницю фаз між зондуючим і опорним променями з еталонним середовищем на шляху розповсюдження опорного випромінювання. Потім виключають еталонне середовище і змінюють частоту випромінювання, поки не одержать попередню різницю фаз. Показник заломлення контрольованого середовища визначають за різницею частот випромінювання при наявності еталонного середовища і його відсутності. Невисока точність вимірювання в цьому випадку обумовлена великою похибкою при визначенні двох близько розміщених частот когерентного оптичного випромінювання, а також впливом поглинання контрольованим середовищем на точність індикації фазових співвідношень. Підвищити точність вимірювання оптичних сталей можна додатковим вимірюванням ослаблених порівнюваних за фазою потоків через контрольоване і еталонне середовище.

Результати та їх обговорення

Авторами розроблен інтерференційний метод та алгоритм визначення показника заломлення з додатковим вимірюванням ослаблених, Розглянемо суть методу, за яким монохроматичне когерентне випромінювання джерела 1, що має частоту f (див.рис.) розділяють напівпрозорим дзеркалом 2 на зондує і опорне. Зондуєчий промінь пропускають через шар контрольованого середовища в кюветі 3 з товщиною l , коефіцієнтом поглинання k_x і показником заломлення n_x . Опорний промінь проходить шар еталонного середовища в кюветі порівняння 10 з показниками l_0, k_0, n_0 . потім зондуєчий і опорний промені сумішають напівпрозорим дзеркалом 7. Тому що вони мають різні часи затримки: $\tau_x = \frac{l \cdot n_x}{c}$ і

$\tau_0 = \frac{l_0 \cdot n_0}{c}$, створюється інтерференційна картина, інтенсивність смуг якої визначається інтенсивністю променів і їх різницею фаз. Враховуючи інтенсивність зондуєчого і опорного випромінювань інтенсивність інтерференційної смуги у полі зору фотоприймача 12 буде

$$I_1 = \sqrt{I^2 + I_0^2 - 2I \cdot I_0 \cos \varphi}, \quad (1)$$

де I і I_0 – інтенсивності; φ – різниця фаз зондуєчого і опорного променів.

Різниця фаз зондуєчого і опорного променів визначається різницею затримок в контрольованому і опорному середовищі:

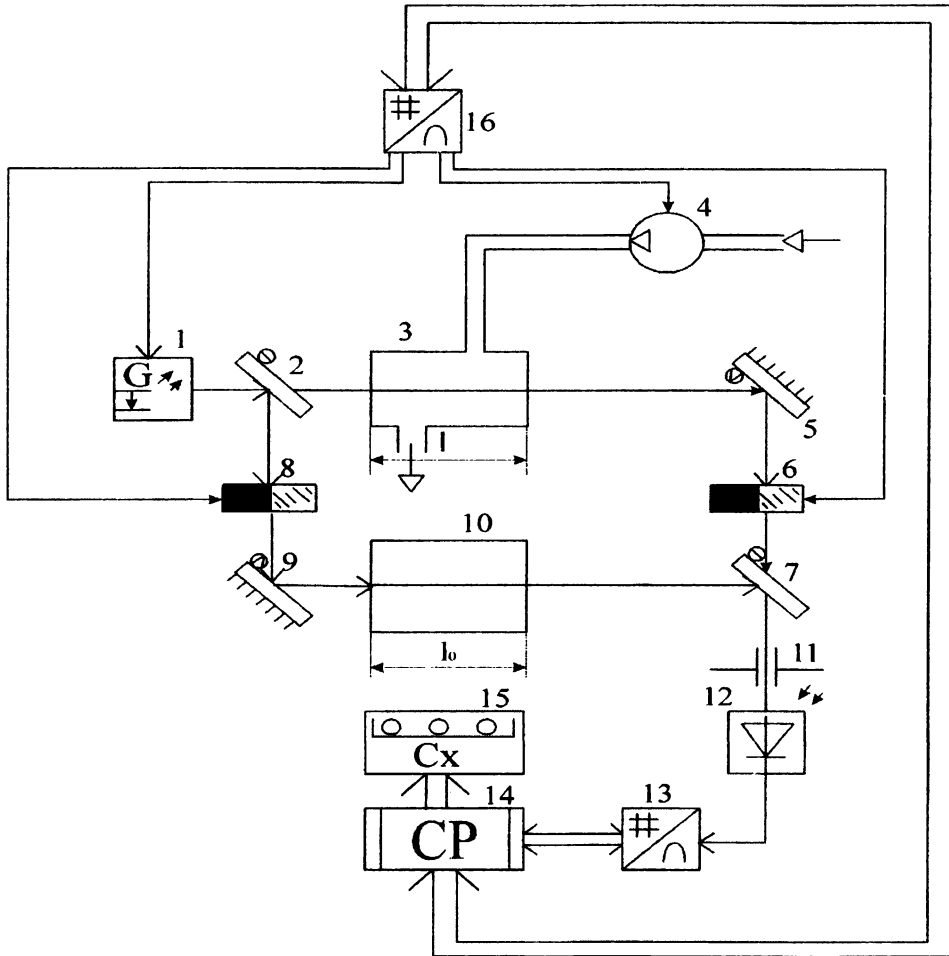
$$\varphi = 2\pi f(\tau_x - \tau_0), \quad (2)$$

