

Практична робота №3

Тема «Дослідження газового аналізатора та розрахунок параметрів газової суміші»

Мета роботи: дослідити роботу газового аналізатора, опанувати способи розрахунку концентрації газу в газовій суміші.

3.1. Теоретичні відомості

Волоконно-оптичний датчик (ВОД) - датчик, який використовує оптичне волокно в якості чутливого елемента («внутрішні датчики»), або в якості засобу ретрансляції сигналів від віддаленого датчика до електронного блоку, який обробляє сигнали («зовнішні датчики»).

В першому випадку використовується чутливість волокна до електричного поля (ефект Керра), магнітного поля (ефект Фарадея), до вібрації, температури, тиску, деформацій (наприклад, до вигину). Багато з цих ефектів в оптичних системах зв'язку оцінюються як недоліки, у датчиках же їхня поява вважається скоріше перевагою, яку варто розвивати.

У практиці використання волоконно-оптичних датчиків мають найбільше значення чотири властивості:

- безіндукційність (практично відсутній вплив електромагнітної індукції, а отже, і негативні явища, зв'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 довжиною 20 см витримує напруга до 10000 В);
- висока корозійна стійкість, особливо до хімічних розчинників, олії, води.

Досить корисні і такі властивості, як еластичність, малі діаметр і маса.

Оптичне волокно буває двох типів: одномодове, у якому поширюється тільки одна мода (тип розподілу переданого електромагнітного поля), і багатомодове - з передачею безлічі (біля сотні) мод.

Конструктивно ці типи волокон розрізняються тільки діаметром сердечника - світловодної частини, усередині якої коефіцієнт заломлення ледве вищий, ніж у периферійній частині - оболонці.

У техніці використовуються як багатомодові, так і одномодові оптичні волокна. Багатомодові волокна мають великий (приблизно 50 мкм) діаметр сердечника, що полегшує їхнє з'єднання один з одним. Але оскільки групова швидкість світла для кожної моди різна, то при передачі вузького світлового імпульсу відбувається його розширення (збільшення дисперсії).

У порівнянні з багатомодовими в одномодових волокнах переваги і недоліки міняються місцями: дисперсія зменшується, але малий (5...10 мкм) діаметр сердечника значно ускладнює з'єднання волокон цього типу і введення в них світлового променя лазера.

Внаслідок цього одномодові оптичні волокна знайшли переважне застосування в лініях зв'язку, що вимагають високої швидкості передачі інформації (лінії верхнього рангу в ієрархічній структурі ліній зв'язку), а багатомодові найчастіше використовуються в лініях зв'язку з порівняно невисокою швидкістю передачі інформації. Це так названі когерентні волоконно-оптичні лінії зв'язку, де придатні тільки одномодові волокна.

У багатомодовому оптичному волокні когерентність прийнятих світлових хвиль падає, тому його використання в когерентних лініях зв'язку непрактично, що і визначило застосування в подібних лініях тільки одномодових оптичних волокон.

У датчиках типу "лінії передачі" використовуються в основному багатомодові оптичні волокна, а в датчиках сенсорного типу найчастіше - одномодові.

Сучасні волоконно-оптичні датчики дозволяють вимірювати майже усе. Наприклад, тиск, температуру, відстань, положення в просторі, швидкість обертання, швидкість лінійного переміщення, прискорення, коливання, масу, звукові хвилі, рівень рідини, деформацію, коефіцієнт заломлення, електричне поле, електричний струм, магнітне поле, концентрацію газу, дозу радіаційного випромінювання і т.д.

Волоконно-оптичні датчики використовуються також для оцінки екологічного стану довкілля. Їх робота базується на оптично-абсорбційному методі, який полягає в здатності газів поглинати інфрачервоні промені в суворо визначених для кожного газу ділянках спектру завдяки наявності коливально-обертальних смуг поглинання.

