

За допомогою представленого широтно-імпульсного модулятора можна отримувати імпульси з високою роздільною здатністю. Для керування яскравістю світлових діодів найчастіше використовують сигнали з роздільною здатністю 8 біт або 16 біт. Запропонована схема ШІМ дає можливість гнучкої зміни роздільної здатності модельованого сигналу.

Приклад структури трьохканального ШІМ на основі описаного принципу модуляції показаний на рисунку 4. Структурні блоки  $\text{pid2}$  відповідають одноканальному цифровому широтно-імпульсному модуляторіві, представленою на рисунку 2.

Перевірку функціонування ШІМ заданої структури можна здійснити в доступних програмних середовищах, залишивши невикористаними невелику кількість складових елементів. Наприклад, описаний одноканальний генератор займає 0,06% від загальної кількості структурних елементів програмного засобу Cyclone II. Тому очевидно, що в даному проектному середовищі можна створити понад тисячу каналів ШІМ, побудованих згідно з запропонованою концепцією. Сьогодні на ринку програмних засобів можна знайти програмні середовища із значно більшою кількістю структурних елементів, що дає змогу створити навіть декілька тисяч окремих каналів ШІМ в одній мікросхемі (чіпі).

#### Висновки

Керування яскравістю світлодіодів з можливістю регулювання струму можна здійснювати за допомогою багатоканального широтно-імпульсного модулятора. Роль такого ШІМ може виконувати запропонований пристрій. З допомогою FPGA можна реалізувати багато потрібних RGB каналів регулювання (залежно від типу системи навіть кілька тисяч), що дає великі можливості для керування різного роду освітленням.

Запропонована схема дозволяє регулювати яскравість світла вибраного кольору шляхом одночасного керування ШІМ сигналу в трьох або більше R, G і B каналах. Оскільки запропонована схема широтно-імпульсного модулятора синтезована з використанням FPGA, то досить легко реалізувати ШІМ, який можна під'єднати до ПК, що реалізує певну програму освітлення, до модуля бездротового зв'язку або до керуючого таймера.

#### Література

1. Завалишин В.А. Особенности программного обеспечения микропроцессорного управления RGB источниками белого света на интегральных матрицах светодиодов / В.А. Завалишин, А.И. Радкевич, Д.С. Мурченко // Твердотельная электроника. – 2008. – № 1–2(42–43). – С. 81–83.
2. A. Gago, N. Guil, A. C. Gago: New full-colour LED based screen, IEEE MELECON 2006, May 16-19, Benalmadena (Malaga), Spain
3. Syed E., Achmed E., Maksimowic D.: Digital Pulse Width Modulator Architectures. Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference 2004, Aachen, Germany, pp. 4689–4695
4. O'Malley E., Rinne K.: A programmable digital pulse width modulator providing versatile pulse patterns and supporting switching frequencies beyond 15MHz. IEEE APEC 2004, pp. 53–59.

Надійшла 21.7.2011 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Я.М. Николаичук

УДК 681.785.6

Й.Й. БІЛИНСЬКИЙ, Б.П. КНИЩ, К.Ю. ІОНІНА

Вінницький національний технічний університет

### ІНФРАЧЕРВОНІЙ ТРИКАНАЛЬНИЙ СЕНСОР КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ

*Запропоновано інфрачервоний триканальний сенсор концентрації газу, розроблено математичну модель, отримано функцію перетворення та проведено аналіз статичних метрологічних характеристик.*

*A three-channel infrared sensor gas concentration, developed a mathematical model, the obtained transfer function and the analysis of static metrological characteristics.*

Ключові слова: сенсор, інфрачервоний діапазон, кювета, концентрація, діафрагма, парціальний тиск.

#### Вступ

На сьогодні в багатьох областях техніки використовуються різноманітні методи дослідження фізичних параметрів газу, які дають змогу визначити густину й концентрацію, вміст шкідливих домішок, кількісний склад.

На ринку України присутня велика кількість газових аналізаторів, зокрема, українських підприємств таких, як ТОВ «Екотест» (м. Харків), ВАТ «Аналітприлад» (м. Київ), НПП «Оріон» (м. Харків), «Антекс» (м. Северодонецьк). Але в багатьох випадках основним недоліками таких аналізаторів, є низька чутливість і точність, оскільки відсутня можливість компенсації дестабілізуючих факторів і показників, які характеризують адіабатний процес [1]. Так наприклад, газоаналізатор ОКСИ дозволяє контролювати концентрацію оксиду азоту в межах долів міліграму на  $1 \text{ м}^3$  повітря при гранично допустимій

концентрації NO для житлових приміщень складає  $40 \text{ мкг/м}^3$ . До того ж, відносна похибка вимірювань деяких газоаналізаторів досягає 25 % [2–4].

У зв'язку з цим постає задача підвищенню точності вимірювального контролю сенсорів шляхом урахування адиабатичного процесу та простоти схеми цих сенсорів.

### Основна частина

На основі проведеного аналізу літературних джерел та в зв'язку з сучасним розвитком мікропроцесорної техніки та оптичних джерел випромінювання, встановлено, що найбільш перспективним на сьогодні є абсорбційний метод дослідження концентрації газу.

Метод абсорбційної спектроскопії ґрунтується на поглинанні частинками газу світлового випромінювання та реєстрації частки поглинутого випромінювання. При цьому кожен газ має свій унікальний спектр поглинання й максимум цього поглинання приходить на відповідні довжини хвиль для різних газів. Використовуючи випромінювання певної довжини хвилі, можна визначати концентрацію відповідного компонента з високою точністю, оскільки використовується явище вибіркового поглинання багатоатомними молекулами випромінювання при його проходженні через середовище. Вибіркове поглинання пояснюється тим, що воно відбувається на тих хвилях, частота яких є резонансною для відповідних молекул [5].