Потім перетворюють інтенсивність у вибраній точці інтерференційної картини в електричну напругу фотоелектричним приймачем. Якщо показник заломлення середовища n_x змінюється, то відбувається зміщення інтерференційних смуг і інтенсивність у точці, на яку направлений оптичний приймач, змінюється відповідно змінюється і його вихідна напруга

$$U_1 = SI_1^2 = S \left\{ I^2 + I_0^2 - 2I \cdot I_0 \cos \left[\frac{2\pi f (\ln n_x - \ln n_0)}{c} \right] \right\}, \tag{3}$$

де S – чутливість фотоприймача; c - швидкість світла.

Аналогічні зміни напруги на виході фотоприймача відбуваються і при змінах коефіцієнтів поглинання контрольованого і еталонного середовища.



Структурна схема реалізації інтерференційного методу для визначення сталих мало прозорих середовищ

У відповідності до закону Ламберта-Бугера-Бера, інтенсивність монохроматичного зондуючого випромінювання, що пройшла через поглинаюче середовище, визначається так

$$I' = I_0 \exp(-k_x l), \tag{4}$$

де I_0 - інтенсивність на вході кювети; k_x - коефіцієнт поглинання на частоті f .

Відповідно, інтенсивність опорного променя, що пройшов еталонне середовище

$$I'' = I_0 \exp(-k_0 l_0). \tag{5}$$

Враховуючи поглинання випромінювання і фазові затримки в контрольованому і еталонному середовищах, напруга (3) може бути виражена у вигляді

$$U_1 = SI_0^2 \left\{ \exp(-2k_x l) + \exp(-2k_0 l_0) - 2 \exp(-k_x l - k_0 l_0) \cos \left[\frac{2\pi f (l n_x - l_0 n_0)}{c} \right] \right\}. \tag{6}$$

При перериванні опорного променя, наприклад, оптичним затвором або обтюратором зникає інтерференція і приймач реагує тільки на інтенсивність зондуючого променя в своєму полі зору

$$U_2 = SI_0^2 \exp(-2k_x l). \quad (7)$$

Потім переривають зондуєчий промінь, залишаючи опорний. Напряга на виході фотоприймача буде

$$U_3 = SI_0^2 \exp(-2k_0 l_0). \quad (8)$$

З виразів (7) і (8) можна одержати квадрати коефіцієнтів пропускання T_x контрольованого і T_0 еталонного середовищ

$$T_x^2 = \exp(2k_x l) = \frac{U_2}{SI_0^2}; \quad T_0^2 = \exp(-2k_0 l_0) = \frac{U_3}{SI_0^2}. \quad (9)$$

Підставивши ці значення у вираз (6), отримаємо значення показника заломлення контрольованого середовища на частоті f

$$n_x(f) = n_0 \frac{l_0}{l} - \frac{c}{2\pi f \cdot l} \left[\arccos \left(\frac{U_1 - U_2 - U_3}{2\sqrt{U_2 U_3}} \right) \right]. \quad (10)$$

Розділивши (7) на (8), одержимо логарифм відношення напруг

$$\ln \frac{U_2}{U_3} = 2(-k_x l - k_0 l_0), \quad (11)$$

звідки можна отримати значення коефіцієнта поглинання контрольованого середовища на частоті f

$$k_x(f) = k_0 \frac{l_0}{l} - \frac{\ln \left(\frac{U_2}{U_3} \right)}{2l} \quad (12)$$

Таким чином, за результатами вимірювання трьох напруг фотоприймача U_1 , U_2 і U_3 , можна визначити показник заломлення n_x і коефіцієнт поглинання k_x контрольованого середовища, якщо відомі сталі k_0 і n_0 .