3.2 Методи визначення концентрації газу

1. Визначення концентрації газу за допомогою оптично-абсорбційного методу

Газ прокачується через вимірювальну кювету (відкритий канал), яка знаходиться в одному з робочих плечей, друге плече являє собою волоконно-оптичну лінію зв'язку, втратами енергії випромінювання в якій можна знехтувати.

Шляхом вимірювання приймачами інфрачервоного випромінювання, з попередньо нанесеними на них інтерференційними фільтрами, довжина хвилі пропускання яких узгоджена з довжиною хвилі власного поглинання газу, та вимірювання різниці інтенсивності потоків через два плеча, визначають зміну частоти вихідних сигналів. А за зміною частоти електричних сигналів визначають концентрацію газу.

Функціональна схема реалізації способу показана (рис. 3.1.).

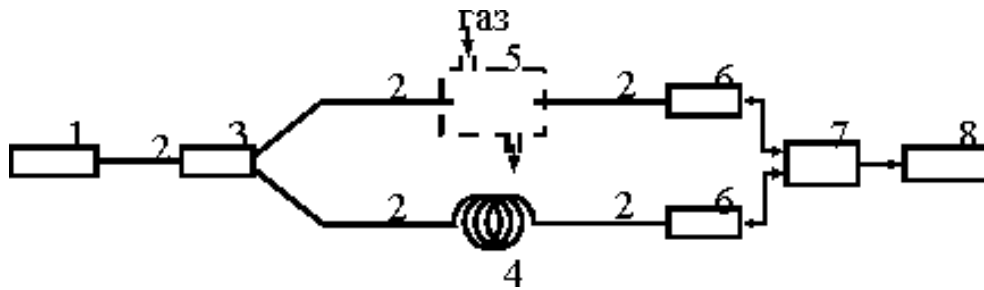


Рисунок 3.1 - Функціональна схема волоконно-оптичного перетворювача газу(оптично-абсорбційний метод)

Джерело 1 інфрачервоного випромінювання створює потік випромінювання Φ_0 , який надходить на світловод 2, оптичний розгалужувач 3, світловод 4, вимірювальну кювету 5 (відкритий канал), фотоприймачі 6, з яких частотні сигнали надходять на гетеродин (електронний генератор гармонічних коливань) 7 і блок обробки частоти 8.

Величина ослабленого потоку випромінювання Φ_1 , що пройшов через вимірювальну кювету з газом, який аналізується, може бути визначена за законом Бугера-Ламберта-Бера.

$$\Phi_1 = \Phi_0 e^{-\alpha_1 C_{x1} l_1}, \quad (3.1)$$

де Φ_0 - величина потоку інфрачервоного випромінювання на вході вимірювальної кювети (відкритий канал 5 на рис. 3.1);

Φ_1 - величина потоку інфрачервоного випромінювання на виході вимірювальної кювети (відкритий канал 5);

α_1 - коефіцієнт поглинання газу, що аналізується і залежить від ступеня узгодження спектрів поглинання газу, спектральної характеристики джерела інфрачервоного випромінювання і спектральної чутливості приймача інфрачервоного випромінювання;

C_{x1} - концентрація газу, що аналізується;

l_1 - довжина вимірювальної кювети (відкритий канал).

Величина ослабленого потоку випромінювання Φ_2 , що пройшов через світловод 4 може бути також визначена за законом Бугера-Ламберта-Бера:

$$\Phi_2 = \Phi_0 e^{-\alpha_2 C_{x2} l_2}, \quad (3.2)$$

де Φ_0 - величина потоку інфрачервоного випромінювання на вході світловода 4;

Φ_2 - величина потоку інфрачервоного випромінювання на виході світловода 4;

α_2 - коефіцієнт поглинання світловода;

l_2 - довжина світловода 4.

Потоки випромінювання Φ_1 і Φ_2 , при попаданні інфрачервоного випромінювання відповідно на приймачі, створюють на їх виходах, пропорційно до ступеня ослаблення потоків, різницю частот Δf_1 Δf_2 , яка, в свою чергу, пропорційна концентрації газу, що аналізується.