Гази, аналіз яких в промисловості виконується з використанням методів абсорбційної спектроскопії, наведені в табл. 1 [6].

Таблиця 1

**Основні гази, які аналізуються з використанням методів абсорбційної спектроскопії**

Довжина хвилі, нм	Рентгенівське випромінювання $10^2 \div 10$	УФ $10 \div 5 \cdot 10^2$	Видиме $5 \cdot 10^2 \div 8 \cdot 10^2$	ІЧ $8 \cdot 10^2 \div 10^6$
Основні аналізовані гази	H <sub>2</sub> S	O <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , Hg	Cl <sub>2</sub> , ClO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O, CO, CO <sub>2</sub> , NO, N <sub>2</sub> O, NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , CH <sub>x</sub>
Область концентрації	Низькі концентрації	–	NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , Hg	+
	Високі концентрації	+	O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub>	+

Отже, як видно з табл. 1, аналізовані гази для кожної довжини хвилі різні. Вуглеводні, дослідження та контроль концентрації яких займає важливе місце в промисловості, аналізуються в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль.

Якщо через газ, що аналізується, проходить паралельний пучок випромінювання з інтенсивністю  $I_0(\nu)$ , то частина випромінювання поглинається. В загальному випадку поглинання відбувається за законом Бугера-Ламберта-Бера [7]

$$I(\nu) = I_0(\nu)e^{-K(\nu)Cd}, \quad (1)$$

де  $K(\nu)$  – показник поглинання, що є функцією частоти  $\nu$  і залежить від природи речовини;  
 $C$  – молярна концентрація газу, що контролюється;  
 $d$  – товщина шару газу.

Густина газової суміші  $\rho_{Г.С.}$  в загальному випадку визначається як сума густин чистого повітря [8]  $\rho_{П.}$  і домішки сполук, що містять вуглеводні,  $\rho_{Д.}$  при їх парціальних тисках і температурі

$$\rho_{Г.С.} = \rho_{П.} + \rho_{Д.}$$

Оскільки поглинання випромінювання відбувається як за рахунок впливу чистого повітря, так і за рахунок домішок сполук, що містять вуглеводні, тільки в різній мірі, то модель перенесення випромінювання в такому середовищі може бути представлена як в [1]. Враховуючи при цьому, що молярна концентрація речовини пропорційна його густині  $C = \rho / \mu$ , закон Бугера-Ламберта-Бера набуде вигляду [1]

$$I_{Г.С.}(\nu) = I_0^{Г.С.}(\nu)e^{-d \left( K_1^{П.}(\nu) \frac{\rho_{П.}}{\mu_{П.}} + K_2^{Д.}(\nu) \frac{\rho_{Д.}}{\mu_{Д.}} \right)}, \quad (2)$$

де  $K_1^{П.}(\nu)$  і  $K_2^{Д.}(\nu)$  – молярні питомі показники поглинання чистого повітря та домішки сполук, що містять вуглеводні, на частоті  $\nu$ , відповідно;

$\mu_{Д.}$  і  $\mu_{П.}$  – молярні маси домішки сполук, що містять вуглеводні, і чистого повітря, відповідно.

Закон Бугера-Ламберта-Бера для газової суміші за робочих умов набуде виду

$$I_{\tilde{A}.C.}(v_1) = I_0^{\tilde{A}.C.}(v_1) e^{-d \left( K_1^{\tilde{I}.}(v_1) \frac{P \cdot \rho^{\tilde{I}.(c)} \cdot T(c)}{\mu_{\tilde{I}.} \cdot T \cdot P(c)} + K_2^{\tilde{A}.}(v_1) \frac{\tilde{n} \cdot P \cdot \rho^{\tilde{A}.(c)} \cdot T(c)}{\mu_{\tilde{A}.} \cdot (1-\tilde{n}) T \cdot P(c)} \right)} \quad (3)$$

Недоліком такої моделі є присутність молярних мас повітря і домішки, молярних питомих показників поглинання домішки та повітря, густин, тисків, температур, товщини шару газу. Для усунення цього недоліку в роботі запропоновано однохвильову триканальну модель, яка дає змогу знехтувати всіма перерахованими вище параметрами й компенсувати показники адіабати. При цьому схема сенсора містить три кювети: з газовою сумішшю, з чистим повітрям та з домішкою сполук, що містять вуглеводні. Світлова хвиля налаштована таким чином, що для кювети з газовою сумішшю вона має виражені поглинаючі властивості по відношенні до чистого повітря та домішки сполук, що містять вуглеводні, для кювети з чистим повітрям вона має виражені поглинаючі властивості по відношенні до чистого повітря, для кювети з домішкою сполук, що містять вуглеводні, вона має виражені поглинаючі властивості по відношенні до домішки сполук, що містять вуглеводні.

Закон Бугера-Ламберта-Бера для кювети з чистим повітрям можна записати

$$I_{II.}(v_1) = I_0^{II.}(v_1) e^{-d K_1^{II.}(v_1) \frac{P \cdot \rho^{II.(c)} \cdot T(c)}{\mu_{II.} \cdot T \cdot P(c)}} \quad (4)$$

Закон Бугера-Ламберта-Бера для кювети з домішкою сполук, що містять вуглеводні, можна записати

$$I_{D.}(v_1) = I_0^{D.}(v_1) e^{-d K_2^{D.}(v_1) \frac{P \cdot \rho^{D.(c)} \cdot T(c)}{\mu_{D.} \cdot T \cdot P(c)}} \quad (5)$$

На основі системи рівнянь (3), (4) та (5) отримаємо концентрацію домішок газу

$$c = \frac{\ln \frac{I_{\tilde{A}.C.}(v_1)}{I_0^{\tilde{A}.C.}(v_1)} - \ln \frac{I_{II.}(v_1)}{I_0^{II.}(v_1)}}{\ln \frac{I_{D.}(v_1)}{I_0^{D.}(v_1)} + \ln \frac{I_{\tilde{A}.C.}(v_1)}{I_0^{\tilde{A}.C.}(v_1)} - \ln \frac{I_{II.}(v_1)}{I_0^{II.}(v_1)}}} \quad (6)$$

Графік залежності концентрації домішок газу (6) від інтенсивності світла при значеннях робочих умов, що відповідають стандартним, зображений на рис. 1. З графіка слідує, що залежність концентрації домішок газу від інтенсивності, має експоненціальний характер. При цьому вплив відомого газу має місце, хоча він незначний.