За зазначеним алгоритмом розроблений інтерференційний пристрій, в якому зондуєчий промінь проходить через вимірювальну 3, а опорний – через кювету порівняння 10. Напівпрозорим дзеркалом 7 ці промені об'єднуються, створюючи в площині діафрагми 11 інтерференційну картину. Інтенсивність інтерференційної смуги у полі зору фотоприймача 12 перетворюється в напругу, яка АЦП 13 перетворюється в код і поступає у мікро-ЕОМ 14, що виконує всі необхідні обчислення і через ЦАП 16 керує роботою схеми: вмикає лазер 1 і компресор 4, який прокачує через кювету контрольоване середовище, а також керує оптичними затворами 6 і 8, які згідно з формулами (6), (7) і (8) пропускають на фотоприймач по черзі обидва промені, або тільки зондуєчий або тільки опорний. Результати вимірювання фіксує цифровий відліковий пристрій 15. Цей інтерференційний пристрій був застосований для контролю викидів шкідливих домішок циклогексанону у повітрі. Встановлено, що на довжині хвилі 3,39 мкм з довжиною ходу променя в кюветі 23 мм чутливість до циклогексанону складає 0,1 мг/м³, навіть при наявності етилацетату в повітрі до 10 мг/м³. Останній має близькі за поглинанням заважаючи складові, які виключають можливість застосування в даному випадку відомих принципів газоаналізу. Також малий вплив на роботу цього пристрою мають пилові викиди, що сильно спотворюють роботу інших газоаналізаторів.

Висновки

Встановлено, що на результат вимірювання не впливають зміни потужності випромінювання джерела 1, нестабільність характеристик фотоприймача 12, а також зміни коефіцієнта поглинання на точність вимірювання показника заломлення (10) і зміни показника заломлення на точність вимірювання коефіцієнта поглинання (12).

ЛІТЕРАТУРА

1. Орнатський П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники; 2-е изд., перераб. и доп. –К.: Вища шк., 1983. - 455с.
2. Таланчук П.М., Скрипник Ю.О., Дубровний В.О. Засоби вимірювання в автоматичних інформаційних та корегуючи системах: Підуч.для студ.вузів.- К.: Райдуга, 1994.- 672с.
3. Скрипник Ю.О., Горкун В.В. Пристрій для визначення швидкості поширення світла в речовині. //ВІСНИК КНУТД № 2, 2010 , С. 51-55.

Надійшла 10.09.2010

УДК 621.317

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ ДО МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ

В.Ю. САННИКОВ, Ю.О. СКРИПНИК

Київський національний університет технологій та дизайну

Розглянуто спосіб визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження, якій дозволяє знизити похибки вимірювання за рахунок виключення внутрішніх затримок вимірювального тракту та використати неузгодженість імпедансу лінії з електричним опором вимірювального тракту для підвищення інформативності запропонованого способу

Аналіз існуючих методів вимірювання довжини електричних ліній показав, що найбільш ефективними є рефлектометричні методи [1]. Основними факторами, що впливають на точність виміру рефлектометричним способом є потреба повної узгодженості електричного опору вимірювального тракту та досліджуємої лінії, наявність часової затримки в блоці формування зондуючих імпульсів, яка необхідна для розділення у часі зондуючих та відбитих імпульсів, що суттєво впливає на визначення довжини лінії до місця пошкодження. Розробка нових способів підвищення точності вимірів, які компенсують вказані фактори дозволяє створювати нові більш досконалі комбіновані прилади виміру довжини електричних ліній.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом дослідження є рефлектометричні методи визначення довжини електричних ліній. У існуючому способі електричні лінії передачі зондуються короткими імпульсами, отримують відбиті від місця пошкодження імпульси, відповідно до затримки яких відносно до зондуючих імпульсів судять про відстань до місця пошкодження [1]. В цьому способі до часу виміру затримки також входять додаткові затримки в блоках формування зондуючих імпульсів та у вимірюючих перетворювачах відбитих імпульсів, що спотворює результат вимірювання.

У методі порівняння частот відбитих імпульсів від лінії, що досліджується, з частотою послідовності імпульсів від лінії, довжина якої відома [2] за отриманою частотою визначають, з