Приймаючи до уваги (3.1) і (3.2) і враховуючи, що коефіцієнт затухання, наприклад, для кварцових світловодів прямує до нуля ($2 \cdot 10^{-4}$ дБ/м), отримаємо співвідношення:

$$\Delta f_1 = \frac{1}{\Delta \tau_1 n} \approx \Phi_1; \quad \Delta f_2 = \frac{1}{\Delta \tau_2 n} \approx \Phi_2 \quad (3.3)$$

де τ - час накопичення заряду;

Φ – величина світлового потоку;

n - об'єм n області БІЗПНа (бізмщений перехід з інжекційною нестійкістю).

Враховуючи, що втрати в світловоді порядку 0,14 дБ/км на частотах власного поглинання газу рівняння (3.2) матиме вигляд (при $l_1 < l_2 < 100$ м):

$$\Phi_2 = \Phi_0 \quad (3.4)$$

Використовуюючи формули (3.1) і (3.4) отримаємо наступне співвідношення:

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{\Delta f_1}{\Delta f_2} = \frac{\Phi_0 e^{-\alpha_1 C_{x1} l_1}}{\Phi_0} \text{ або } \frac{\Delta f_1}{\Delta f_2} = e^{-\alpha_1 C_{x1} l_1}, \text{ або } \ln \frac{\Delta f_1}{\Delta f_2} = -\alpha_1 C_{x1} l_1$$

Отримаємо:

$$C_{x1} = \frac{1}{\alpha_1 l_1} \ln \frac{\Delta f_1}{\Delta f_2}$$

Отже, концентрація газу, що аналізується, визначається формулою (3.5). Наявність БІЗПН-приладів та світловодів підвищує надійність, значно зменшує розміри приладу, спрощує встановлення концентрації газу і підвищує надійність запропонованого способу.

2. Визначення концентрації газу за допомогою методу диференційного оптичного поглинання

Основне рівняння для розрахунку вимірюваної концентрації метану за методом диференційного поглинання має такий вигляд:

$$N = \frac{\text{Pr}(\lambda_2) - \text{Pr}(\lambda_1)}{[\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2)] \cdot l \cdot \text{Pr}(\lambda_2)}, \quad (3.6)$$

де N - парціальний тиск (концентрація) газу в повітряній суміші ($N = 760$ Торр відповідає концентрації $C = 100\%$);

λ_1 - довжина хвилі, відповідна лінії поглинання метану (робоча довжина хвилі);

λ_2 - опорна довжина хвилі, що лежить поза спектром поглинання;

l - довжина вимірювальної комірки з газом;

$\text{Pr}(\lambda_i)$, (де $i = 1, 2$) - прийнята оптична потужність на довжині хвилі λ_i ; $\sigma(\lambda_i)$ - переріз поглинання газу на довжині хвилі λ_i .

Наприклад, для метану $\Delta\sigma = \sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2) = 2,8 \cdot 10^{-3} 1/\text{Торр}$ для робочої довжини хвилі

$$\lambda_1 = 1,667 \text{ мкм} \text{ та } \Delta\sigma = 1,4 \cdot 10^{-3} 1/\text{Торр} \text{ для } \lambda_1 = 1,332 \text{ мкм} .$$

Функціональна схема пристрою, який працює на основі методу диференційного вимірювання концентрації газу, представлена на рис. 3.2.