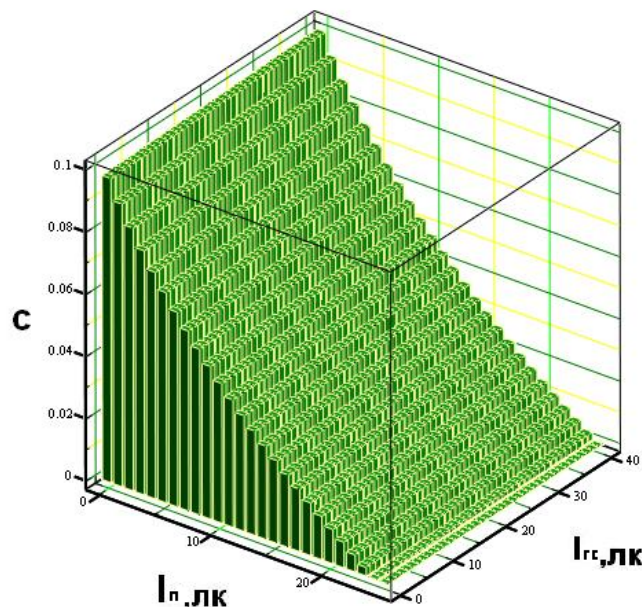


Рис. 1. Графік залежності концентрації домішок газу від інтенсивності випромінювання

Як видно з графіку, діапазон вимірювання концентрації складає 0 – 10%. Статична характеристика має майже лінійний характер, тому, залежно від конструкції сенсора, діапазон вимірювальної концентрації може бути змінений в широкому діапазоні.

На рис. 2 наведена схема оптичного однохвильового триканального сенсора концентрації газу, що складається з трьох кювет – вимірювальної 1, в якій міститься газова суміш, кювети з чистим повітрям 2 та

кювети з домішкою сполук, що містять вуглеводні 3.

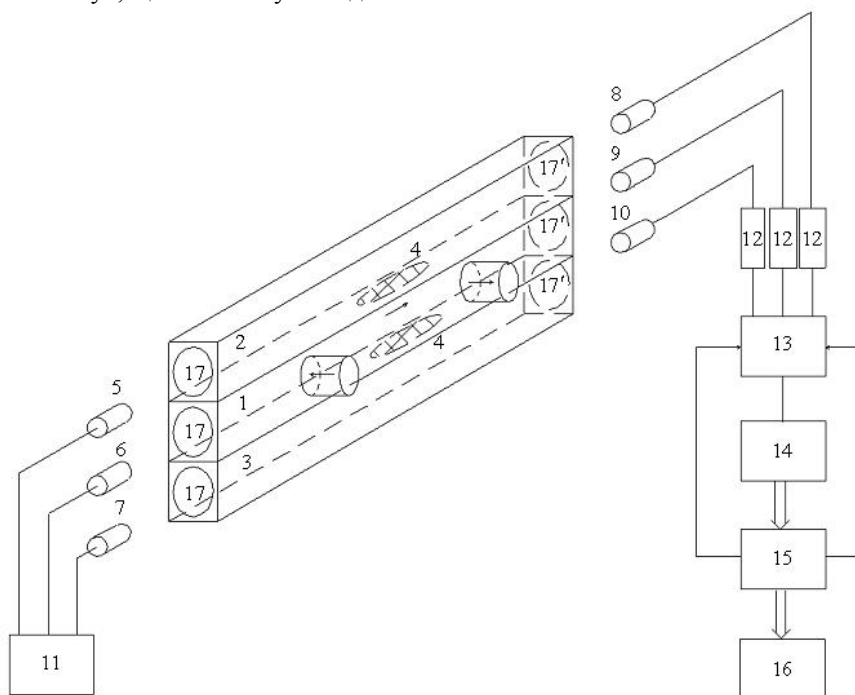


Рис. 2. Схема оптичного сенсора концентрації газу:

1 – вимірювальна кювета; 2 – кювета з чистим повітрям; 3 – кювета з чистою домішкою; 4 – діафрагма; 5, 6, 7 – джерела інфрачервоного випромінювання; 8, 9, 10 – приймачі інфрачервоного випромінювання; 11 – блок керування; 12 – підсилювач; 13 – комутатор; 14 – аналого-цифровий перетворювач; 15 – мікропроцесорний пристрій; 16 – індикаторне табло; 17 і 17' – вхідні і вихідні оптичні системи відповідно

Аналізована газова суміш прокачується через вхідний патрубок вимірювальної кювети 1. Потіки інфрачервоного випромінювання від джерел інфрачервоного випромінювання 5, 6, 7, які керуються блоком керування 11, проходить спочатку через вхідні оптичні системи 17 для розсіювання світлових потоків, а потім через вимірювальну кювету 1, де частково поглинаються аналізованою газовою сумішшю, яка тисне на діафрагми 4 кювети з чистим повітрям 2 та кювети з домішкою сполук, що містять вуглеводні, 3, пропорційно його концентрації, кювету з чистим повітрям 2 і кювету з домішкою сполук, що містять вуглеводні, 3 та потрапляють на вихідні оптичні системи 17' для збирання світлових потоків. Далі потоки інфрачервоного випромінювання, які пройшли через кювети 1, 2, 3, потрапляють на приймачі інфрачервоного випромінювання 8, 9, 10, на виході яких виникають електричні сигнали, які пропорційні концентрації аналізованої газової суміші, що знаходиться у вимірювальній кюветі 1, чистого повітря, що знаходиться в кюветі 2, і домішки вуглеводних сполук, що знаходиться в кюветі 3. Сигнали з приймачів інфрачервоного випромінювання 8, 9, 10 підсилюються за допомогою підсилювачів 12, об'єднуються за допомогою комутатора 13, і далі надходять до аналого-цифрового перетворювача 14, де аналоговий сигнал перетворюється в цифровий, і потрапляють через шину на вхід мікропроцесорного пристрою 15, який має обернений зв'язок з комутатором 13. Цифровий код, пропорційний концентрації кожного з газів, обробляється в мікропроцесорному пристрої 15 і виводиться через шину на цифрове індикаторне табло 16 [9–11].

Якими б точними і досконалими не були методи та засоби вимірювань і як би ретельно не використовувались самі вимірювання, їх результати завжди відрізняються від істинного значення вимірюваної величини. Джерелами похибки є недосконалість методів та засобів, де використовуються для проведення вимірювань, мінливості фізичних величин, що впливають на результат вимірювань, та вплив зовнішніх і внутрішніх завад [12]. Тому необхідно провести метрологічний аналіз розробленого та описаного засобу контролю концентрації газу.

Завдяки функції перетворення виведені аналітичні залежності для оцінювання впливу на процес перетворення концентрації газу ненормованих параметрів. Для цього розкладемо (6) в ряд Тейлора та проаналізуємо складові розкладу:

– чутливість для газової суміші:

$$S_{Г.С.} = \left[ \frac{\partial c}{\partial I_{Г.С.}(v_1)} \right]_0 = \frac{\ln \frac{I_{Д.}(v_1)}{I_0^{Д.}(v_1)}}{\left( \ln \frac{I_{Д.}(v_1)}{I_0^{Д.}(v_1)} + \ln \frac{I_{Г.С.}(v_1)}{I_0^{Г.С.}(v_1)} - \ln \frac{I_{П.}(v_1)}{I_0^{П.}(v_1)} \right)^2} \cdot I_{Г.С.}(v_1)$$

– чутливість для чистого повітря:

$$S_{II} = \left[ \frac{\partial c}{\partial I_{II}(v_1)} \right]_0 = - \frac{\ln \frac{I_{D.}(v_1)}{I_0^{D.}(v_1)}}{\left( \ln \frac{I_{D.}(v_1)}{I_0^{D.}(v_1)} + \ln \frac{I_{Г.С.}(v_1)}{I_0^{Г.С.}(v_1)} - \ln \frac{I_{II.}(v_1)}{I_0^{II.}(v_1)} \right)^2} \cdot I_{II.}(v_1)$$

– чутливість для домішки сполук, що містять вуглеводні:

$$S_{D.} = \left[ \frac{\partial c}{\partial I_{D.}(v_1)} \right]_0 = - \frac{\ln \frac{I_{Г.С.}(v_1)}{I_0^{Г.С.}(v_1)} - \ln \frac{I_{II.}(v_1)}{I_0^{II.}(v_1)}}{\left( \ln \frac{I_{D.}(v_1)}{I_0^{D.}(v_1)} + \ln \frac{I_{Г.С.}(v_1)}{I_0^{Г.С.}(v_1)} - \ln \frac{I_{II.}(v_1)}{I_0^{II.}(v_1)} \right)^2} \cdot I_{D.}(v_1)$$

На рис. 3–5 графічно зображені чутливості для газової суміші, чистого повітря і домішки сполук, що містять вуглеводні, відповідно.