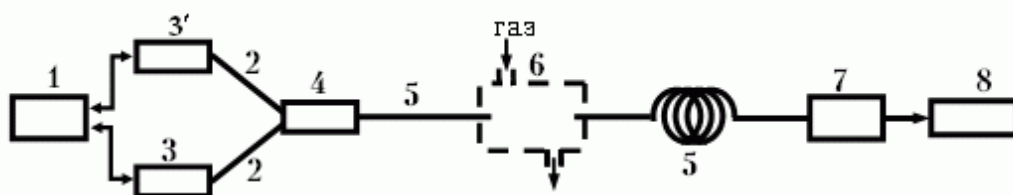


Рисунок 3.2 - Функціональна схема волоконно-оптичного перетворювача газу (диференційний метод)

Генератор імпульсів 1 періодично вмикає світловипромінюючі діоди 3,3' з довжинами хвиль відповідно λ_1 і λ_2 , які поширюються по світловодах 2 розгалужувача 4. Після розгалужувача випромінювання через світловод 5 потрапляє в вимірювальну кювету (канал) 6, пройшовши через яку і поширюючись далі по світловоду 5 потрапляє на приймач оптичного випромінювання 7, в нашому випадку – БІЗПН-прилад, на виході якого ми отримуємо пачки імпульсів, які пропорційні інтенсивності світлового випромінювання (3). Далі з приймача електричні сигнали надходять до мікропроцесора 8, який їх обробляє і видає значення концентрації газу N.

Така схема дозволяє значно спростити сам метод, а пристрій не потребує модуляторів, оптичних фільтрів і використовує лише один канал та одну лінію оптичного зв'язку. Більш того, оскільки, опорна хвиля, її інтенсивність, не залежить від концентрації газу (наприклад, метану), то в даному випадку частота слідування імпульсів буде лише функцією концентрації газу.

Мінімальна виявлена концентрація газу (за відсутності флуктуацій сигналу) визначається рівнем шуму приймальної системи P_n і відповідає умові: $Pr(\lambda_2) - Pr(\lambda_1) = P_n$.

В цьому випадку вираз (3.6) можна записати у вигляді:

$$N_{\min} = \frac{P_n}{[\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2)] \cdot l \cdot Pr(\lambda_2)}, \quad (3.7)$$

де потужність $Pr(\lambda_2)$, яка надходить на фотоприймач, розраховується з урахуванням втрат у всіх елементах ВОД (при загальній довжині світловодів менше 0,1 км, можна вважати, що втрати енергії випромінювання рівні нулю). $Pr(\lambda_2) = const$ і рівна потужності випромінювання, яке надходить до приймача 7 та при незмінній довжин вимірювального каналу, виходячи з (3.7) маємо:

$$N_{\min} = \frac{P_n}{[\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2)] \cdot C}, \quad (3.8),$$

де $C = IPr(\lambda_2) = const$; $\sigma(\lambda_1)$ і $\sigma(\lambda_2)$ відповідно пропорційні зміні частоти сигналу БІЗПІН-приймача ($\sigma(\lambda_1 \approx f_i)$).

3.3 Порядок виконання роботи

Визначити мінімальну концентрацію метану в суміші за методом диференційного поглинання на рівні нижнього порогу вибуховості (НПВ), що відповідає 5%.

$N = 760$ Торр відповідає концентрації $C = 100\%$. Завдання виконується за варіантом (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 - Дані для виконання розрахунків

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\Delta\sigma,$ l/Torr	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$
$P_{\text{нв}}$ $V_{\text{м}}$	$3,5 \cdot 10^{-11}$	$3,5 \cdot 10^{-11}$	$1,4 \cdot 10^{-11}$	$4,5 \cdot 10^{-11}$	$3,5 \cdot 10^{-11}$	$3,4 \cdot 10^{-11}$	$3,5 \cdot 10^{-11}$	$1,4 \cdot 10^{-11}$	$4,5 \cdot 10^{-11}$	$4,5 \cdot 10^{-11}$	$3,5 \cdot 10^{-11}$
$C, \%$	3	5	2	3	4	2	2	3	4	2	2

3.4 Контрольні питання

1. Класифікація газових сенсорів?
2. Переваги та недоліки напівпровідникових газоаналізаторів?
3. Які види оптичних сенсорів для вимірювання концентрації та складу суміші вам відомі?
4. Каталітичні та калориметричні сенсори. Який фізичний принцип покладено в основу роботи цих сенсорів?
5. В чому полягає оптично-абсорбційний метод визначення концентрації газу?