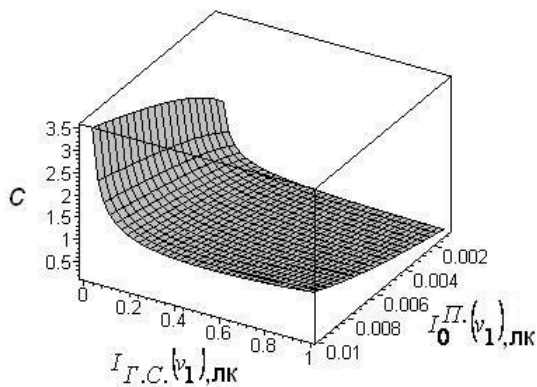


Рис. 3. Графічне зображення чутливості для газової суміші

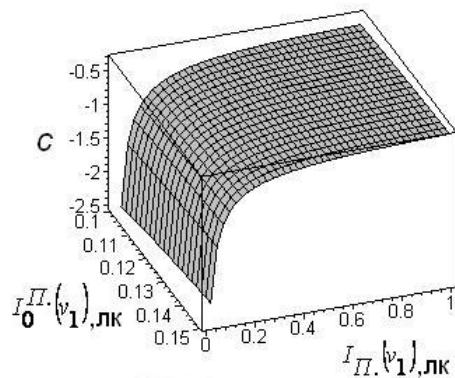


Рис. 4. Графічне зображення чутливості для чистого повітря

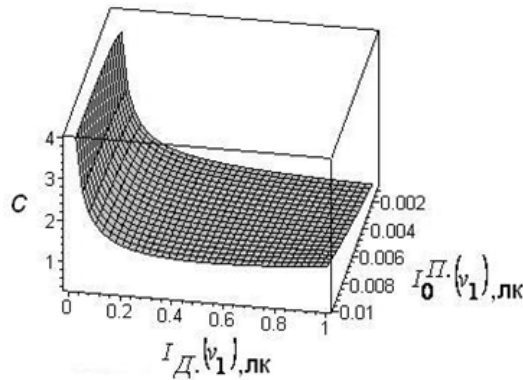


Рис. 5. Графічне зображення чутливості для домішки сполук, що містять вуглеводні

На чутливість для газової суміші, як видно з рис. 3, найбільше впливає зміна світлового потоку, який проходить через вимірювальну кювету з аналізованим газом. Суттєвий вплив також здійснює зміна інтенсивності вхідного світлового потоку через чисте повітря. Тобто концентрація  $c$  спадає при знаходженні світлового потоку, який проходить через вимірювальну кювету з аналізованим газом, в діапазоні від 0 до 0,1 лк та при знаходженні інтенсивності вхідного світлового потоку через чисте повітря в діапазоні від 0,01 до 0,02 лк. Особливо це помітно при нульовому значенні світлового потоку, який проходить через вимірювальну кювету з аналізованим газом.

На чутливість для чистого повітря, як видно з рис. 4, найбільше впливає зміна світлового потоку, який проходить через кювету з чистим повітрям. Номінальна функція перетворення має нелінійність. Тобто концентрація  $c$  зростає при знаходженні світлового потоку, який проходить через кювету з чистим повітрям, в діапазоні від 0,05 до 0,4 лк. Вплив інтенсивності вхідного світлового потоку через чисте повітря незначний, тому ним можна знехтувати.

На чутливість для домішки сполук, що містять вуглеводні, як видно з рис. 5, найбільше впливає зміна світлового потоку, який проходить через кювету з домішкою сполук, що містять вуглеводні. Номінальна функція перетворення має нелінійність. Тобто концентрація  $c$  спадає при знаходженні світлового потоку, який проходить через кювету з домішкою сполук, що містять вуглеводні, в діапазоні від 0,05 до 0,2

лк. Вплив інтенсивності вхідного світлового потоку через чисте повітря незначний, тому ним можна знехтувати.

– коефіцієнт впливу інтенсивності вхідного світлового потоку через газову суміш на концентрацію:

$$\beta_{0I_{Г.С.}(v_1)} = \left[ \frac{\partial c}{\partial I_0^{Г.С.}(v_1)} \right]_0 = \frac{\ln \frac{I_{Д.}(v_1)}{I_0^{Д.}(v_1)}}{\left( \ln \frac{I_{Д.}(v_1)}{I_0^{Д.}(v_1)} + \ln \frac{I_{Г.С.}(v_1)}{I_0^{Г.С.}(v_1)} - \ln \frac{I_{П.}(v_1)}{I_0^{П.}(v_1)} \right)^2} \cdot I_0^{Г.С.}(v_1)$$

– коефіцієнт впливу інтенсивності вхідного світлового потоку через чисте повітря на концентрацію:

$$\beta_{0I_{П.}(v_1)} = \left[ \frac{\partial c}{\partial I_0^{П.}(v_1)} \right]_0 = \frac{\ln \frac{I_{Д.}(v_1)}{I_0^{Д.}(v_1)}}{\left( \ln \frac{I_{Д.}(v_1)}{I_0^{Д.}(v_1)} + \ln \frac{I_{Г.С.}(v_1)}{I_0^{Г.С.}(v_1)} - \ln \frac{I_{П.}(v_1)}{I_0^{П.}(v_1)} \right)^2} \cdot I_0^{П.}(v_1)$$

– коефіцієнт впливу інтенсивності вхідного світлового потоку через домішку сполук, що містять вуглеводні, на концентрацію:

$$\beta_{0I_{Д.}(v_1)} = \left[ \frac{\partial c}{\partial I_0^{Д.}(v_1)} \right]_0 = \frac{\ln \frac{I_{Г.С.}(v_1)}{I_0^{Г.С.}(v_1)} - \ln \frac{I_{П.}(v_1)}{I_0^{П.}(v_1)}}{\left( \ln \frac{I_{Д.}(v_1)}{I_0^{Д.}(v_1)} + \ln \frac{I_{Г.С.}(v_1)}{I_0^{Г.С.}(v_1)} - \ln \frac{I_{П.}(v_1)}{I_0^{П.}(v_1)} \right)^2} \cdot I_0^{Д.}(v_1)$$

На рис. 6–8 графічно зображені коефіцієнти впливу інтенсивності вхідного світлового потоку через газову суміш, чисте повітря і домішку сполук, що містять вуглеводні, відповідно.

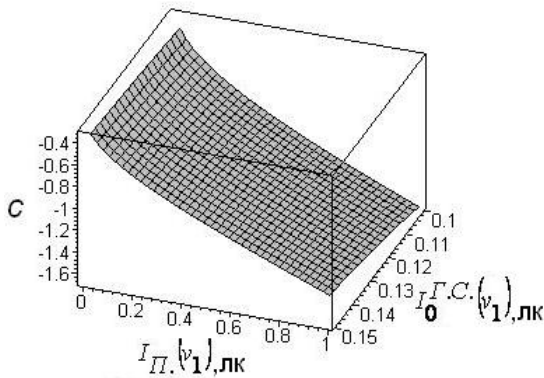


Рис. 6. Графічне зображення коефіцієнта впливу інтенсивності вхідного світлового потоку через газову суміш на концентрацію

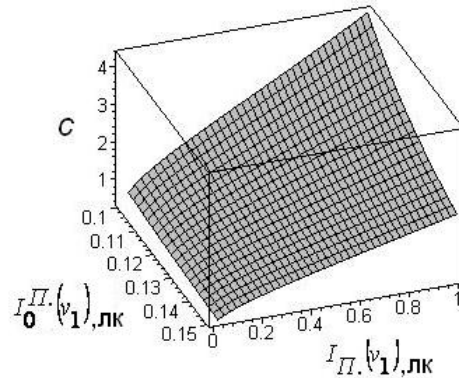


Рис. 7. Графічне зображення коефіцієнта впливу інтенсивності вхідного світлового потоку через чисте повітря на концентрацію

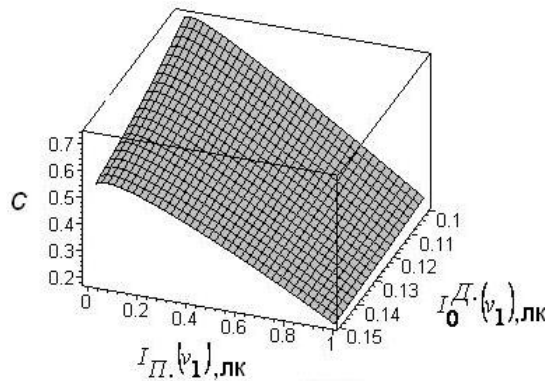


Рис. 8. Графічне зображення коефіцієнта впливу інтенсивності вхідного світлового потоку через домішку сполук, що містять вуглеводні, на концентрацію

На коефіцієнт впливу інтенсивності вхідного світлового потоку через газову суміш на концентрацію, як видно з рис. 6, найбільше впливає зміна світлового потоку, який проходить через кювету з чистим повітрям.

Номінальна функція перетворення має нелінійність. Тобто концентрація  $c$  спадає при знаходженні світлового потоку, який проходить через кювету з чистим повітрям, в діапазоні від 0,05 до 1 лк. Вплив інтенсивності вхідного світлового потоку через аналізований газ незначний, тому ним можна знехтувати.

На коефіцієнт впливу інтенсивності вхідного світлового потоку через чисте повітря на концентрацію, як видно з рис. 7, найбільше впливає зміна світлового потоку, який проходить через кювету з чистим повітрям. Суттєвий вплив також здійснює зміна інтенсивності вхідного світлового потоку через чисте повітря. Номінальна функція перетворення має нелінійність. Тобто концентрація  $c$  зростає при знаходженні світлового потоку, який проходить через кювету з чистим повітрям, в діапазоні від 0,05 до 1 лк, причому зі збільшенням інтенсивності вхідного світлового потоку через чисте повітря залежність стає крутішою, та спадає при знаходженні інтенсивності вхідного світлового потоку через чисте повітря в діапазоні від 0,1 до 0,15 лк. Особливо це стає помітно в діапазоні значень світлового потоку, який проходить через кювету з чистим повітрям від 0,2 до 1 лк.

На коефіцієнт впливу інтенсивності вхідного світлового потоку через домішку сполук, що містять вуглеводні, на концентрацію, як видно з рис. 8, найбільше впливає зміна світлового потоку, який проходить через кювету з чистим повітрям. Суттєвий вплив також здійснює зміна інтенсивності вхідного світлового потоку через домішку сполук, що містять вуглеводні. Номінальна функція перетворення має нелінійність. Тобто концентрація  $c$  спадає при знаходженні світлового потоку, який проходить через кювету з чистим повітрям, в діапазоні від 0,05 до 1 лк та зростає при знаходженні інтенсивності вхідного світлового потоку через домішку сполук, що містять вуглеводні, в діапазоні від 0,15 до 0,1 лк. Особливо це помітно при нульовому значенні інтенсивності вхідного світлового потоку через домішку сполук, що містять вуглеводні. – мультиплікативна похибка перетворення для газової суміші за умови зміни інтенсивності вхідного світлового потоку через газову суміш на значення  $\Delta I_0^{G.C.}(v_1)$ :

$$\Delta\sigma_{mI_0^{G.C.}(v_1)} = \left[ \frac{\partial^2 c}{\partial I_{G.C.}(v_1) \partial I_0^{G.C.}(v_1)} \right]_0 \cdot I_{G.C.}(v_1) \cdot I_0^{G.C.}(v_1) =$$

$$= \left[ \frac{2}{\left( \ln \frac{I_D(v_1)}{I_0^D(v_1)} + \ln \frac{I_{G.C.}(v_1)}{I_0^{G.C.}(v_1)} - \ln \frac{I_{II.}(v_1)}{I_0^{II.}(v_1)} \right)^2} \cdot I_{G.C.}^2(v_1) \cdot I_0^{G.C.2}(v_1) - \right.$$

$$\left. \frac{24}{\left( \ln \frac{I_D(v_1)}{I_0^D(v_1)} + \ln \frac{I_{G.C.}(v_1)}{I_0^{G.C.}(v_1)} - \ln \frac{I_{II.}(v_1)}{I_0^{II.}(v_1)} \right)^4} \cdot I_{G.C.}^2(v_1) \cdot I_0^{G.C.2}(v_1) + \right.$$

$$\left. \frac{24 \cdot \left( \ln \frac{I_{G.C.}(v_1)}{I_0^{G.C.}(v_1)} - \ln \frac{I_{II.}(v_1)}{I_0^{II.}(v_1)} \right)}{\left( \ln \frac{I_D(v_1)}{I_0^D(v_1)} + \ln \frac{I_{G.C.}(v_1)}{I_0^{G.C.}(v_1)} - \ln \frac{I_{II.}(v_1)}{I_0^{II.}(v_1)} \right)^5} \cdot I_{G.C.}^2(v_1) \cdot I_0^{G.C.2}(v_1) \right.$$

$$\left. - \frac{2 \cdot \left( \ln \frac{I_{G.C.}(v_1)}{I_0^{G.C.}(v_1)} - \ln \frac{I_{II.}(v_1)}{I_0^{II.}(v_1)} \right)}{\left( \ln \frac{I_D(v_1)}{I_0^D(v_1)} + \ln \frac{I_{G.C.}(v_1)}{I_0^{G.C.}(v_1)} - \ln \frac{I_{II.}(v_1)}{I_0^{II.}(v_1)} \right)^3} \cdot I_{G.C.}^2(v_1) \cdot I_0^{G.C.2}(v_1) \right] \cdot I_{G.C.}(v_1) \cdot I_0^{G.C.}(v_1).$$

– адитивна похибка перетворення за умови зміни інтенсивності вхідного світлового потоку через газову суміш на значення  $\Delta I_0^{G.C.}(v_1)$ :

$$\Delta\sigma_{aI_0^{G.C.}(v_1)} = \left[ \frac{\partial c}{\partial I_0^{G.C.}(v_1)} \right]_0 \cdot \Delta I_0^{G.C.}(v_1) + \frac{1}{2} \cdot \left[ \frac{\partial^2 c}{\partial I_0^{G.C.2}(v_1)} \right]_0 \cdot \Delta I_0^{G.C.2}(v_1) =$$

$$\begin{aligned}
& \ln \frac{I_{Г.С.}(v_1)}{I_0^{Г.С.}(v_1)} - \ln \frac{I_{П.}(v_1)}{I_0^{П.}(v_1)} - 1 \\
& = \frac{\ln \frac{I_{Г.С.}(v_1)}{I_0^{Г.С.}(v_1)} - \ln \frac{I_{П.}(v_1)}{I_0^{П.}(v_1)} - 1}{\left( \ln \frac{I_{Д.}(v_1)}{I_0^{Д.}(v_1)} + \ln \frac{I_{Г.С.}(v_1)}{I_0^{Г.С.}(v_1)} - \ln \frac{I_{П.}(v_1)}{I_0^{П.}(v_1)} \right)^2} \cdot \Delta I_0^{Г.С.}(v_1) + \\
& + \frac{1}{2} \cdot \left[ \frac{\ln \frac{I_{Д.}(v_1)}{I_0^{Д.}(v_1)} - 2}{\left( \ln \frac{I_{Д.}(v_1)}{I_0^{Д.}(v_1)} + \ln \frac{I_{Г.С.}(v_1)}{I_0^{Г.С.}(v_1)} - \ln \frac{I_{П.}(v_1)}{I_0^{П.}(v_1)} \right)^2} \cdot I_0^{Г.С.2}(v_1) + \right. \\
& \left. + \frac{2 \cdot \left( \ln \frac{I_{Г.С.}(v_1)}{I_0^{Г.С.}(v_1)} - \ln \frac{I_{П.}(v_1)}{I_0^{П.}(v_1)} \right)}{\left( \ln \frac{I_{Д.}(v_1)}{I_0^{Д.}(v_1)} + \ln \frac{I_{Г.С.}(v_1)}{I_0^{Г.С.}(v_1)} - \ln \frac{I_{П.}(v_1)}{I_0^{П.}(v_1)} \right)^3} \cdot I_0^{Г.С.2}(v_1) \right] \cdot \Delta I_0^{Г.С.2}(v_1).
\end{aligned}$$

На рис. 9–10 графічно зображені мультиплікативна і адитивна похибки відповідно.

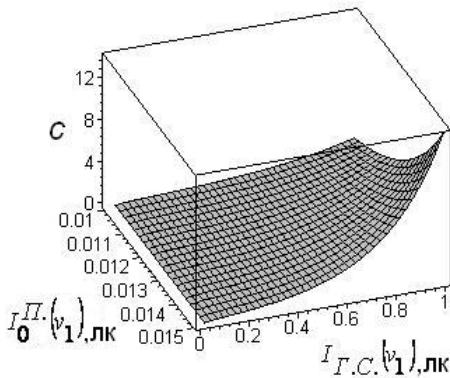


Рис. 9. Графічне зображення мультиплікативної похибки

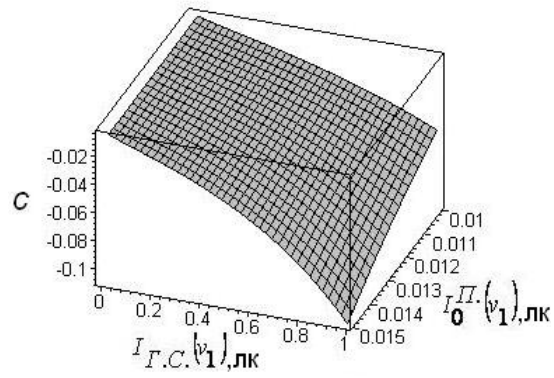


Рис. 10. Графічне зображення адитивна похибки

Як показують розрахунки та видно з рис. 9, найбільше впливає на мультиплікативну похибку зміна світлового потоку, який проходить через вимірювальну кювету з газовою сумішшю та зміна інтенсивності вхідного світлового потоку через чисте повітря. Номінальна функція перетворення має нелінійність. Тобто концентрація  $c$  зростає при знаходженні світлової потоку, який проходить через вимірювальну кювету з аналізованим газом, в діапазоні від 0,4 до 1 лк, причому це особливо помітно при інтенсивності вхідного світлового потоку через чисте повітря в 0,015 лк. Також концентрація  $c$  зростає при знаходженні інтенсивності вхідного світлового потоку через чисте повітря в діапазоні від 0,01 до 0,015 лк. Особливо це помітно при значенні світлового потоку, який проходить через вимірювальну кювету з аналізованим газом в 1 лк.

Як показують розрахунки та видно з рис. 10, найбільше впливає на адитивну похибку зміна світлового потоку, який проходить через вимірювальну кювету з газовою сумішшю та зміна інтенсивності вхідного світлового потоку через чисте повітря. Номінальна функція перетворення має нелінійність. Тобто концентрація  $c$  спадає при знаходженні світлової потоку, який проходить через вимірювальну кювету з аналізованим газом, в діапазоні від 0,05 до 1 лк, причому це особливо помітно при інтенсивності вхідного світлового потоку через чисте повітря в 0,015. Також концентрація  $c$  спадає при знаходженні інтенсивності вхідного світлового потоку через чисте повітря в діапазоні від 0,01 до 0,015 лк. Особливо це помітно при значенні світлового потоку, який проходить через вимірювальну кювету з аналізованим газом в 1 лк.

#### Висновки

В роботі запропоновано модель перенесення випромінювання в газовій суміші, яка адекватно описує фізичні процеси й на відміну від відомих густина газової суміші в загальному випадку визначається як сума густин чистого повітря і домішки сполук, що містять вуглеводні, при їх парціальних тисках і температурі з врахуванням питомих молярних показників поглинання чистого повітря і домішки сполук, що містять вуглеводні. Розроблено математичну модель однохвильового триканального сенсора концентрації вуглеводнів, яка дає змогу знехтувати молярними масами повітря і домішки, молярними питомими



показниками поглинання домішки та повітря, густинами, тисками, температурами, товщиною шару газу та розсіювальними властивостями матеріалів, усунути нестабільність роботи й старіння фотоприймачів і світлодіодів, завдяки чому досягається можливість підвищити точність і чутливість перетворювача концентрації газу. Отримано аналітичні залежності для оцінки статичних метрологічних характеристик сенсора. Оцінено функції чутливості впливних величин на результати вимірювання концентрації газу. Розраховано значення адитивної, мультиплікативної похибок та похибки нелінійності.

### Література

1. Двоканальний аналізатор вологості газу та дослідження його статичних метрологічних характеристик / Б.П. Книш, Й.Й. Білинський, В.В. Онушко, О.С. Городецька // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 3. – С. 222 – 228.
2. Офіційна web-сторінка ТОВ «Екотест» [Електронний ресурс] / Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу : <http://www.ecotest.kharkov.ua>.
3. Офіційна web-сторінка НПП «Оріон» [Електронний ресурс] / Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу : <http://www.orion.com.ua>.
4. Книш Б.П. Універсальна класифікація оптичних методів дослідження густини газу / Б.П. Книш, Й.Й. Білинський, В.В. Онушко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 4. – С. 23–26.
5. Білинський Й.Й. Модель перенесення випромінювання в середовищі вологого газу та визначення його відносної вологості / Й.Й. Білинський, В.В. Онушко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 5. – С. 18–22.
6. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств / Кулаков М.В. – М. : Машиностроение, 1983. – 424 с.
7. Бугера-Ламберта-Бера закон [Електронний ресурс] / Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу : [http://www.femto.com.ua/articles/part\\_1/0388.html](http://www.femto.com.ua/articles/part_1/0388.html).
8. Конспект лекцій «Охорона праці» [Електронний ресурс] / Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу : <http://library.if.ua/book/9/937.html>.
9. Пат. 69503 Україна, МПК G01N 21/01 G01N 21/61. Інфрарчервоний газоаналізатор / Приміський В.П. - № 2003010573; заяв. 22.01.03; опубл. 15.09.04, Бюл. №9.
10. Пат. 65504 Україна, МПК G01N 21/01 G01N 21/55. Багатоканальний автоматизований інфрарчервоний газоаналізатор / Богданов В.В., Приміський В.П., Чемерис І.В., Візнюк А.А. – № 20031212299 ; заяв. 24.12.03 ; опубл. 15.06.05, Бюл. № 6.
11. Пат. 72629 Україна, МПК G01N 21/01 G01N 21/55 G01N 21/35 G01N 21/61. Багатоканальний інфрарчервоний газоаналізатор / Богданов В.В., Приміський В.П., Чемерис І.В. – № 2003010571 ; заяв. 22.01.03 ; опубл. 15.03.05, Бюл. № 3.
12. Кузьмин И.В. Оценка эффективности и оптимизации АКСУ / Кузьмин И.В. – М. : Советское радио, 1971. – 296 с.

Надійшла 21.8.2011 р.

Рецензент: д.т.н., проф. М.А. Філінюк

УДК 621.3.011.7

О.О. ЛАЗАРЄВ, Л.Б. ЛІЦИНСЬКА, О.В. ВОЙЦЕХОВСЬКА

Вінницький національний технічний університет

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ З СХЕМОТЕХНІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ НЕГАТРОНІВ НА ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ІМПЕДАНСУ

*В роботі проведено аналіз рішень з схемотехнічної реалізації негатронів. Показано, що в основі схемотехнічної реалізації негатронів лежать перетворювачі імпедансу (ПІ), що забезпечують перетворення додатних значень імпедансів у відповідні від'ємні значення. Розроблені класифікації негатронів на різних видах ПІ та за елементною базою. Показано, що найперспективнішими для роботи на високих частотах та малого енергоспоживання є схемотехнічні реалізації негатронів, що побудовані на використанні струмового підходу.*

*The analysis of methods and means of schemotechnical realization of negatrons is conducted in paper. Schemotechnical realizations of negatrons are based on negative impedance converters (NIC), which convert positive values into corresponding negative values. Classifications of negatrons on different NIC and an element base are worked out. Schemotechnical realizations of negatrons which are built on the use of current approach are most perspective for work on high-frequencies and small energy consumption.*

Ключові слова: перетворювачі імпедансу, негатрон, струмові конвеєри.

### Вступ

Технічні параметри інформаційних систем та систем керування в значній мірі визначаються пристроями, що входять до їхнього складу. Ефективність цих пристроїв залежить від використаної елементної бази. Для подальшого вдосконалення електронних пристроїв необхідна розробка теорії побудови